

Rechenzentren 2022

Rechenzentren rücken in den Fokus von Politik und Regulierung

Steigender Energie- und Ressourcenbedarf der Rechenzentrumsbranche

Dr. Ralph Hintemann | Simon Hinterholzer

Der Energiebedarf der Rechenzentren nimmt weiter zu. Mit 17,9 Mrd. kWh verbrauchten die Rechenzentren im Jahr 2022 fast eine Mrd. kWh mehr Strom als im Jahr 2021. Der steigende Energiebedarf von Rechenzentren und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen sind ein Grund dafür, dass sich auch Politik und Regulierung zunehmend mit der Rechenzentrumsbranche befassen. Aber auch die weiteren Ressourcenbedarfe der Rechenzentren, wie der Wasser- und Flächenverbrauch oder ihre Materialbedarfe, müssen künftig stärker adressiert werden, wenn Rechenzentren nachhaltig betrieben werden sollen.

Dies sind Ergebnisse mehrerer aktueller Untersuchungen des Borderstep Instituts zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland.

Vor allem der Bau neuer großer Rechenzentren mit Leistungsaufnahmen bis hin in den dreistelligen Megawatt-Bereich hat dazu geführt, dass die öffentliche Aufmerksamkeit für die Branche in den vergangenen Jahren deutlich angestiegen ist. Zu Recht: Kann doch der Stromverbrauch eines einzigen solchen Mega-Rechenzentrums die Größenordnung des Stromverbrauchs einer Großstadt erreichen. Kein Wunder also, dass mit der Energieeffizienz-Richtlinie auf EU-Ebene und dem Energieeffizienzgesetz in Deutschland vor allem die größeren Rechenzentren ins Visier genommen werden. Nach Berechnungen von Borderstep befinden sich fast die Hälfte der Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland in großen Rechenzentren mit mehr als 5 MW IT-Anschlussleistung¹ (Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023). Einige der neu gebauten Rechenzentren benötigen mehr Strom als eine deutsche Großstadt (Schiefenhövel, 2021).

Die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft treibt das Wachstum der Rechenzentrumsbranche. Während der Datenverkehr in den Mobilfunk und Festnetzen hauptsächlich durch Videoanwendungen von privaten Konsumenten ansteigt, sind die wachsenden Rechenzentrumskapazitäten mehrheitlich durch Unternehmensanwendungen bedingt. Nach Analysen von Cisco sind Unternehmensanwendungen für knapp drei Viertel aller Workloads in den weltweiten Rechenzentren verantwortlich (Cisco, 2018).

Von den 17,9 Mrd. kWh Strom, die im Jahr 2022 in den Rechenzentren verbraucht wurden (Abbildung 1), gingen knapp 12 Mrd. kWh in die IT-Komponenten (Server, Storage und Netzwerk). Seit 2010 hat sich der Energiebedarf der IT-Komponenten in den Rechenzentren damit mehr als verdoppelt.

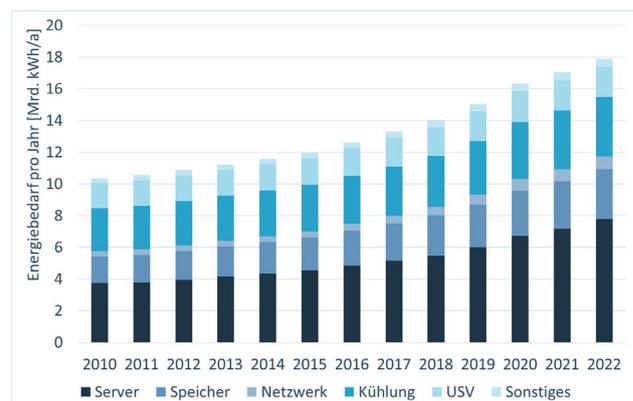


Abbildung 1: Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2022 (Quelle: Hintemann, Hinterholzer & Seibel (2023))

¹ Mit IT-Anschlussleistung von Rechenzentren ist in der vorliegenden Studie die maximale Stromaufnahme der tatsächlich in den Rechenzentren installierten Hardware gemeint.

