



---

## Sachstand

---

## Energieverbrauch von Rechenzentren

## Energieverbrauch von Rechenzentren

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 070/21  
Abschluss der Arbeit: 24. August 2021  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und  
Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Energieverbrauch der Rechenzentren in Deutschland</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Energieverbrauch der Rechenzentren im europäischen Kontext</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Ökodesign-Regulierung und Energieverbrauch</b>	<b>13</b>
<b>5.</b>	<b>Energieverbrauch von Cloud-Computing und Videostreaming</b>	<b>17</b>
<b>6.</b>	<b>Fallbeispiel pandemiebedingtes Homeoffice</b>	<b>21</b>
<b>7.</b>	<b>Energieverbrauch der Rechenzentren im internationalen Kontext</b>	<b>21</b>

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit liefert einen aktualisierten Sachstand zum Energieverbrauch von Rechenzentren. Weitere Hintergrundinformationen finden sich in der vorausgehenden Arbeit der Wissenschaftlichen Dienste aus dem Jahr 2019.<sup>1</sup>

Das Datenvolumen des deutschen Breitbandnetzes hat sich von 3,4 Mrd. Gigabyte (GB) im Jahr 2010 auf 56 Mrd. GB in 2019 und geschätzte 72 Mrd. GB im Corona-Jahr 2020 erhöht.<sup>2</sup> Parallel dazu hat sich auch der Energieverbrauch der Rechenzentren erhöht. Der Strombedarf der Rechenzentren in Deutschland ist auch im Pandemiejahr 2020 gestiegen. Der Energiebedarf von Servern und Rechenzentren erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um 7 % – das entspricht etwa 1 Mrd. Kilowattstunden (kWh) – auf 16 Mrd. kWh.<sup>3</sup> Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) führt aus: „Durch Entwicklungen der Digitalisierung wie Künstlicher Intelligenz (KI) oder der Blockchain-Technologie steigt der Energiebedarf insbesondere für Rechenzentren weiter erheblich an. Nach Fachschätzungen wird vor allem der Energiebedarf der Server durch die hohe Nachfrage an Rechenleistung in deutschen Rechenzentren vom Jahr 2015 bis zum Jahr 2025 um mehr als 60 Prozent steigen.“<sup>4</sup>

Studienanalysen des Borderstep Instituts zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland zeigen, dass die Auswirkungen der Pandemie die verschiedenen Rechenzentren auf unterschiedliche Weise beeinflussen. Beispielsweise sind Investitionen in kleinere Rechenzentren zurückgegangen und Cloud-Anbieter profitierten von der gestiegenen Verwendung von Videodiensten (Konferenzen, Streaming), Tools für die Online-Zusammenarbeit oder Online-Shopping.<sup>5</sup>

---

1 Wissenschaftliche Dienste (2019). „Energieverbrauch von Rechenzentren“, WD 8 - 3000 - 041/19, <https://www.bundestag.de/resource/blob/651446/d226ff9ff67a3c29d893859121cfc5fe/WD-8-041-19-pdf-data.pdf>

2 Statista (2021). „Entwicklung des Datenvolumens im stationären Breitband-Internetverkehr im Festnetz in Deutschland von 2001 bis 2020“, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3565/umfrage/datenvolumen-des-breitband-internetverkehrs-in-deutschland-seit-dem-jahr-2001/>

Umrechnung: 1 Milliarde Gigabyte = 1 Exabyte

3 Hintermann, R. Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

Umrechnung: 1 TWh = 10<sup>9</sup> kWh = 1 Mrd. kWh

4 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020). „Green-IT“, <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/produktbereiche/green-it/>

5 Hintermann, R., Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

Auch die technischen und ökonomischen Entwicklungen von Cloud- und Edge<sup>6</sup>-Computing, Künstliche Intelligenz und Videostreaming lassen den Energiebedarf der Rechenzentren voraussichtlich weiter steigen. Etwa 80 % des Stromverbrauchs des Internets verursacht das Video-Streaming.<sup>7</sup>

Die folgenden Kapitel liefern Angaben zum Energieverbrauch von Rechenzentren im nationalen und internationalen Kontext und gehen insbesondere auf den Energieverbrauch von Cloud-Computing und Videostreaming ein.

## 2. Energieverbrauch der Rechenzentren in Deutschland

Nach Angaben des Borderstep Instituts hatten die Rechenzentren in Deutschland folgenden jährlichen Energieverbrauch: Im Jahr 2016 betrug der Verbrauch 12,4 Mrd. kWh, in den beiden Folgejahren stieg der Verbrauch auf 13,2 Mrd. kWh (2017) und 14 Mrd. kWh (2018, Wachstumsschub durch Cloud-Computing) an. Im Jahr 2020 lag der Verbrauch bei 16 Mrd. kWh.<sup>8</sup>

---

Ein Beispiel des Borderstep Instituts verdeutlicht den Verbrauch: „Eine Stunde Video-Streaming in Full-HD-Auflösung benötigt 220 bis 370 Wh elektrische Energie, abhängig vom verwendeten Endgerät. Das verursacht etwa 100 bis 175 g Kohlendioxid, also ähnlich wie die Emissionen eines Kleinwagens bei einem Kilometer Autofahrt.“

6 „Unter Edge-Computing bzw. Edge-Cloud-Lösungen werden elektronische Systeme zur Sammlung und Vorverarbeitung von Informationen am Rand des Netzes, z. B. direkt am Endgerät statt in der Cloud, verstanden. Datenströme können hierdurch ressourcenschonender verarbeitet werden, da keine umfangreichen Rohdatensätze in die Cloud übertragen werden müssen. Erst weiterreichende Verarbeitungsschritte finden in der Cloud statt. Dieser Markt könnte so rapide wachsen, dass bereits 2025 mit Edge-KI-Chips größere Umsätze erzielt werden als mit KI-Prozessoren für bisherige Cloud-Rechenzentren.“ Quelle: Deutscher Bundestag (2020). Unterrichtung „Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2021 bis 2024“, [BT-Drs 19/24557](#)

7 Deutschlandfunk Kultur (2021). Gespräch „Wie viel Energie verbrauchen Google, Netflix & Co.?“, [https://www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google.970.de.html?dram:article\\_id=492431](https://www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google.970.de.html?dram:article_id=492431)

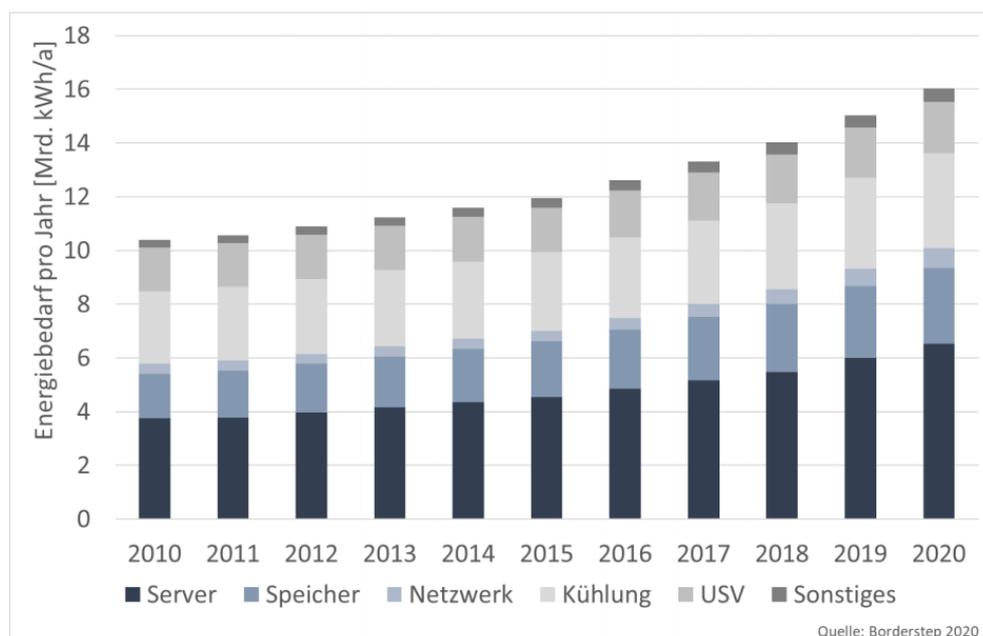
8 Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2017). „Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf deutscher Rechenzentren im Jahr 2016“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2016.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf)

Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2018). Digitalisierung treibt Strombedarf von Rechenzentren Boom führt zu deutlich steigendem Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2017“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand\\_Dez\\_2018.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand_Dez_2018.pdf)

Hintemann, R., Borderstep Institut (2020). „Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich“, <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf>

Hintemann, R. Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

Den jährlichen Energiebedarf der Server und Rechenzentren bzw. Rechenzentrumsstruktur in Deutschland für die Jahre 2010 bis 2020 verdeutlicht die folgende Abbildung:<sup>9</sup>



Experten des Borderstep Instituts analysierten, dass der „Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren vor allem auf den steigenden Strombedarf der Server zurückzuführen ist.“ Im Vergleich benötigten die „IT-Komponenten (Server, Storage, Netzwerk) mit 10 Mrd. kWh im Jahr 2020 etwa 75 % mehr Energie als im Jahr 2010 (5,8 Mrd. kWh).“ Die Leistung der Rechenzentren hat sich gemessen an den Workloads<sup>10</sup> im gleichen Zeitraum verachtfacht.

Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur, wie Kühlung oder Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), stieg, gemessen am PUE-Wert<sup>11</sup>, um 21 % an. Nach der Analyse des Borderstep Instituts sank der PUE-Wert der Rechenzentren in Deutschland zwischen 2010 und 2020 von 1,98 auf 1,63.<sup>12</sup>

9 Hintermann, R., Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

10 Workload bezeichnet in der Informationstechnologie die Verarbeitungsmenge bzw. die Auslastung eines Prozesses.

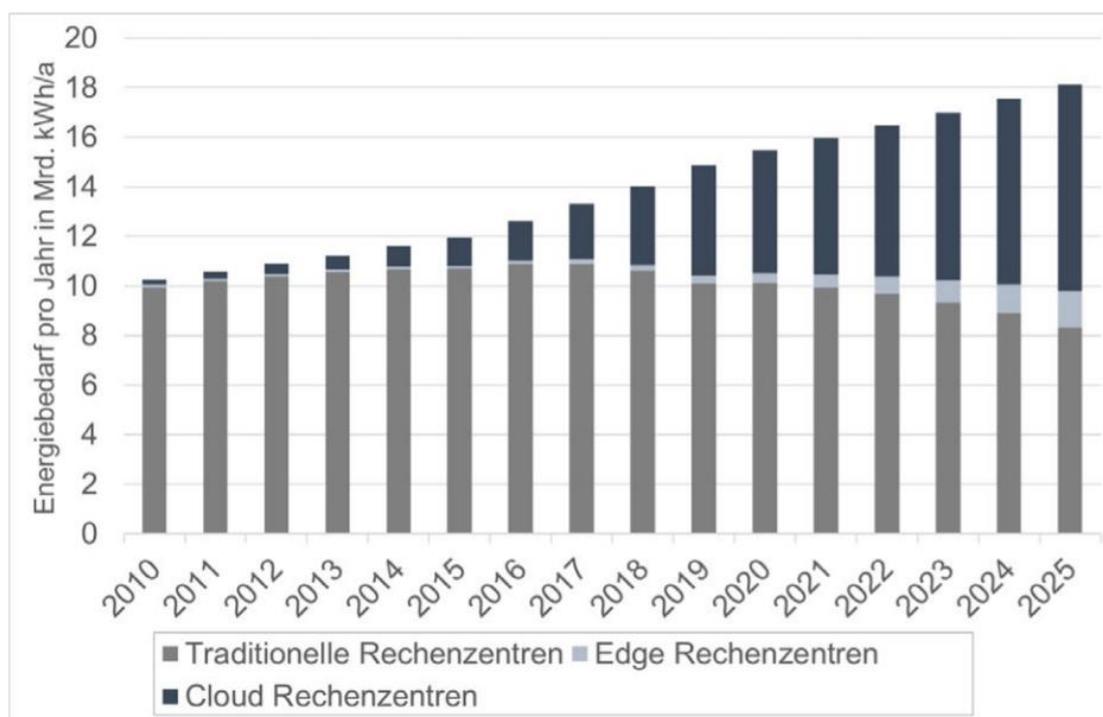
11 Die Wirtschaftsinitiative „The Green Grid, (TGG)“ entwickelte die Energieeffizienzkennzahl „Power Usage Effectiveness, (PUE)“. Der PUE-Wert gibt das Verhältnis des Jahresenergiebedarfs eines Rechenzentrums zum Jahresenergiebedarf der IT im Rechenzentrum an. Der theoretisch optimale PUE-Wert ist 1, weil dann die gesamte Leistung in die eigentliche IT fließt. Ein PUE-Wert von zwei bedeutet, dass im Rechenzentrum genauso viel Energie für die Infrastruktur benötigt wird, wie für die IT-Komponenten (s.a. WD 8 - 3000 - 041/19).

12 Hintermann, R., Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

Der PUE-Wert kann, Kritikern zur Folge, nur bedingt als Indikator für die Beurteilung der Energieeffizienz der Rechenzentren dienen, da Analysten keine Aussagen zu den Kernaufgaben des Rechenzentrums, wie Rechen-, Speicher- und Übertragungsleistung treffen könnten. Der PUE-Wert liefere, so die Kritiker, eine einseitige Orientierung auf die Energieeffizienzgewinne in der Infrastruktur der Rechenzentren und lasse die IT-Komponenten zum größten Teil außer Acht.<sup>13</sup>

Das Umweltbundesamt hat deshalb in Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen das Kennzahlensystem KPI4DCE (Key Performance Indicators for Data Center Efficiency) für eine ganzheitliche Betrachtung der Energieeffizienz entwickelt. Dieses wird in Kapitel 4 näher dargestellt.

Die Experten des Borderstep Instituts gehen davon aus, dass trotz der Effizienzgewinne weiter mit einem steigenden Energiebedarf zu rechnen ist. Die folgende Grafik zeigt den Energieverbrauch der Rechenzentren von 2011 bis 2018 mit einer Prognose bis 2025. Darüber hinaus zeigt die Grafik die Entwicklung der Rechenzentren in Deutschland und den Anteil der Cloud- und Edge-Rechenzentren in den Jahren 2010 bis 2018 mit der Prognose bis 2025.<sup>14</sup>



13 Köhn, Marina (UBA) in DFN Mitteilungen (2020). „Umweltschutz und Nachhaltigkeit – Rechenzentren in der Verantwortung“, [https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN\\_Mitteilungen\\_97.pdf](https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN_Mitteilungen_97.pdf)

14 Hintemann, R., Borderstep Institut (2020). „Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich“, <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf>

Der Stromverbrauch der IT-Komponenten in den Rechenzentren ist wie folgt gestiegen: 2010 5,8 Mrd. kWh, 2017 7,9 Mrd. kWh, 2018 8,5 Mrd. kWh und 2020 10 Mrd. kWh. Der Strombedarf der Rechenzentrumsinfrastruktur stieg demgegenüber nur wenig an: 2010 4,7 Mrd. kWh und 2017 5,3 Mrd. kWh.<sup>15</sup>

Eine Besonderheit in der deutschen Rechenzentrumslandschaft stellt das Rhein-Main-Gebiet um Frankfurt dar. In der Region liegt Europas größter und einer der weltgrößten Netzwerkknoten „DE-CIX“ mit Infrastrukturen höchster Stabilität. Nach Rechenzentren in Offenbach soll in Hanau eines der größten Rechenzentren Europas gebaut werden. Weitere Rechenzentren sollen in der Region folgen. Durch den größeren Energiebedarf soll der Verbrauch allein in dieser Region von 1 Mrd. kWh im Jahr 2017 bis auf 4 Mrd. kWh im Jahr 2025 steigen.<sup>16</sup>

Die folgende Grafik zeigt im Vergleich die Leistungsaufnahme von Rechenzentren in europäischen Städten 2020. „Demnach war London im Jahr 2020 mit 711 Megawatt (MW) an Rechenleistung die führende Stadt in Europa. Neben London sind unter anderem Frankfurt am Main mit einer Cloud-Rechenleistung von 510 MW und Amsterdam mit 365 MW in der Spitzengruppe der führenden europäischen Städte vertreten.“<sup>17</sup>

---

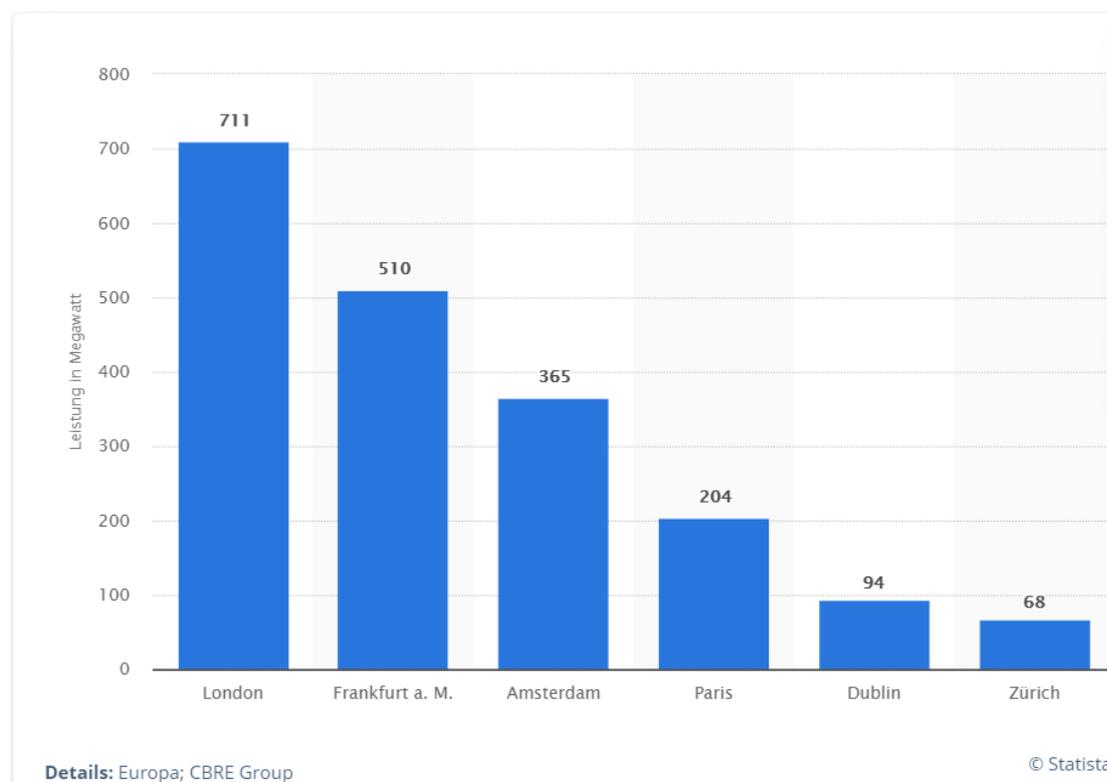
15 Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2017). „Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf deutscher Rechenzentren im Jahr 2016“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2016.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf)

Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2018). Digitalisierung treibt Strombedarf von Rechenzentren Boom führt zu deutlich steigendem Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2017“, [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand\\_Dez\\_2018.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand_Dez_2018.pdf)

16 Hessischer Rundfunk hr-iNFO (2021). „Boom der Rechenzentren in Rhein-Main – Fluch oder Segen?“, <https://www.ardaudiothek.de/episode/netzwelt/boom-der-rechenzentren-in-rhein-main-fluch-oder-segen/hr-info/89637990>

Borderstep Institut (2021). „DC-HEAT Data Centre Heat Exchange with AI-Technologies“, <https://www.borderstep.de/projekte/data-centre-heat-exchange-with-ai-technologies-dc-heat/>

17 statista (2021). „Leistungsaufnahme von Rechenzentren in europäischen Städten 2020“, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1219524/umfrage/leistungsaufnahme-von-rechenzentren-in-europaeischen-staedten/#statisticContainer>



### 3. Energieverbrauch der Rechenzentren im europäischen Kontext

Die Europäische Digitalstrategie<sup>18</sup> hat sich u.a. zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2030 den Betrieb von klimaneutralen, hochenergieeffizienten und nachhaltigen Rechenzentren zu erreichen. Eine von der EU-Kommission in Auftrag gegebene Studie des Borderstep Instituts zeigt, wie der steigende Stromverbrauch von Cloud-Diensten und Rechenzentren begrenzt werden kann.<sup>19</sup> Nach den Ergebnissen der Studie lag der Energieverbrauch von Rechenzentren in der EU im Jahr 2018 bei 76,8 TWh. Die Schätzungen ergeben einen Anstieg bis 2030 auf 98,52 TWh. Dies entspricht einem Anstieg von 28 %. Der Energieverbrauch von Rechenzentren in den EU-Mitgliedsstaaten

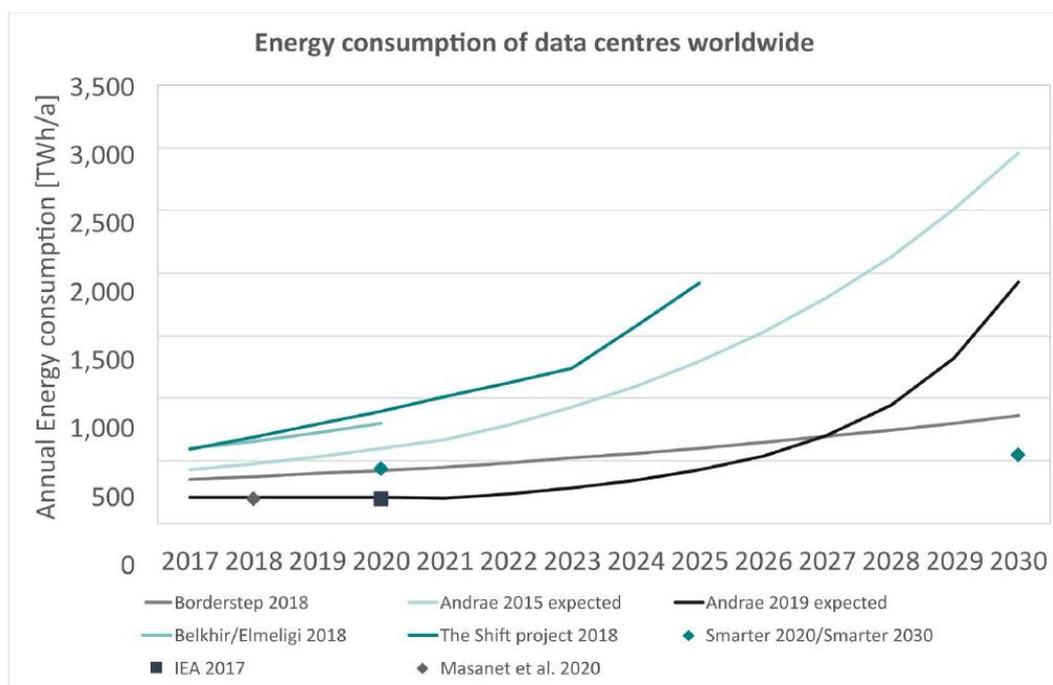
18 Mit der Digitalstrategie möchte die EU einen Beitrag für den digitalen Wandel für Menschen und Unternehmen und zur Klimaneutralität Europas bis 2050 leisten. Europäische Kommission (2021). „Shaping Europe’s digital future“, [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/shaping-europe-digital-future\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/shaping-europe-digital-future_en)

19 Europäische Kommission (2021). Pressemitteilung „Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market“, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/energy-efficient-cloud-computing-technologies-and-policies-eco-friendly-cloud-market>

Hintemann, R., et al. (2020). Final Study Report „Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market“, [https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=71330](https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=71330)

wird voraussichtlich von 2,7 % des Strombedarfs im Jahr 2018 auf 3,2 % im Jahr 2030 ansteigen.<sup>20</sup>

Der Abschlussbericht enthält eine Vielzahl von Grafiken und Zahlen insbesondere zur Energieeffizienz von Cloud-Rechenzentren. Die Experten des Borderstep Instituts und des österreichischen Umweltbundesamtes analysierten zahlreiche Studien und entwickelten ein Berechnungsmodell. Die mögliche Entwicklung des Energiebedarfs europäischer Rechenzentren der EU27 bis 2030 schätzten die Analysten. Die folgende Grafik gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Studien hinsichtlich des weltweiten Energieverbrauchs der Rechenzentren und der Netzwerkinfrastruktur bis zum Jahr 2030.<sup>21</sup> Im Vergleich sind die Prognosen der einzelnen Studien sehr unterschiedlich. Wie der Verbrauch 2030 letztendlich aussieht, hängt auch von technologischen und regulatorischen Maßnahmen ab.



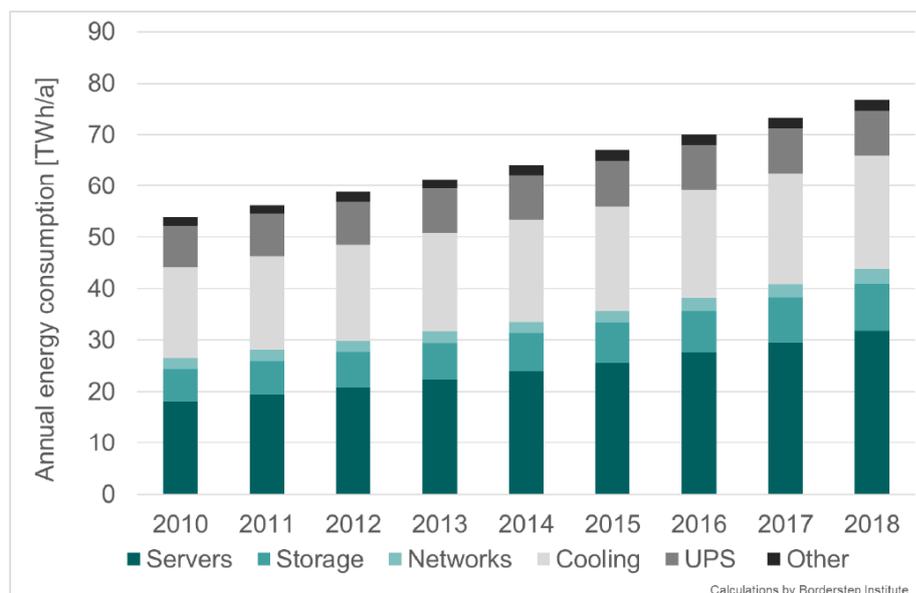
Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren und ihrer IT-Komponenten der EU28 von 2010 bis 2018. Der gesamte Energieverbrauch stieg in dem Zeitraum von 53,9 TWh/a auf 76,8 TWh/a. Im Jahr 2018 betrug der Strombedarf der Rechenzentren 2,7 % des Strombedarfs der EU28. Da der verwendete Strommix nicht genau bekannt war, schätzten die Experten den Anteil der Rechenzentren an den Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>) der

20 ebenda

Die Studie spricht u.a. Handlungsempfehlungen für eine energieeffiziente Cloud-Computing aus; beispielsweise wie der steigende Stromverbrauch von Cloud-Diensten und Rechenzentren begrenzt werden kann.

