

## Rechenzentren 2021

### Rechenzentrumsboom in Deutschland hält an

# Cloud Computing treibt das Wachstum der Rechenzentrumsbranche und ihres Energiebedarfs

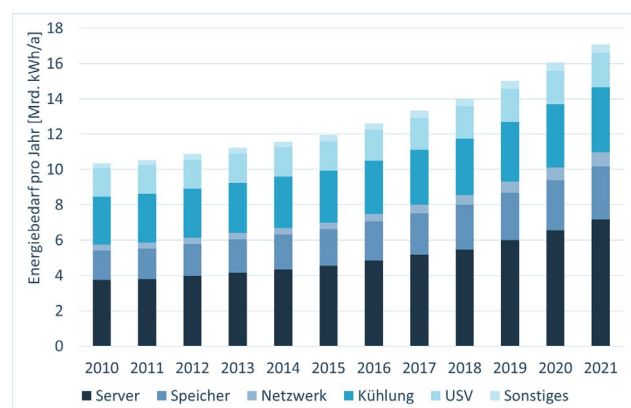
Dr. Ralph Hintemann | Simon Hinterholzer

**Der Energiebedarf der Rechenzentren nimmt weiter zu. Mit 17 Mrd. kWh verbrauchten die Rechenzentren im Jahr 2021 6,5 % mehr Strom als 2020. Wesentlicher Grund für das Wachstum im Energiebedarf ist der Ausbau der Cloud-Rechenzentren in Deutschland und die damit verbundene Zunahme der Zahl der Groß-Rechenzentren. Aber auch traditionelle Rechenzentren im Eigenbetrieb von Unternehmen haben weiterhin einen hohen Anteil an den Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland.**

Dies sind Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung des Borderstep Instituts zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland.

Das Wachstum des Energiebedarfs der Rechenzentren ist vor allem auf die gestiegene Nachfrage nach IT-Leistung aus Rechenzentren zurückzuführen. Obwohl die Server immer leistungsfähiger werden und die Auslastung der IT-Systeme insbesondere in Cloud-Rechenzentren ansteigt, führt der stark erhöhte Leistungsbedarf zu einem höheren Strombedarf in den Rechenzentren in Deutschland (Abbildung 1). Von den 17 Mrd. kWh Strom, die im Jahr 2021 in den Rechenzentren verbraucht wurden, gingen fast 11 Mrd. kWh in die IT-Komponenten (Server, Storage und Netzwerk). Seit 2010 hat sich der Strombedarf der IT-Komponenten in den Rechenzentren damit fast verdoppelt. Im Vergleich dazu stieg der Energiebedarf der Rechenzentrumsinfrastruktur (Kühlung/Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), etc.) nur moderat von 4,6 auf 6,1 Mrd. kWh zwischen 2010 und 2021 an. Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur hat sich also deutlich verbessert. Als Maß für die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur wird der sogenannte PUE-Wert<sup>1</sup> genutzt. Der durchschnittliche PUE-Wert der Rechenzentren

und kleinen IT-Installationen in Deutschland verbesserte sich zwischen 2010 und 2021 von 1,82 auf 1,56.



**Abbildung 1:** Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2021 (Quelle: Borderstep)

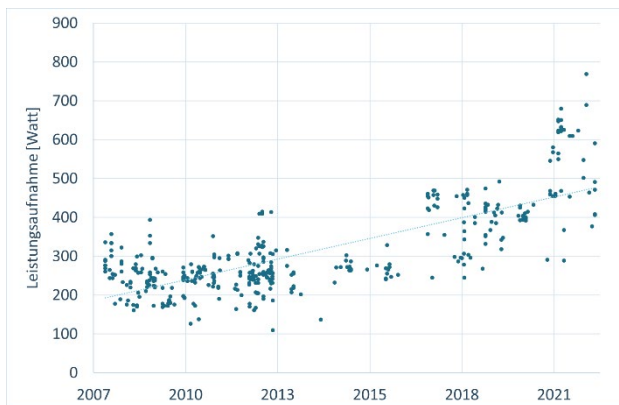
Setzen sich die aktuellen Trends weiter fort, so wird der Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland trotz der deutlichen Effizienzgewinne bei IT und bei den Infrastrukturkomponenten auch in Zukunft weiter ansteigen. Bis 2030 ist mit einem Anstieg auf etwa 28 Mrd. kWh zu rechnen (Hintemann, Graß, Hinterholzer & Grothey, 2022).