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 2022 an. Die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur hat sich demnach deutlich verbessert. Ein Maß für die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur ist der sogenannte PUE-Wert². Der durchschnittliche PUE-Wert der Rechenzentren und kleinen IT-Installationen in Deutschland verbesserte sich zwischen 2010 und 2022 von 1,82 auf 1,52.

Weiteres Wachstum der Rechenzentren und ihres Energiebedarfs wahrscheinlich

Die Spannweite der möglichen Entwicklungen des Energiebedarfs bis 2030 ist relativ hoch. In Abhängigkeit davon, ob sich der Trend des Baus von Rechenzentren in Deutschland fortsetzt oder ob Deutschland als Standort für Rechenzentren möglicherweise weniger attraktiv wird, sind unterschiedliche Entwicklungen möglich (Abbildung 2). Im Trend ist ein weiterer Anstieg auf über 26 Mrd. Kilowattstunden zu erwarten. Bei einem starken Marktwachstum könnte sich der Energiebedarf sogar auf über 33 Mrd. Kilowattstunden erhöhen. Für den Fall, dass sich die Rahmenbedingungen für Investitionen in Rechenzentren in Deutschland deutlich verschlechtern und eine Abwanderung von Rechenzentren ins Ausland erfolgt, wäre es sogar denkbar, dass sich der Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland gegenüber heute nicht mehr merklich erhöht.

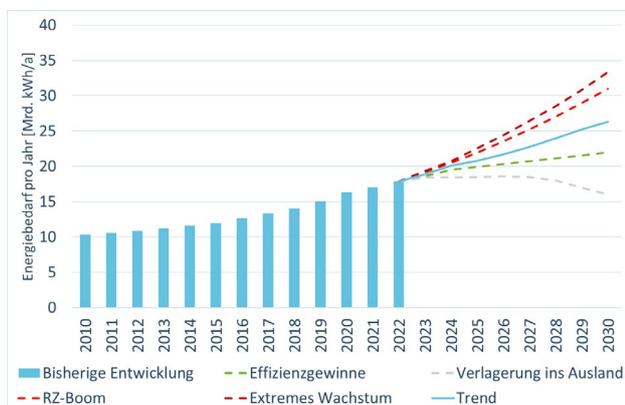


Abbildung 2: Mögliche künftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland bis zum Jahr 2030 (Quelle: Hintemann, Hinterholzer & Seibel (2023))

Hoher Energiebedarf ist nicht die einzige Umweltwirkung von Rechenzentren

Neben dem Stromverbrauch und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen haben Rechenzentren auch weitere Umweltwirkungen, die es zu beachten gibt. Eine immer höhere Bedeutung kommt insbesondere den Treibhausgasemissionen zu, die bei der Herstellung der IT-Geräte und durch die Errichtung der Rechenzentren entstehen. Zwar beträgt aufgrund der noch wenig klimafreundlichen Stromerzeugung aktuell der Anteil der durch den Betrieb von Rechenzentren verursachten Treibhausgasemissionen etwa 90 %. In Ländern bzw. Regionen mit niedriger klimafreundlicher Stromerzeugung, z.B. in Skandinavien, in der Schweiz oder in Frankreich (Atomstrom), hat aber schon heute die Phase der Herstellung eine vergleichsweise hohe Bedeutung für die insgesamt erzeugten Treibhausgasemissionen von Rechenzentren. Weitere relevante Umweltwirkungen von Rechenzentren sind der direkte und indirekte Wasserbedarf, die zunehmenden Mengen an Elektronikmaterial (Abbildung 3) und ihr Flächenverbrauch (Hintemann, Hinterholzer & Merz, 2023). Lokale Umweltwirkungen, wie Geräuschemissionen durch Klimaanlage oder Notstrom-Dieselaggregate führen immer häufiger zu Protesten aus der Nachbarschaft.