21 ebenda, Seite 50

EU28 für das Jahr 2018 auf 0,4 bis 0,6 %. Der Betrieb der Rechenzentren soll nach Vorgaben der Europäischen Kommission im Rahmen der europäischen Digitalstrategie<sup>22</sup> bis 2030 klimaneutral sein.<sup>23</sup>



Der Energieverbrauch der IT-Komponenten stieg nach Angaben der Experten von 2010 bis 2018 um 65 % von 26,5 TWh/a auf 43,8 TWh/a. Der Energieverbrauch der Infrastrukturen stieg dagegen nur um 20 %, von 27,3 auf 33,0 TWh/a. Die Energieeffizienz der Infrastrukturen hat sich im Vergleich zu den IT-Komponenten verbessert. Der durchschnittliche PUE-Wert in der EU28 ist von 2,03 im Jahr 2010 auf 1,75 im Jahr 2018 gesunken.<sup>24</sup>

Eine etwas detaillierte Aufstellung zeigt die folgende Abbildung. Sie vergleicht die Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren in Deutschland, UK, Frankreich, den Niederlanden und den „Rest der EU28“ von 2010 bis 2018. Die Rechenzentren in den vier genannten Ländern waren 2018 für 56 % des Energieverbrauchs der Rechenzentren in der EU28 verantwortlich.<sup>25</sup>

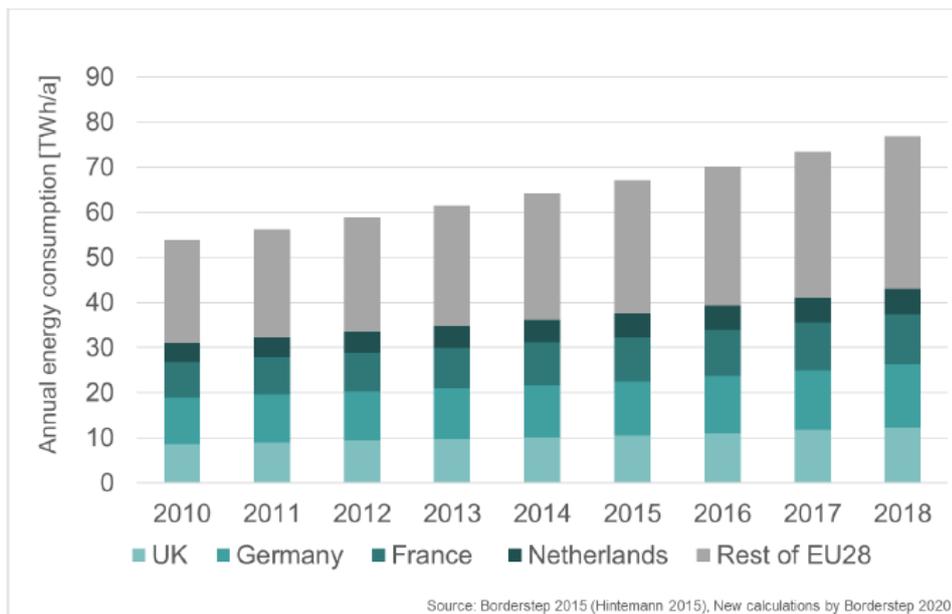
22 Digital Strategy, COM(2020) 67 final, European Commission, 2020b, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0067&from=en>, Seite 14

23 Borderstep Institut (2020). Final Study Report „Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market“, [https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=71330](https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=71330), Seite 58

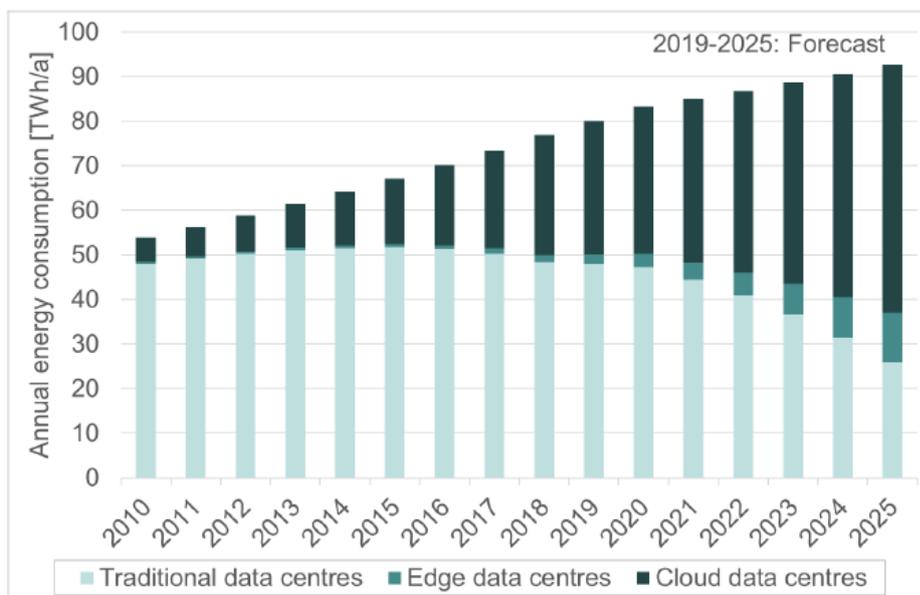
UPS (Uninterrupted Power Supply) = USV

24 ebenda, Seite 57

25 ebenda, Seite 59



In ihren Markt Betrachtungen und Modellrechnungen unterscheiden die Analysten zwischen traditionellen Rechenzentren, Cloud- und Edge-Rechenzentren. Die Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren in der EU28 in den Jahren 2010 bis 2018 und Prognose von 2019 bis 2025, mit den Anteilen von Cloud- und Edge-Rechenzentren zeigt die folgende Abbildung.<sup>26</sup>



Der Anteil der Cloud-Rechenzentren betrug 2010 10 % des Energieverbrauchs von Rechenzentren und stieg 2018 auf 35 %. Nach den Prognosen steigt dieser Anteil auf 60 % im Jahr 2025. Edge-Rechenzentren spielen nach Aussage der Experten derzeit noch eine untergeordnete Rolle für den Energieverbrauch. Der Anteil beträgt im Jahr 2018 etwa 2 %. Weitere Prognosen für Edge-Rechenzentren betrachtet die Fachbranche unterschiedlich und ihre Angaben mit großen Unsicherheiten behaftet.<sup>27</sup>

Zusammengefasst erwarten die Experten des Borderstep Instituts nach ihren Schätzungen einen Anstieg des Energieverbrauchs von Rechenzentren von etwa 2,8 % in 2020 bis zu 3,2 % in 2030. Das Forschungsteam des Borderstep Instituts und des österreichischen Umweltbundesamtes empfiehlt insbesondere technologische Innovationen in der Softwareentwicklung für rechenintensive Anwendungen, wie zum Beispiel Simulationsrechnungen oder im Sektor der Künstlichen Intelligenz, zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren.<sup>28</sup>

#### 4. Ökodesign-Regulierung und Energieverbrauch

Bisher wurde zur Beurteilung der Energieeffizienz von Rechenzentren in der Regel das Verhältnis des Energiebedarfs von Versorgungstechnik und der Informationstechnik ermittelt. Um die bisherigen Ansätze zur Bestimmung der Energieeffizienz von IT-Systemen zu verbessern, entwickelte das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen im Vorhaben „Key Performance Indicators for Data Center Efficiency (KPI4DCE)“ ein Kennzahlensystem zur ganzheitlichen Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz eines Rechenzentrums:

„KPI4DCE umfasst den gesamten Lebenszyklus der Informationstechnik im Rechenzentrum und der technischen Versorgungsstruktur. Darüber hinaus wird die Leistung des Rechenzentrums, wie die Rechen-, Speicher- und Übertragungsleistung, ins Verhältnis zum Energie- und Rohstoffaufwand gesetzt.

Die Spezifikation der IT-Leistungsindikatoren stützt sich auf Benchmark-Daten der Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) und weitere Leistungsindikatoren für Speichersysteme und Netzwerk. Diese Leistungsindikatoren werden ins Verhältnis zur Auslastung der Systeme gesetzt. Für die Bewertung der Umweltaspekte stehen Wirkungsindikatoren aus der Ökobilanzierung zu Verfügung. Die Daten für die Berechnung der Wirkungsindikatoren kommen aus den Lebenszyklus-Datenbanken ProBas und ecoinvent.“<sup>29</sup>

---

27 ebenda, Seite 60

28 ebenda, Seite 64

29 Köhn, Marina (UBA) in DFN Mitteilungen (2020). „Umweltschutz und Nachhaltigkeit – Rechenzentren in der Verantwortung“, [https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN\\_Mitteilungen\\_97.pdf](https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN_Mitteilungen_97.pdf)

Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC) <https://www.spec.org/>

Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagementsysteme: [www.probas.umweltbundesamt.de](http://www.probas.umweltbundesamt.de)

Datenbank Ecoinvent: <https://www.ecoinvent.org/>

Das Umweltbundesamt empfiehlt für die Beschaffung energieeffizienter Rechenzentren die Kriterien des Umweltzeichens Blauer Engel anzuwenden. Das KPI4DCE-Tool berechnet die Kennzahlen aus standardisierten Informationen der Rechenzentrumsbetreiber. Aus den Ergebnissen ergeben sich ggfls. Maßnahmen, um die Anforderungen des Blauen Engels für Rechenzentren zu erfüllen.<sup>30</sup> Es sollen neben den Anforderungen für einen energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb drei neue Produktgruppen für den Blauen Engel folgen: „Ressourceneffiziente Software“, „Colocation<sup>31</sup> Rechenzentrum“ und „Server und Datenspeicher“.<sup>32</sup>

Die Beschaffungsempfehlungen des Blauen Engels sind auch in einem Leitfaden für Beschaffungen umweltverträglicher Rechenzentren zusammengefasst worden.<sup>33</sup>

Das Umweltbundesamt plant, mit der Forschung an einem Energielabel für Rechenzentrum zu beginnen, rechnet aber nicht vor 2023 mit dessen Einführung.<sup>34</sup>

---

30 Umweltbundesamt (UBA) (2018). Abschlussbericht „Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23\\_texte\\_19-2018\\_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23_texte_19-2018_ressourceneffizienz-rechenzentren.pdf)

Umweltbundesamt (UBA) „KPI4DCE 2.0“, <https://www.umweltbundesamt.de/kpi4dce-20>

Umweltbundesamt (UBA) (2019). „Faltblatt „KPI4DCE 2.0 - Operationalisierung von Umwelt-, Energie- und Kosteneffizienz im Rechenzentrum durch Indikatoren an Beispielen aus der Praxis“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/kpi4dce\\_2.0\\_faltblatt\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/kpi4dce_2.0_faltblatt_0.pdf)

Blauer Engel für Rechenzentren: DE-UZ 161 „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“, <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/elektrogeraete/rechenzentren>

31 Colocation-Rechenzentren stellen Rechenzentrumsfläche als Dienstleistung zur Verfügung. Nutzer können dort eigene IT-Hardware betreiben und die Rechenzentrumsinfrastruktur des Dienstleisters verwenden.