### Server brauchen immer mehr Strom

Ein wesentlicher Grund für den steigenden Energiebedarf liegt in der zunehmenden Leistungsaufnahme der Server. Betrachtet man die für den Benchmark SPECpower<sup>®</sup> gemessenen 2-CPU-Server, so haben diese heute eine maximale Leistungsaufnahme, die fast zweieinhalbmal so hoch ist wie im Jahr 2007 (Abbildung 2). Trotz dieser Steigerung des Stromverbrauchs sind die heutigen Systeme um ein

<sup>1</sup> Der Wert der Power Usage Effectiveness (PUE-Wert) gibt das Verhältnis des Jahresenergiebedarfs des gesamten Rechenzentrums zum Jahresenergiebedarf der IT des Rechenzentrums an.

Vielfaches effizienter, wenn man den Anstieg an Rechenleistung gegenüberstellt. Die maximale Rechenleistung der Systeme hat sich im gleichen Zeitraum teilweise um den Faktor 50 erhöht.



**Abbildung 2:** Max. Leistungsaufnahme von Servern mit zwei CPUs im SPECpower®-Benchmark (2007 – 2021)

### Starkes Wachstum von Cloud-Rechenzentren

Gemäß aktueller Untersuchungen von Eurostat liegt der Anteil der Unternehmen (ab 10 Mitarbeitende) in Deutschland, die Cloud-Dienste nutzen, im Jahr 2021 bei 42 % auf durchschnittlichem europäischen Niveau. Vor allem in den skandinavischen Ländern Schweden (75 %), Finnland (75 %), Dänemark (65 %) und Norwegen (64 %) wird deutlich mehr Cloud Computing genutzt. Aber auch in den Niederlanden (65 %) und Italien (60 %) gibt es einen deutlich höheren Anteil an Unternehmen, die Cloud-Dienste nutzen. Allerdings nimmt die Cloud-Nutzung in Deutschland in den letzten Jahren deutlich zu. Allein zwischen 2018 und 2021 hat sich die Zahl der Cloud-nutzenden Unternehmen fast verdoppelt (Eurostat, 2022). Ein Grund hierfür ist nicht zuletzt die Corona-Pandemie. Insbesondere Cloud-Anbieter profitierten von dem mit der Pandemie verbundenen Digitalisierungsschub im vergangenen Jahr und werden wohl auch langfristig gestärkt aus der Krise hervorgehen (eco & Arthur D. Little, 2020). Die deutliche wachsende Nachfrage nach Cloud-Dienstleistungen ist ein Grund für den seit Jahren anhaltenden Boom beim Bau von Groß-Rechenzentren in Deutschland. Der Anteil der Cloud an den Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland liegt aktuell bei einem Drittel. Bis 2025 ist zu erwarten, dass sich Cloud Computing in Deutschland zum dominierenden Bereitstellungsmodell entwickelt. Vor allem in den Regionen Frankfurt Rhein-Main und Berlin/Brandenburg gibt es aktuell eine Reihe von neuen Rechenzentrumsprojekten mit max. Anschlussleistungen in der Größenordnung von 100 MW und mehr (Hintemann et al., 2022).