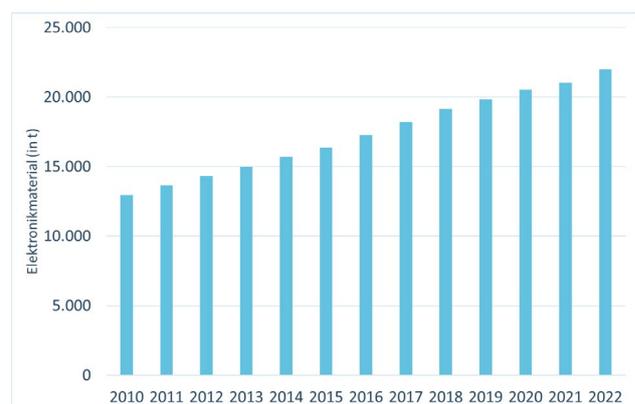


Abbildung 3: Abschätzung der Menge an Elektronikmaterial in den Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2022 (Quelle: Borderstep 2023)

Abwärme aus Rechenzentren muss stärker genutzt werden

Die Möglichkeit, Abwärme aus Rechenzentren nutzbar zu machen, stellt einen wesentlichen Schwerpunkt der Gesetzesinitiativen auf EU-Ebene und auf nationaler Ebene in Deutschland dar. Dies ist hinsichtlich der großen Herausforderungen, den Gebäudesektor klimafreundlicher zu gestalten, gut nachvollziehbar. Nimmt doch der Energiebedarf der Rechenzentren und damit auch die von ihnen erzeugte Abwärme ständig zu. Vor allem große Rechenzentren bieten das Potenzial, eine Vielzahl von Gebäuden mit Wärme zu versorgen. So schätzt der Digitalverband Bitkom, dass theoretisch 350.000 Wohnungen

² Der Wert der Power Usage Effectiveness (PUE-Wert) gibt das Verhältnis des Jahresenergiebedarfs des gesamten Rechenzentrums zum Jahresenergiebedarf der IT des Rechenzentrums an.

mit der Abwärme aus den 90 Großrechenzentren in Deutschland versorgt werden können (Bitkom, 2022). Damit eine solche Abwärmenutzung aber möglich ist, müssen noch einige Herausforderungen überwunden werden. In der Vergangenheit war die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren in Deutschland kaum wirtschaftlich möglich – waren doch fossile Energieträger vergleichsweise sehr billig (Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023). Es ist jedoch davon auszugehen, dass Öl und Gas in Zukunft immer weniger für Heizzwecke eingesetzt werden. Um die Abwärme aus Rechenzentren und anderen Quellen nutzbar zu machen, ist der weitere Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen dringend nötig. Außerdem müssen in den Rechenzentren die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, die Abwärme auszukoppeln. Nach Schätzungen von Borderstep könnten bis zum Jahr 2035 unter sehr guten Rahmenbedingungen bis zu 6 Mrd. kWh/a an Abwärme aus Rechenzentren genutzt werden (Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023). Damit könnten im Idealfall im Jahr 2035 über 600.000 Wohnungen mit Wärme aus Rechenzentren versorgt werden.

Entwicklung in Europa und weltweit: Mehr Rechenzentren führen zu mehr Energiebedarf

Auch in Europa und weltweit steigt der Energiebedarf der Rechenzentren. Zwar kommen die verschiedenen Analysen zu etwas abweichenden Ergebnissen, der Trend ist allerdings eindeutig: Es ist davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2030 mehr Energie in Rechenzentren benötigt wird als heute (z. B. Andrae, 2020; Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Koomey, 2020; Petit, Carlini & Avelar, 2021; The Shift Project, 2019).

Mit Hilfe des Borderstep Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Europa konnte abgeschätzt werden, dass der Energiebedarf der Rechenzentren in Europa im Jahr 2022 auf knapp über 90 Mrd. kWh/a angestiegen ist. Im Jahr 2010 lag ihr Energiebedarf noch bei 56 Mrd. kWh/a. Werden nur die Rechenzentren in der Europäischen Union betrachtet, so liegt ihr Energiebedarf im Jahr 2022 bei 73 Mrd. kWh/a.

Der Energiebedarf der Rechenzentren weltweit liegt nach einer Abschätzung von Borderstep bei mindestens 400 Mrd. kWh/a – vermutlich sogar höher. Bei dieser Abschätzung wurden auch die Energiebedarfe des Kryptominings berücksichtigt (Digiconomist, 2023). Außerdem ist in die Berechnung eingeflossen, dass sich die Zahl der weltweit installierten Server allein zwischen 2018 und 2023 um 30 % erhöht hat. Nach Analysen des Uptime Instituts steigt die Leistungsaufnahme der Server kontinuierlich an (Lawrence et al., 2023). Zudem sind seit 2018 weltweit keine signifikanten Verbesserungen der PUE-Werte mehr feststellbar (Donnellan et al., 2023).