32 Köhn, Marina (UBA) in DFN Mitteilungen (2020). „Umweltschutz und Nachhaltigkeit – Rechenzentren in der Verantwortung“, [https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN\\_Mitteilungen\\_97.pdf](https://www.dfn.de/fileadmin/5Presse/DFNMitteilungen/DFN_Mitteilungen_97.pdf)

Deutscher Bundestag (2020). Unterrichtung „Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen 2020 bis 2023“, [BT-Drs 19/20375](https://www.bundestag.de/Drucksachen/19/20375)

Blauer Engel für Colocation-Rechenzentren: DE UZ 214 „Klimaschonende Colocation-Rechenzentren“, <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/elektrogeraete/klimaschonendecolocation-rechenzentren>

33 Umweltbundesamt (2020). „Der Weg zur treibhausgasneutralen Verwaltung“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021\\_fb\\_weg\\_zur\\_treibhausgasneutralen\\_verwaltung\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_fb_weg_zur_treibhausgasneutralen_verwaltung_bf.pdf), Seite 54

34 Berner, J., Gebäude-Energieberater (GEB) (2021). „Eine Energiekennzeichnung betrifft alle Rechenzentren“, 17 (2021), Heft 03, Seite 36-37

Umweltbundesamt (UBA) (2021). „Wissenschaftliche Begleitung der Umsetzung der Ökodesign Richtlinie und Energieverbrauchskennzeichnungs-Richtlinie – Drittes Arbeitsprogramm“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-01-25\\_texte\\_19-2021\\_umsetzung\\_oekodesign\\_energieverbrauch.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-01-25_texte_19-2021_umsetzung_oekodesign_energieverbrauch.pdf)

Die Europäische Union hat einen Bericht erarbeitet, der die Entwicklung der Kriterien für eine umweltfreundliche öffentliche Beschaffung (Green Public Procurement, GPP) für Rechenzentren, Serverräume und Cloud-Dienste beschreibt. Der Leitfaden soll Behörden dabei helfen, Geräte und Dienstleistungen von Rechenzentren nach ökologischen Kriterien zu beschaffen. Die Kriterien sollen dazu beitragen, die Ziele der europäischen Politik in den Bereichen Energie, Klimawandel und Ressourceneffizienz zu erreichen, sowie die Lebenszykluskosten zu reduzieren.<sup>35</sup>

In diesem Zusammenhang haben Experten auch Zahlen zum Rechenzentrumsverbrauch abgeschätzt. Die folgende Tabelle zeigt den geschätzten Energieverbrauch von Rechenzentren in der EU für den Zeitraum von 2010 bis 2030. Auch hier nimmt der Verbrauch, wenn auch mit sinkender Rate zu. Im Jahr 2015 entsprach die verbrauchte Strommenge etwa 2,25 % des gesamten Energieverbrauchs der EU. Bis ins Jahr 2030 soll sich der Energieverbrauch nach Aussage der Experten verdoppeln.<sup>36</sup>

	2010	2015	2020	2025	2030
Total EU DC energy consumption (TWh/year)	55	74	104	134	160
Annual increase (%)	-	9%	6%	5%	3%

Den geschätzten Energieverbrauch der Rechenzentren in Abhängigkeit vom Rechenzentrumstyp – Enterprise DC, Colocation DC oder MSP DC<sup>37</sup> – zeigt die folgende Abbildung. In dieser Prognose steigt der Anteil der MSP-Rechenzentren deutlich stärker an, als die beiden anderen Rechenzentrumsarten.<sup>38</sup>

35 EU (2020). „Development of the EU Green Public Procurement (GPP) criteria for data centres, server rooms and cloud services“, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/89971797-a9fa-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en>

Das Umweltbundesamt hat 2016 einen Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung veröffentlicht: „Produkte und Dienstleistungen für Rechenzentren und Serverräume Ratgeber“, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-umweltfreundlichen-oeffentlichen-14>

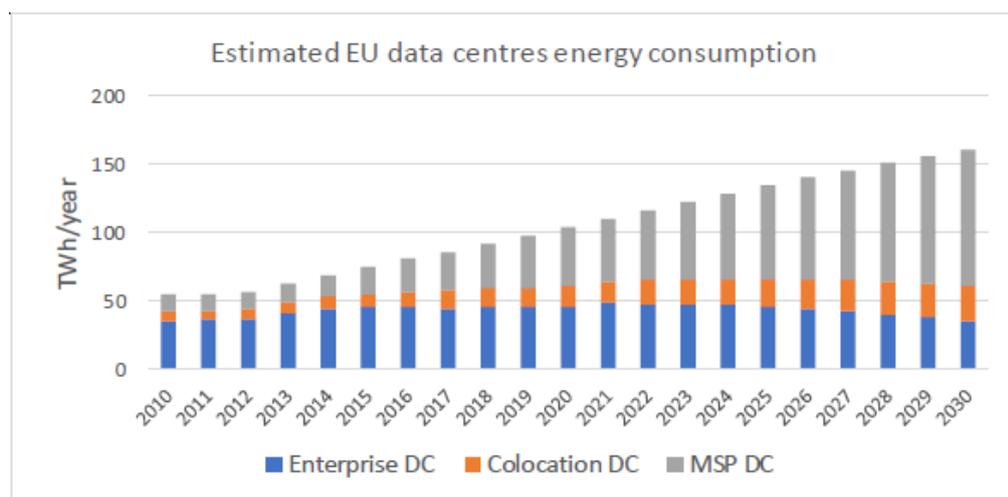
36 EU (2020). „Development of the EU Green Public Procurement (GPP) criteria for data centres, server rooms and cloud services“, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/89971797-a9fa-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en>, Seite 29

37 Enterprise Data Center = Rechenzentrum für die Bereitstellung und Verwaltung von Diensten für seine Mitarbeiter und Kunden.

Colocation Data Center = Ein Rechenzentrum, in der mehrere Kunden ihre eigenen Netzwerke, Server und Speichergeräte unterbringen und betreiben (s.a. Fußnote 30).

Managed Service Provider (MSP) Data Center = Rechenzentrum, das betrieben wird, um seinen Kunden eine definierte Reihe von Diensten zu bieten. Ein MSP übernimmt für andere den IT-Support, meist für Teilbereiche der IT der Kunden.

38 EU (2020). „Development of the EU Green Public Procurement (GPP) criteria for data centres, server rooms and cloud services“, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/89971797-a9fa-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en>, Seite 30



Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Rechenzentrumskomponenten der EU für den Zeitraum 2010 bis 2030.<sup>39</sup> Fast alle Energieverbräuche der Komponenten steigen an. Enterprise- und Colocation-Rechenzentren haben mit 52 % für Enterprise-Rechenzentren und Serverräume und 15 % für Colocation-Rechenzentren den größten Anteil am Energieverbrauch. Nach den Prognosen verschiebt sich die Aufteilung, da der Anteil der MSP-Rechenzentren am Markt zukünftig steigt.

	Data centre type	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Total EU DC energy consumption (TWh/year)</b>	<b>All</b>	<b>55</b>	<b>74</b>	<b>104</b>	<b>134</b>	<b>160</b>
ICT equipment consumption (TWh/year)	<b>Enterprise and server rooms<sup>31</sup></b>	18.3	26.2	29.7	29.8	23.2
Infrastructure consumption (TWh/year)		17.2	19.8	16.1	15.5	11.6
ICT equipment consumption (TWh/year)	<b>Co-location</b>	3.6	5.1	9.3	13.6	17.7
Infrastructure consumption (TWh/year)		3.4	3.8	5.1	7.1	8.8
ICT equipment consumption (TWh/year)	<b>MSP</b>	6.1	10.9	28.4	44.6	65.8
Infrastructure consumption (TWh/year)		5.8	8.2	15.4	23.3	32.9

39 EU (2020). „Development of the EU Green Public Procurement (GPP) criteria for data centres, server rooms and cloud services“, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/89971797-a9fa-11ea-bb7a-01aa75ed71a1/language-en>, Seite 30

## 5. Energieverbrauch von Cloud-Computing und Videostreaming

Nicht nur die Corona-Pandemie hat das Wachstum der Rechenzentren und den Trend zu Cloud-Computing beschleunigt. Anwendungen und Technologien wie Videostreaming, Social Networking, Big Data oder Künstliche Intelligenz erfordern, nach Ergebnissen von Analysten, deutlich mehr Kapazitäten in der Datenverarbeitung, -speicherung und -übertragung.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Green Cloud Computing“ hat das Umweltbundesamt Umweltwirkungen einzelner Cloud-Dienstleistungen mit einem modifizierten KPI4DCE-Modell berechnet. Die Green Cloud Computing Methodik (GCC-Methodik) erfasst den Umweltaufwand zur Herstellung von Informationstechnik und zum Betrieb von Rechenzentren in den vier sogenannten Wirkungskategorien: Rohstoffaufwand (ADP), Treibhausgasemissionen (GWP), Kumulierter Energieaufwand (CED) und Wasserverbrauch.