### Eigenbetrieb von Rechenzentren hat weiterhin hohe Bedeutung

Trotz des stark zunehmenden Anteils von Cloud Computing an den Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland ist auch der Eigenbetrieb von Rechenzentren für einen

Großteil der Unternehmen ein wichtiges Thema. Die Kapazitäten der traditionellen Rechenzentren in Deutschland bleiben bisher auf einem konstanten Niveau. Das Wachstum der Gesamtkapazitäten ist fast ausschließlich durch Cloud-Rechenzentren begründet. Es ist auch zu erwarten, dass sich an dieser Entwicklung in Zukunft nur wenig ändert. Gemäß einer aktuellen repräsentativen Befragung planen nur etwa 5 % der Unternehmen, auf eigene Rechenzentren zu verzichten (Hintemann et al., 2022).

### Abwärme aus Rechenzentren muss stärker genutzt werden

Vor dem Hintergrund des voranschreitenden Klimawandels und der Herausforderung, die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern wie Öl und Gas zu verringern, kommt der Nutzung von Abwärme eine zunehmende Bedeutung zu. Rechenzentren können hierzu einen signifikanten Anteil leisten. Bislang wird der in Rechenzentren verbrauchte Strom in Form von Wärme ungenutzt an die Umwelt abgegeben. Das lag bisher insbesondere an der mangelnden Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren (Clausen, Hintemann & Hinterholzer, 2020). In Zukunft ist jedoch von deutlich anderen Voraussetzungen auszugehen, so dass die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren eine hohe Bedeutung erlangen kann. Gründe hierfür sind die sich verändernden Rahmenbedingungen der Energieversorgung, neue technische Ansätze wie Flüssigkeitskühlung von Servern oder die Nutzung von Künstlicher Intelligenz zur Optimierung von Wärmeauskopplung und Wärmenetzen.

### Weltweite Entwicklung: Hoher Anteil von Krypto-Mining am steigenden Energiebedarf der Rechenzentren

Analysiert man die international verfügbaren Studien und Publikationen zum Energiebedarf der Rechenzentren, so ergibt sich kein einheitliches Bild. Einige Forschende gehen weltweit von einem deutlich ansteigenden Energiebedarf aus (Andrae, 2019; Belkhir & Elmeligi, 2018; Petit, Carlini & Avelar, 2021; The Shift Project, 2019). In anderen Studien wurde dagegen ein nahezu konstanter Energiebedarf der Rechenzentren in den vergangenen Jahren berechnet (IEA, 2017; Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Koomey, 2020; Shehabi, Smith, Masanet & Koomey, 2018). Für das Jahr 2020 reichen die Berechnungen bspw. von etwa 200 Mrd. kWh bis zu fast 900 Mrd. kWh.

Mit Hilfe des vom Borderstep Institut für Deutschland entwickelten Strukturmodells der Rechenzentren lässt sich eine Abschätzung der Entwicklung des weltweiten Energiebedarfs der Rechenzentren vornehmen. Diese kann auf Basis von weltweiten Verkaufszahlen für Server und durch Anpassung der Modellannahmen erfolgen. Unter Berücksichtigung von Unsicherheiten durch Parametervariationen lässt sich so ein weltweiter Energiebedarf der Rechenzentren im Jahr 2021 in einer Größenordnung von

350 bis 500 Mrd. kWh/a berechnen<sup>2</sup>. Für etwa ein Viertel dieses Energiebedarfs ist das Mining<sup>3</sup> von Krypto-Währungen verantwortlich. Analysiert man verschiedene Modellrechnungen zum Thema Krypto-Mining (CBECI, 2022; Digiconomist, 2022a, 2022b) so scheint dazu ein Energiebedarf in der Größenordnung von 80 bis 120 Mrd. kWh/a wahrscheinlich.

### Methodik der Untersuchung

Die vorliegende Untersuchung basiert auf Arbeiten des Borderstep Instituts zur Entwicklung der Rechenzentren in Deutschland.