Methodik der Untersuchung

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

Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2022 erfolgte im Rahmen einer Studie für den Digitalverband Bitkom (Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023).

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, Graß, Hinterholzer & Grothey, 2022; Hintemann & Hinterholzer, 2019, 2020; Hintemann, Hinterholzer, Montevecchi & 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. Außerdem wird zwischen Cloud-, Edge und traditionellen Rechenzentren unterschieden. Es werden auch die Altersstruktur der Server und die Energiebedarfe der verschiedenen Servertypen in unterschiedlichen Betriebszuständen berücksichtigt. Ebenso sind die Rechenzentrumsinfrastrukturen wie Klimatisierung, Stromversorgung, USV, etc. modelliert.

Für die aktuellen Berechnungen wurden insbesondere folgende Quellen genutzt:

- Studie "Rechenzentren in Deutschland - Aktuelle Marktentwicklungen (Update 2023)" (Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023)
- Studie „Rechenzentren in Bayern: Ökologische Nachhaltigkeit – zukunftsgerichtete Standortpolitik“ (Hintemann, Hinterholzer & Merz, 2023)
- 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 (eanalyzer) (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. (2020). New perspectives on internet electricity use in 2030. *Engineering and Applied Science Letters*, 3(2), 19–31.
- Bitkom. (2022, Juli 26). Abwärme von Rechenzentren für Heizung und Warmwasser einsetzen | Presseinformation | Bitkom e.V. Zugriff am 22.2.2023. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Abwaerme-Rechenzentren-fuer-Heizung-Warmwasser-einsetzen>
- 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
- Cisco. (2016). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2015-2020*. Zugriff am 10.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- Cisco. (2018). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2016-2021*. Zugriff am 7.7.2021. Verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- Digiconomist. (2023). Bitcoin Energy Consumption Index. Zugriff am 31.7.2022. Verfügbar unter: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Donnellan, D., Bizo, D., Davis, J., Lawrence, A., Rogers, O., Simon, L. et al. (2023). *Uptime Institute's Global Data Center Survey Results 2023*. Zugriff am 31.7.2023. Verfügbar unter: <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2023>
- EITO. (2014). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- EITO. (2019). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- 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_final-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: Berlin. Zugriff am 14.6.2018. Verfügbar unter: 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). Gehalten auf der EnviroInfo 2014 - ICT for Energy Efficiency, 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 "(Förderkenzeichen 370 893 302), Beauftragt vom Umweltbundesamt.*
- Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S. & Grothey, T. (2022). *Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022*. Berlin: Bitkom. Zugriff am 17.5.2023. 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? Gehalten auf der ICT4S, Lappeenranta, Finland. Zugriff am 8.8.2019. Verfügbar unter: 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. & Merz, I. (2023). *Rechenzentren in Bayern: Ökologische Nachhaltigkeit – zukunftsgerichtete Standortpolitik. Im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Bayerischen Landtag*. Berlin: Borderstep Institut.
- 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>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Seibel, H. (2023). *Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen (Update 2023)*. Berlin: Bitkom e.V. Zugriff am 1.6.2023. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Studie-Rechenzentren-in-Deutschland>
- 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*.
- Lawrence, A., Bizo, D., Rogers, O., Davis, J., Smolaks, M., Simon, L. et al. (2023). *Five data center predictions for 2023*. Uptime Intelligence.
- 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>
- Schiefenhövel, J. (2021, Mai 5). Rechenzentrum: Doppelt so hoher Stromverbrauch wie Hanau. *FAZ.NET*.
- 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 eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Techconsult. (2015). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: www.eanalyzer.biz
- Techconsult. (2016). Daten des eanalyzer. Verfügbar unter: 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
 D-14169 Berlin, Germany
 Tel. +49 (0)30 306 45-1005
 Fax +49 (0)30 306 45-1009
 E-Mail: hintemann@borderstep.de
www.borderstep.de