Die Nutzung der Dienste ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Bei Videokonferenzen spielen nicht nur die Übertragungswege und die Anzahl der Teilnehmer eine Rolle, sondern auch die Nutzung der Endgeräte, wie zum Beispiel Laptop und großer Konferenzbildschirm. Für ein Beispiel-Rechenzentrum haben die Experten die Anteile der verschiedenen Komponenten des Rechenzentrums (Server, Speichersysteme, Netzwerk und Infrastruktur) an den Treibhausgasemissionen ermittelt. „Die Einzelbeiträge addieren sich zu einem Gesamtwert von 1,45 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Stunde Videostreaming im Rechenzentrum.“ Die nachfolgende Grafik visualisiert zudem die Anteile der verschiedenen Komponenten des Videostreamings.<sup>40</sup>

---

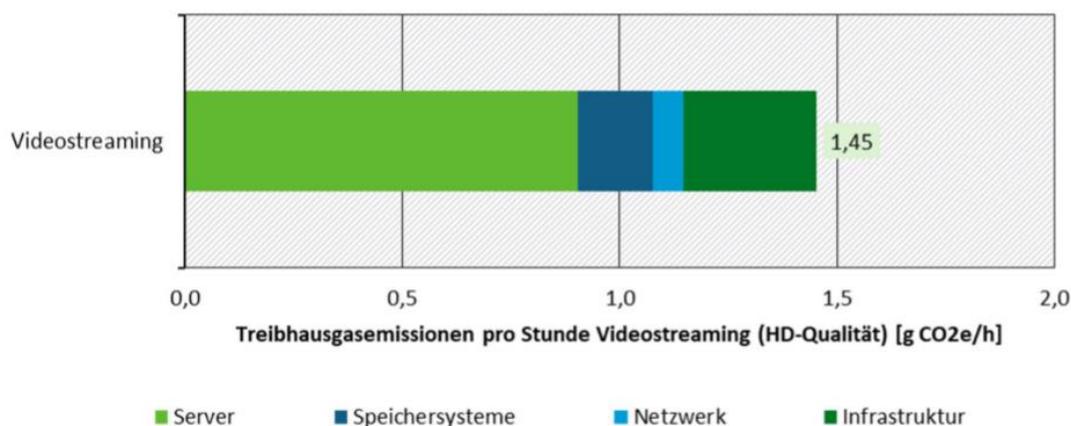
40 Umweltbundesamt UBA (2020). „Hintergrundinformationen Klimawirkung von Videostreaming & Co.“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet\\_klimawirkung\\_video-streaming.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet_klimawirkung_video-streaming.pdf)

BMU und UBA (2020). Tagung „Green Cloud Computing- Energie- und Ressourcenbedarf digitaler Infrastrukturen“, <https://publicarea.admiralcloud.com/p/iRg9WDwNJTyyr1D21Bx4mY>

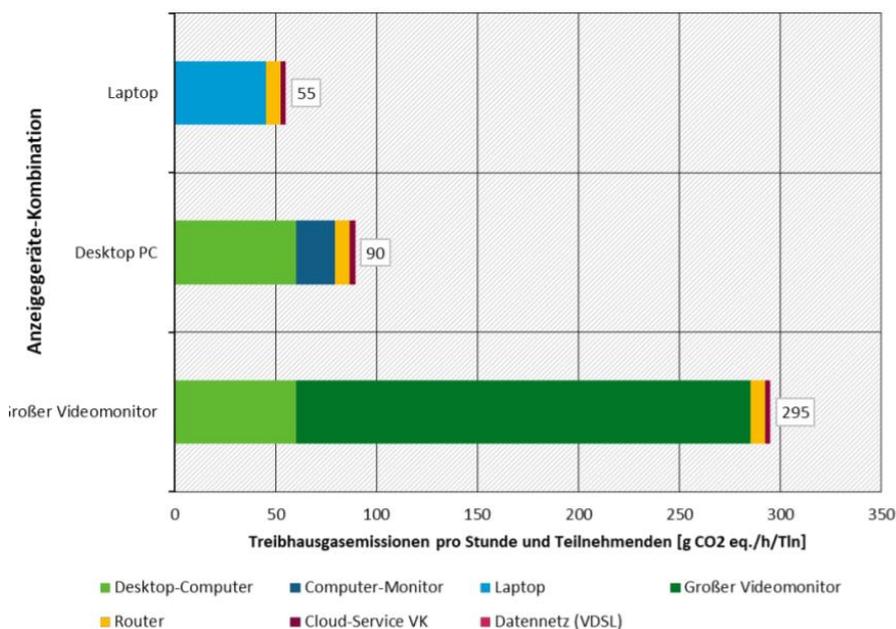
Umweltbundesamt (UBA) (2021). Abschlussbericht „Green Cloud Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17\\_texte\\_94-2021\\_green-cloud-computing.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf)

Ein Vergleich der Treibhausgasemissionen von Videokonferenzen mit verschiedenen Anzeigegeräten mit den Personenkilometern verschiedener Verkehrsmittel findet sich im Abschlussbericht auf Seite 136.

Ein Leitfaden des Branchenverbands Bitkom enthält Informationen zum Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Videostreamings. Der Leitfaden setzt sich branchenkritisch mit aktuellen Studien und Veröffentlichungen auseinander und liefert Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz. Bitkom (2020). „Nachhaltigkeit von Streaming & Co. Energiebedarf und CO<sub>2</sub> -Ausstoß der Videonutzung im Netz“, [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-06/200618\\_1f\\_nachhaltigkeit-von-streaming.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-06/200618_1f_nachhaltigkeit-von-streaming.pdf)



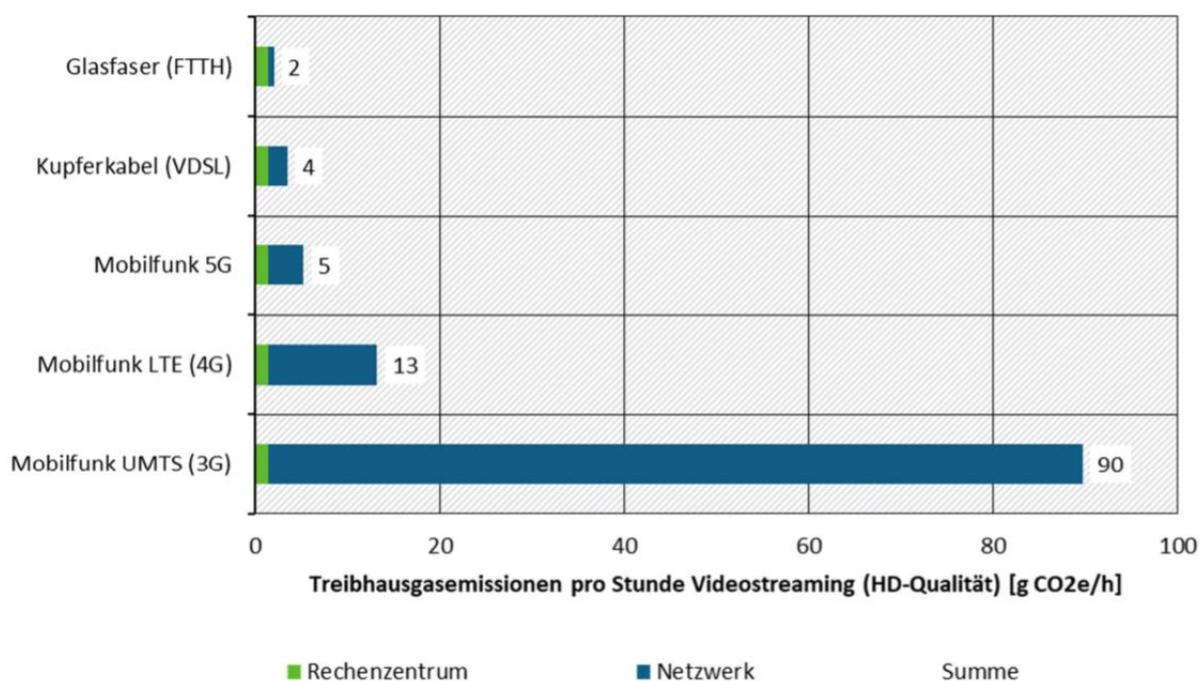
Die folgende Grafik zeigt die Treibhausgasemissionen der Videokonferenzteilnahme bei verschiedenen Anzeigeräte-Kombinationen für die Herstellungs- und Nutzungsphase.



Während die Treibhausgasemissionen aus den Modellrechnungen „nur 2,27 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Stunde und Teilnehmenden beträgt, liegen die Treibhausgasemissionen bei der schlankesten Gerätekombination Laptop und Router mit 52,5 Gramm bereits um einen Faktor von 23 höher als die Emissionen im Rechenzentrum. Der Anbieter der Cloud-Dienstleistung ‚Videokonferenz‘ hat bei diesen Nutzungsszenarien nur einen sehr geringen Anteil an den Gesamtemissionen.“<sup>41</sup>

41 Umweltbundesamt (UBA) (2021). Abschlussbericht „Green Cloud Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17\\_texte\\_94-2021\\_green-cloud-computing.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf) Seite 23

Auch die Übertragungswege bzw. Telekommunikationswege spielen eine Rolle. Die folgende Abbildung zeigt die Treibhausgasemissionen verschiedener Netzarten für die Übertragung von einer Stunde Video in HD-Qualität.