Als Rechenzentren gelten nach der zugrundeliegenden Systematik alle abgeschlossenen räumlichen Einheiten wie Serverschränke, Serverräume, Gebäudeteile oder ganze Gebäude, in denen IT-Komponenten wie Server, Speicher und Netzwerkkomponenten installiert sind. Ausdrücklich werden auch kleine IT-Installationen, die zentral Rechen- und Speicherleistungen zur Verfügung stellen, als Rechenzentren betrachtet. Die Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten wird insbesondere auf Basis der Serverausstattung in den Rechenzentren berechnet. Hierbei werden auch die unterschiedlichen Leistungsklassen von Servern berücksichtigt.

Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe eines umfangreichen Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland und Europa, das am Borderstep Institut entwickelt wurde und jährlich aktualisiert wird (Fichter & Hintemann, 2014; Hintemann, 2017a, 2020; Hintemann, Clausen, Beucker & Hinterholzer, 2021; Hintemann, Fichter & Stobbe, 2010; Hintemann et al., 2022; Hintemann & Hinterholzer, 2019, 2020; Hintemann, Hinterholzer, Montevocchi & Stickler, 2020; Hintemann et al., 2020; Stobbe et al., 2015). In dem Modell sind die Rechenzentren in unterschiedlichen Größenklassen in ihrer Ausstattung mit verschiedenen Servertypen, Speichersystemen und Netzwerkinfrastrukturen beschrieben. Dabei werden auch die Altersstruktur der Server und die Energiebedarfe der verschiedenen Servertypen in unterschiedlichen Betriebszuständen berücksichtigt. Außerdem sind die Rechenzentrumsinfrastrukturen wie Klimatisierung, Stromversorgung, USV, etc. modelliert.

Für die aktuellen Berechnungen wurden insbesondere folgende Quellen genutzt:

- Studie "Rechenzentren in Deutschland - Aktuelle Marktentwicklungen" (Hintemann et al., 2022)
- Studie "Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market" (Hintemann et al., 2020)

- Studie "Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung - Teil 1" (Hintemann & Hinterholzer, 2020)
- Studie „Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland“ - Studie von Fraunhofer IZM und Borderstep im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (Stobbe et al., 2015)
- Aktuelle Ergebnisse von Untersuchungen zur Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes (CBRE, 2017, 2018, 2020; Cisco, 2015, 2016; Gartner, 2020; Hintemann, 2014, 2017b; Hintemann & Clausen, 2018a, 2018b; Hintemann, Fichter & Schlitt, 2014; Howard-Healy, 2018)
- Daten des Marktforschungsinstituts Techconsult zur Marktentwicklung bei Server-, Storage-, und Netzwerkkomponenten (ealyzer) (Techconsult, 2014, 2015, 2016)
- Daten der Marktforschungsinstitute IDC und EITO zur Marktentwicklung bei Servern in Deutschland und Europa (EITO, 2014, 2019; IDC, 2018, 2021)
- Wissenschaftliche Literatur und Herstellerinformationen zur Entwicklung des Energieverbrauchs von Servern, Speicher- und Netzwerkprodukten und bei weiteren Effizienztechnologien für Rechenzentren

### Quellen:

- Andrae, A. S. G. (2019). Projecting the chiaroscuro of the electricity use of communication and computing from 2018 to 2030.
- Belkhir, L. & Elmehrik, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463.
- CBECI. (2022). Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). Zugriff am 16.6.2022. Verfügbar unter: <https://ccaf.io/cbeci/index>
- CBRE. (2017). *European Data Centres Market Review. Q4 2016*. London. Zugriff am 10.6.2021. Verfügbar unter: <https://www.cbre.de/de-de/research/European-Data-Centres-MarketView-Q4-2016>
- CBRE. (2018, März 21). Nachgefragte Leistung europäischer Rechenzentren übersteigt erneut 100 MW-Wert. *Nachgefragte Leistung europäischer Rechenzentren übersteigt erneut 100 MW-Wert*. Zugriff am 4.4.2018. Verfügbar unter: <http://news.cbre.de/nachgefragte-leistung-europaischer-rechenzentren-ubersteigt-erneut-100-mw-wert>
- CBRE. (2020). *Europe Data Centres Q4 2019*. Zugriff am 19.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.cbre.de/en/global/research-and-reports/featured-reports-global/featured-reports-emea>
- Cisco. (2015). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2014-2019*. Verfügbar unter: [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud\\_Index\\_White\\_Paper.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud_Index_White_Paper.pdf)
- Cisco. (2016). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2015-2020*. Zugriff am 10.10.2017. Verfügbar unter:

<sup>2</sup> Ein Artikel zu diesem Themenbereich für eine wissenschaftliche Zeitschrift wird zurzeit erstellt.

<sup>3</sup> Beim Mining von Kryptowährungen werden meist hohe Rechenleistungen in einem Netzwerk genutzt, um die Manipulationssicherheit der Währungen zu gewährleisten. Bei diesem Prozess

werden neue „Coins“ geschaffen („Mining“) und als Belohnung für die Rechenleistung an die Miner ausgeschüttet.

- <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- Clausen, J., Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). *Wirtschaftlichkeit der Abwärmennutzung aus Rechenzentren in Deutschland*. Hintergrundpapier. Berlin: Borderstep Institut.
- Digiconomist. (2022a). Bitcoin Energy Consumption Index. Zugriff am 16.6.2022. Verfügbar unter: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Digiconomist. (2022b). Ethereum Energy Consumption Index. Zugriff am 23.5.2022. Verfügbar unter: <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>
- eco & Arthur D. Little. (2020). *Die Internetwirtschaft in Deutschland 2020-2025: Auswirkungen der Corona-Krise*. Zugriff am 10.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.eco.de/studie-internetwirtschaft-20-25-corona-preprint/>
- EITO. (2014). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- EITO. (2019). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- Eurostat. (2022). Cloud Computing Services. Zugriff am 29.7.2022. Verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc\\_cicce\\_use/default/bar?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_cicce_use/default/bar?lang=en)
- Fichter, K. & Hintemann, R. (2014). Beyond Energy: Material Stocks in Data Centers, Taking Resource Efficiency into account in Green IT Strategies for Data Centers. *Journal of Industrial Ecology*, (im Erscheinen). <https://doi.org/DOI:10.1111/jiec.12155>
- Gartner. (2020, März 19). Gartner Says Worldwide Server Revenue Grew 5.1% in the Fourth Quarter of 2019, While Shipments Increased 11.7%. *Gartner*. Zugriff am 19.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-03-19-gartner-says-worldwide-server-revenue-grew-5-percent-in-the-fourth-quarter-of-2019-while-shipments-increased-11-percent>
- Hintemann, R. (2014). Consolidation, Colocation, Virtualization, and Cloud Computing – The Impact of the Changing Structure of Data Centers on Total Electricity Demand. In L. Hilty & B. Aebischer (Hrsg.), *ICT Innovations for Sustainability. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hintemann, R. (2017a). *Rechenzentren 2016. Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf der deutschen Rechenzentren im Jahr 2016*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Verfügbar unter: [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2016\\_Stand\\_07\\_03\\_2017\\_finaln-1.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016_Stand_07_03_2017_finaln-1.pdf)
- Hintemann, R. (2017b). *Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? - Präsentation*. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren - NeRZ. Zugriff am 25.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/07/NeRZ-Studie-Rechenzentrumsmarkt-30-06-2017.pdf>
- Hintemann, R. (2020). *Rechenzentren 2018. Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich an*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf>
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018a). *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin. Verfügbar unter: [https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm\\_uploads/2018/06/DI\\_Studie.pdf](https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/06/DI_Studie.pdf)
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018b). *Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 26.4.2018. Verfügbar unter: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., Clausen, J., Becker, S. & Hinterholzer, S. (2021). *Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen*. Studie für Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag der Hessischen Staatskanzlei, Hessische Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung. Wiesbaden: Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung.