Die Treibhausgasemissionen im Netzwerk unterscheiden sich sehr stark. Das Glasfasernetz ist am effizientesten. Die Zahlen zeigen auch, dass die Energieeffizienz des neuen Kommunikationsstandards „5G“ deutlich niedriger ist als UMTS und auch LTE (4G).<sup>42</sup>

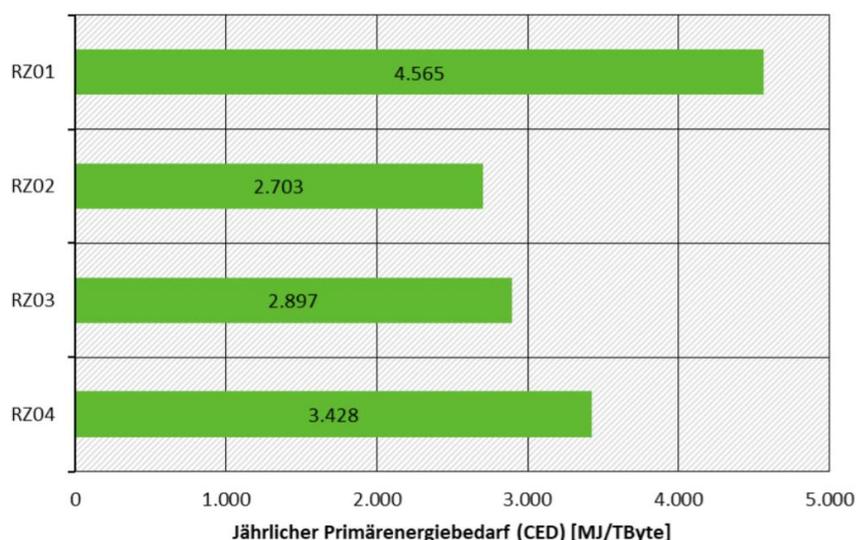
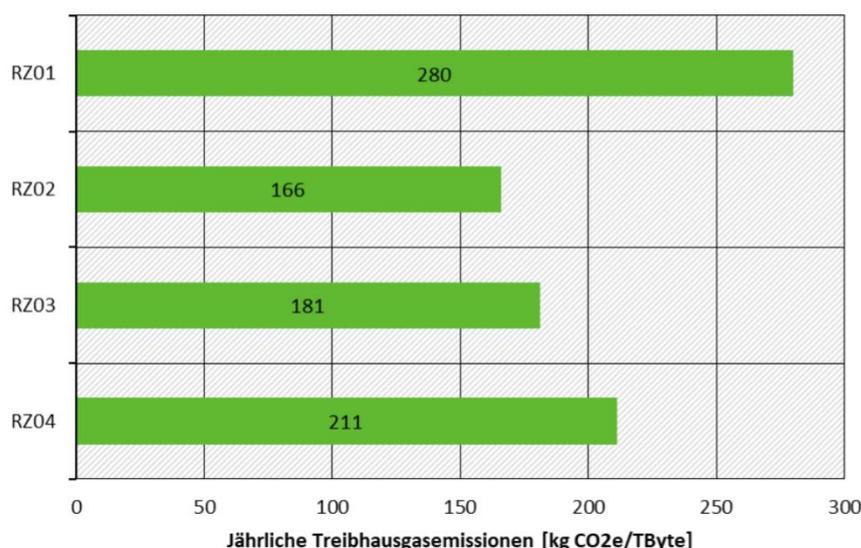
Die jährlichen Treibhausgasemissionen und den kumulierten Energieaufwand für Online-Speicher berechneten die Analysten für vier verschiedene Modell-Rechenzentren. Die Rechenzentren RZ01 bis RZ04 sind unterschiedlich leistungsfähig und erfüllen unterschiedliche Aufgaben.<sup>43</sup> Unterschiedliche Rahmenbedingungen wie auch die Betriebsführung führen zu unterschiedlichen Treibhausgasemissionen. „Sowohl Änderungen in der Effizienz der Gebäudetechnik oder bei den IT-Einrichtungen wirken sich auf die Kennzahlen aus als auch eine höhere Auslastung der Spei-

42 Umweltbundesamt UBA (2020). „Hintergrundinformationen Klimawirkung von Videostreaming & Co.“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet\\_klimawirkung\\_video-streaming.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet_klimawirkung_video-streaming.pdf)

BMU und UBA (2020). Tagung „Green Cloud Computing- Energie- und Ressourcenbedarf digitaler Infrastrukturen“, <https://publicarea.admiralcloud.com/p/iRg9WDwNJTyyr1D21Bx4mY>

43 Detaillierte Angaben zu den Leistungsparametern finden sich in der Tabelle 15 auf Seite 38: Umweltbundesamt (UBA) (2021). Abschlussbericht „Green Cloud Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17\\_texte\\_94-2021\\_green-cloud-computing.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf)

chersysteme (belegter Speicherplatz). Die Kennzahlen sind daher nicht nur zum Vergleich verschiedener Rechenzentren, sondern auch für die eigene Optimierung geeignet“. Die beiden folgenden Grafiken zeigen den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen für verschiedene Szenarien. Der jährliche Primärenergiebedarf liegt zwischen 2.703 und 4.565 MJ pro Terabyte und die jährlichen Treibhausgasemissionen zwischen 166 und 280 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Terabyte, in Abhängigkeit vom betrachteten Szenario.<sup>44</sup>



44 Umweltbundesamt (UBA) (2021). Abschlussbericht „Green Cloud Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing“, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17\\_texte\\_94-2021\\_green-cloud-computing.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf) Seite 108-109

Cumulated Energy Demand (CED) ist der kumulierte Energieaufwand (KEA).

1 Megajoule = 0,278 Kilowattstunden, (Der Primärenergiebedarf liegt zwischen 750 und 1570 kWh pro Terabyte)

## 6. Fallbeispiel pandemiebedingtes Homeoffice

Die Experten des Borderstep Instituts sprechen, trotz steigender Zahl der Server in Rechenzentren und der zunehmenden Leistungsaufnahme der Server, von einer Entlastung der Umwelt durch die pandemiebedingte Digitalisierung. Die Fachleute berechneten das konkrete CO<sub>2</sub>-Entlastungspotenzial anhand eines Fallbeispiels:

„[Im Fallbeispiel] treffen sich vier Personen für vier Stunden virtuell oder aber persönlich in Stuttgart. Zwei Personen wohnen dabei in Stuttgart, zwei in Berlin. Den Annahmen liegen Zahlen aus dem Jahr 2018 zugrunde. Danach fallen für vier Stunden Videokonferenz pro Person 0,271 kg CO<sub>2</sub> an, wenn für die virtuelle Begegnung ein PC (inklusive Monitor) genutzt wird. Bei Nutzung eines Laptops sind es sogar nur 0,184 kg.

Für die physische Präsenz in Stuttgart fallen je nach gewähltem Transportmittel unterschiedliche Belastungen des Klimas an. Die Anreise mit dem Flugzeug hat die schlechteste CO<sub>2</sub>-Bilanz. Für die Anreise von zwei Personen aus Berlin nach Stuttgart fallen in diesem Beispiel 471 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Die Anreise mit dem PKW verursacht 379 kg CO<sub>2</sub>-Emissionen. Schonender für die Klimabilanz ist die Anreise mit der Bahn, hier kommen zwei Personen auf etwa 65 kg CO<sub>2</sub>. Die Videokonferenz am Laptop verursacht demnach für vier Personen nur rund 0,73 kg CO<sub>2</sub> und ist daher für dieses Fallbeispiel mit sehr großem Abstand die klimafreundlichste Meetingform.“<sup>45</sup>

Die Analysten untersuchten auch, wie sich das Homeoffice auf die Klimabilanz auswirkt. Die Experten nahmen an, „dass nur etwa 42 % der Erwerbstätigen in Deutschland aufgrund ihrer Tätigkeit überhaupt die Möglichkeit haben, im Home-Office zu arbeiten. Realistisch ist die Annahme, dass etwa 25 % dieser Personen während des Lockdowns (Mitte März bis Mitte Mai) im Homeoffice gearbeitet haben. Für diese Zeit liegt das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial durch den Wegfall der Pendlerwege (je nach Anzahl der Arbeitstage im Home-Office) zwischen 150.000 bis zu 760.000 Tonnen.“<sup>46</sup>

## 7. Energieverbrauch der Rechenzentren im internationalen Kontext

Der Energieverbrauch der globalen Rechenzentren soll nach Aussage eines us-amerikanischen Forscherteams im Jahr 2018 etwa 205 TWh betragen haben. Dies entspricht 1 % des weltweiten Stromverbrauchs. Der Energieverbrauch ist im betrachteten Zeitraum von 2010 bis 2018 geringer angestiegen, als die Experten es vermutet hätten.<sup>47</sup>

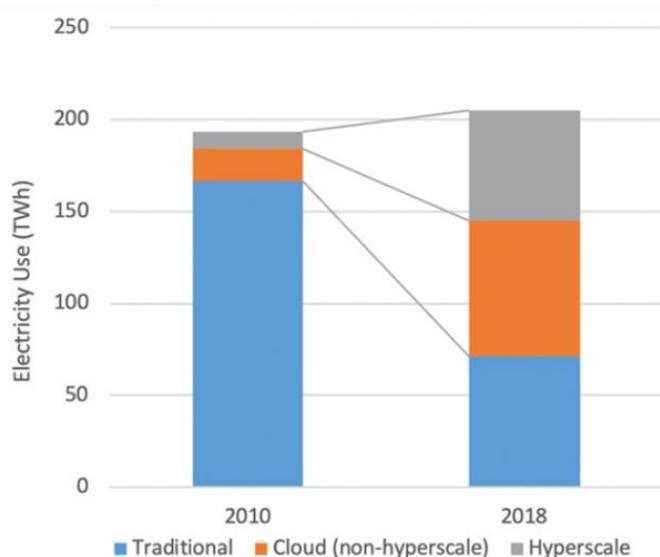
---

45 Borderstep Institut (2021). „Deutlicher Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren“, <https://www.borderstep.de/deutlicher-anstieg-des-energiebedarfs-der-rechenzentren-im-jahr-2020/>