- Hintemann, R., Fichter, K. & Schlitt, D. (2014). Adaptive computing and server virtualization in German data centers - Potentials for increasing energy efficiency today and in 2020. In Marx Gómez, Sonnenschein, Vogel, Winter, Rapp, & Giesen (Hrsg.), *Proceedings of the 28th Conference on Environmental Informatics - Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management* (S. 477–484). Oldenburg: BIS. Zugriff am 25.1.2015. Verfügbar unter: <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol8514/0477.pdf>
- Hintemann, R., Fichter, K. & Stobbe, L. (2010). Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland-Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. *Studie im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens "Produktbezogene Ansätze in der Informations- und Kommunikationstechnik" (Förderkennzeichen 370 893 302)*, Beauftragt vom Umweltbundesamt.
- Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S. & Grothey, T. (2022). *Rechenzentren in Deutschland - Aktuelle Marktentwicklungen*. Bitkom. Zugriff am 15.4.2022. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-2022>
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2019). Energy Consumption of Data Centers Worldwide - How will the Internet become Green? Lappeenranta, Finland. Zugriff am 8.8.2019. Verfügbar unter: [http://ceur-ws.org/Vol-2382/ICT4S2019\\_paper\\_16.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-2382/ICT4S2019_paper_16.pdf)
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). *Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung - Teil 1*. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Zugriff am 11.6.2020. Verfügbar unter: <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F. & Stickler, T. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market*. Berlin, Vienna: Borderstep Institute & Environment Agency Austria. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bf276684-32bd-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-183168542>
- Howard-Healy, M. (2018). *Co-location Market Quarterly (CMQ) brief - Vortrag auf dem BroadGroup's Knowledge Brunch in Frankfurt*. Broadgroup.
- IDC. (2018). *Server Market and Enterprise Storage Systems By Country 2014-2017*.
- IDC. (2021). *IDC Quarterly Enterprise and Cloud Infrastructure Trackers - Custom Market Intelligence - Prepared for Borderstep*.
- IEA. (2017). *Digitalization & Energy*. Zugriff am 20.1.2019. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J. (2020, Februar 28). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*. Zugriff am 4.3.2020. Verfügbar unter: <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>
- Petit, V., Carlini, S. & Avelar, V. (2021). *Digital economy and climate impact: A bottom-up forecast of the IT sector energy consumption and carbon footprint to 2030*. Nanterre: Schneider Electric. Verfügbar unter: <https://www.se.com/ww/en/insights/tl/electricity-4-0/digital-economy-and-climate-impact>
- Shehabi, A., Smith, S. J., Masanet, E. & Koomey, J. G. (2018). Data center growth in the United States: decoupling the demand for

services from electricity use. *Environmental Research Letters*, 13(12).

Stobbe, L., Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H. & Beucker, S. (2015). *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

Techconsult. (2014). Daten des eanalyzers. Verfügbar unter: [www.eanalyzer.biz](http://www.eanalyzer.biz)

Techconsult. (2015). Daten des eanalyzers. Verfügbar unter: [www.eanalyzer.biz](http://www.eanalyzer.biz)

Techconsult. (2016). Daten des eanalyzers. Verfügbar unter: [www.eanalyzer.biz](http://www.eanalyzer.biz)

The Shift Project. (2019). *LEAN ICT- Towards digital sobriety*. Zugriff am 18.4.2019. Verfügbar unter: <https://theshiftproject.org/en/article/lean-ict-our-new-report/>

### **Kontakt:**

Dr. Ralph Hintemann

Gesellschafter und Senior Researcher

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit  
gemeinnützige GmbH

Clayallee 323

14169 Berlin, Germany

Tel. +49 (0)30 306 45-1005

Fax +49 (0)30 306 45-1009

E-Mail: [hintemann@borderstep.de](mailto:hintemann@borderstep.de)

[www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)