46 Borderstep Institut (2021). „Deutlicher Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren“, <https://www.borderstep.de/deutlicher-anstieg-des-energiebedarfs-der-rechenzentren-im-jahr-2020/>

47 Masanet, E., et al. (2020). “Recalibrating Global Data Center Energy-Use Estimates”, Science 367, No. 6481 (2020): 984-986, <https://science.sciencemag.org/content/sci/367/6481/984.full.pdf>

Trotz des rasanten Anstiegs der Nachfrage nach Informationsdiensten in den letzten zehn Jahren ist der weltweite Energieverbrauch von Rechenzentren zwischen 2010 und 2018 wahrscheinlich nur um 6 Prozent gestiegen. Die Experten führen hierfür drei Gründe an: Zum einen hat sich die Energieeffizienz der IT-Geräte – insbesondere von Servern und Speicherlaufwerken – durch den technologischen Fortschritt der IT-Hersteller verbessert. Zum anderen ist Servervirtualisierungssoftware zum Einsatz gekommen. Das bedeutet, mit dieser Software können mehr Anwendungen auf einem einzigen Server laufen. Diese Art des Serverbetriebs hat die Energieintensität der gehosteten Anwendungen reduziert. Als dritten Grund führen die Experten die Verlagerung der meisten Recheninstanzen in große Cloud- und Hyperscale<sup>48</sup>-Rechenzentren an. Diese setzen u.a. hocheffiziente Kühlsysteme ein und senken so den Energieverbrauch. Die folgende Grafik zeigt die Unterschiede im geschätzten weltweiten Stromverbrauch verschiedener Rechenzentrumsarten zwischen 2010 und 2018.<sup>49</sup>



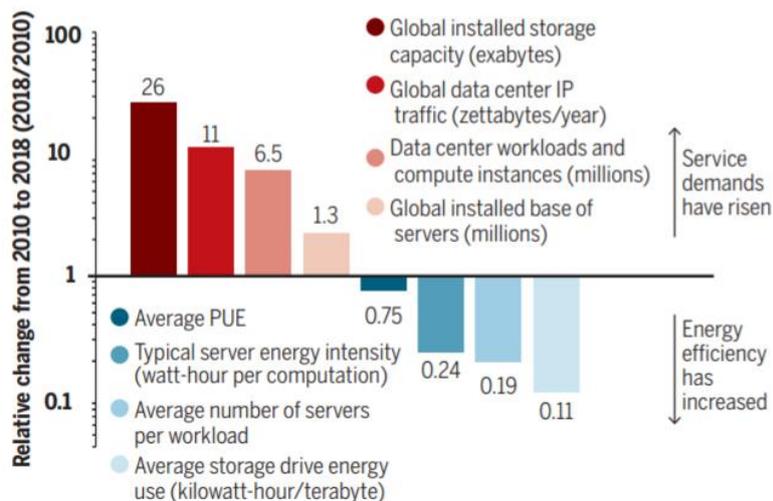
Die Experten kritisieren, dass die bisher angewendeten extrapolationsbasierten Ansätze die Effizienzeffekte nicht zufriedenstellend abbilden könnten, da ihnen die technologischen und strukturellen Details fehlten. Die Ansätze erfassen in der Regel die möglichen Ursachen für einen erhöhten Energieverbrauch. Technologische Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz betrachten diese meist nicht. Die folgende Grafik zeigt Trends der steigenden globalen Energienutzung (obe-

48 In Hyperscale-Systemen ist eine sehr große Zahl von Servern in einem Netzwerk verbunden. Diese Systeme lassen sich bei Bedarf optimiert skalieren.

49 Energy Innovation (2020). „How Much Energy Do Data Centers Really Use?“, <https://energyinnovation.org/2020/03/17/how-much-energy-do-data-centers-really-use/>

rer Teil der Grafik, PUE-Werte größer als eins) und den Einfluss von effizienzsteigernden Maßnahmen für Rechenzentren auf Basis des PUE-Wertes (Werte unterhalb von eins) im Vergleich von 2010 und 2018.<sup>50</sup>

### Trends in global data center energy-use drivers



PUE, power usage effectiveness; IP, internet protocol.

Neue Datenmodellierungen, basierend auf den Zahlen des Berkeley National Laboratory, zeigen, dass die Kombination aus erhöhter Server-Effizienz und einer stärker eingesetzten Servervirtualisierung zu einer Versechsfachung der Recheninstanzen,<sup>51</sup> aber nur zu einem 25 % höherem Energieverbrauch geführt hat. Erhöhte Speicherlaufwerkeffizienz und -dichten haben zu einer 25-fachen Steigerung der Speicherkapazität bei einem nur dreifachen Anstieg des globalen Energieverbrauchs der Speicher geführt. Die Umstellung auf schnellere und energieeffizientere Port-Technologien hat einen 10-fachen Anstieg des IP-Verkehrs in Rechenzentren zur Folge, während der Energieverbrauch der Netzwerkgeräte nur sehr gering gestiegen ist. Der Gesamtenergieverbrauch von Servern, Speichern und Netzwerkinfrastruktur hat sich von rund 92 TWh im Jahr 2010 auf rund 130 TWh im Jahr 2018 erhöht. Die Experten kommen zu dem Schluss, dass technologische und betriebliche Effizienzsteigerungen trotz eines erheblichen Wachstums der Dienstleistungen

50 Masanet, E., et al. (2020). "Recalibrating Global Data Center Energy-Use Estimates", Science 367, No. 6481 (2020): 984-986, <https://science.sciencemag.org/content/sci/367/6481/984.full.pdf>

Ayanoglu, E., Institute of Electrical and Electronics Engineers Communication Society (IEEE Comsoc) (2019). „Energy Efficiency in Data Centers“, <https://www.comsoc.org/publications/tcn/2019-nov/energy-efficiency-data-centers>

US Department of Energy (2020). „United States Data Center Energy Usage Report“, <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/resources/united-states-data-center-energy-usage-report>, Report aus 2016: <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/resources/united-states-data-center-energy-usage-report>

51 Der Begriff „Instanz“ wird in der Informationstechnologie vielfältig verwendet. Instanzen sind eine Art Bereiche auf Servern, wie zum Beispiel virtuelle Anwendungen.

mit einem vergleichsweise deutlich geringeren Wachstum des Energieverbrauchs verbunden waren.<sup>52</sup>

Ein weiteres dynamisches Modell der niederländischen Universität Twente soll, nach Aussage der Forscher, politische Entscheidungen unterstützen und zur Simulation von Energieszenarien für Rechenzentren dienen. Die Experten kamen nach unterschiedlichen Modellierungen<sup>53</sup> zu dem Schluss, dass das Nutzerverhalten den Energiebedarf von Rechenzentren von 292 TWh im Jahr 2016 auf 353 TWh im Jahr 2030 erhöht, wenn die heutigen technologischen und verhaltensbezogenen Trends gleich bleiben.<sup>54</sup>

In ihren Modellierungen haben sie auch ein Ende des Moore'schen Gesetzes und ein Wachstum des Internets der Dinge (IoT) berücksichtigt. Nach Aussage der Experten führen ihre Annahmen zu einem Anstieg des Energiebedarfs von Rechenzentren auf 1287 TWh im Jahr 2030.<sup>55</sup>

Dabei führt das Ende des Moore'schen Gesetzes zu einem Gesamtverbrauch von 658 TWh für 2030 und einem Anstieg des Anteils des Energieverbrauchs der weltweiten Rechenzentren von 1,15 % im Jahr 2016 auf 1,86 % im Jahr 2030. Der Anstieg der industriellen IoT-Anwendungen könnte im Jahr 2030 insgesamt 364 TWh (etwa 1,03 %) Energie verbrauchen. Beide Entwicklungen, Mooresche Gesetz und das IoT zusammen, lassen den Energiebedarf von Rechenzentren im Jahr 2030 auf 752 TWh ansteigen. Dies entspricht etwa 2,13 % des weltweit verfügbaren Stroms. Die Autoren geben abschließend zu bedenken, dass die Ergebnisse ihrer gewählten Szenarien weiterhin mit Unsicherheiten behaftet sind.<sup>56</sup>

\*\*\*

---

52 Masanet, E., et al. (2020). "Recalibrating Global Data Center Energy-Use Estimates", Science 367, No. 6481 (2020): 984-986, <https://science.sciencemag.org/content/sci/367/6481/984.full.pdf>

53 Monte-Carlo-Simulationen mit 10.000 Wiederholungen für alle Szenarien (Basis, Moore'sches Gesetz, IoT und Kombination; die Eingangsparameter gehen als Zufallsgrößen in die Simulation)

Moore'sches Gesetz: Diese Faustregel besagt, dass sich die Anzahl der integrierten Schaltkreise, die auf einem Mikrochip Platz haben, etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Oft ist mit dem Moore'schen Gesetz die Aussage verbunden, dass sich die Prozessorleistung verdoppelt. Aber eine Verdopplung der Transistoren bedeutet nicht unbedingt eine Verdopplung der Leistung der Prozessoren.

Mit dem Ende des Moore'schen Gesetzes ist gemeint, dass es an seine physikalischen Grenzen stößt. Die Chips werden nicht mehr zwangsläufig alle zwei Jahre schneller. Effizienzsteigerungen gibt es aber weiterhin.

IoT = Internet of Things, das Szenario berücksichtigt insbesondere die steigende Digitalisierung

Basis-Szenario = Auswertung der Literatur

54 Koot, M. et al. (2021). „Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model“, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921003019>

55 ebenda

56 ebenda