

CHANCEN FÜR EINE NACHHALTIGE NUTZUNG VON ABWÄRME

Entwicklungen im Rechen- zentrumsmarkt Hessen

Ralph Hintemann

Simon Hinterholzer



IMPRESSUM

KURZTITEL

Rechenzentrumsmarkt in Hessen

AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Ralph Hintemann (Borderstep Institut)

M hintemann@borderstep.de

Simon Hinterholzer (Borderstep Institut)

M hinterholzer@borderstep.de

VERLAG

Eigenverlag Borderstep, 2022

Ansprechpartner: Dr. Ralph Hintemann

ZITIERVORSCHLAG

Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2022). Entwicklungen im Rechenzentrumsmarkt Hessen - Chancen für eine nachhaltige Nutzung von Abwärme. Berlin: Borderstep Institut.

TITELBILD

© F.Schmidt - Fotolia.com / Borderstep

FÖRDERMITTELGEBER

Die Studie entstand im Rahmen des vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen geförderten Vorhabens „Innovative Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen am Beispiel von Offenbach“.

Förderprogramm: „Energetische Förderung nach dem Hessischen Energiegesetz“

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Summary	1
1 Aktuelle Trends im Rechenzentrumsmarkt.....	2
2 Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Hessen.....	6
2.1 Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen.....	6
2.2 Entwicklung des Energiebedarfs.....	10
2.3 Regionale Verteilung	11
3 Relevante Entwicklungen für Abwärmenutzung aus Rechenzentren.....	13
4 Prognose der zukünftigen Entwicklung	17
5 Hinweise zur Methodik.....	19
Literatur und Quellen.....	20

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung des Umsatzes im weltweiten Servermarkt.....	2
Abbildung 2: Marktkonzentration im Cloud-Markt am Beispiel Infrastructure as a Service (IaaS)	3
Abbildung 3: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten in Europa zwischen 2015 und 2025 – Abschätzung auf Basis der Serververkäufe (2025: Prognose)	4
Abbildung 4: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten in Europa mit Anteil Cloud Rechenzentren	5
Abbildung 5: Rechenzentrumsdichte in den Bundesländern (gemessen in IT-Leistung pro Einwohner)6	
Abbildung 6: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021	7
Abbildung 7: Bedeutung unterschiedlicher Standortfaktoren für Rechenzentren – Ergebnis einer Befragung von Rechenzentrumsbetreibenden.....	8
Abbildung 8: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021 mit Anteil Cloud- und Edge-Rechenzentren	9
Abbildung 9: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen mit Anteil Colocation-Rechenzentren in den Jahren 2010 bis 2021	10
Abbildung 10: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021	11
Abbildung 11: Entwicklung des Stromverbrauchs der Rechenzentren im Stadtgebiet Frankfurt a.M. in den Jahren 2017 bis 2021	12
Abbildung 12: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach Art der genutzten Kühltechnologien (Colocation-Rechenzentren).....	14
Abbildung 13: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach Server- Zulufttemperaturen	15
Abbildung 14: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach dem Temperaturniveau, auf dem die Wärme ausgekoppelt werden kann.	16
Abbildung 15: Prognose der Entwicklung der IT-Anschlussleistungen in den Rechenzentren in Hessen bis zum Jahr 2030.....	17
Abbildung 16: Prognose der Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen bis 203018	

SUMMARY

Die vorliegende Studie befasst sich mit Entwicklungen im Hessischen Rechenzentrumsmarkt. Sie entstand im Rahmen des vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen geförderten Vorhabens „Innovative Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen am Beispiel von Offenbach“. Ziel der Studie ist es insbesondere, Daten und Informationen für die Analyse der Potenziale der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen zu liefern.

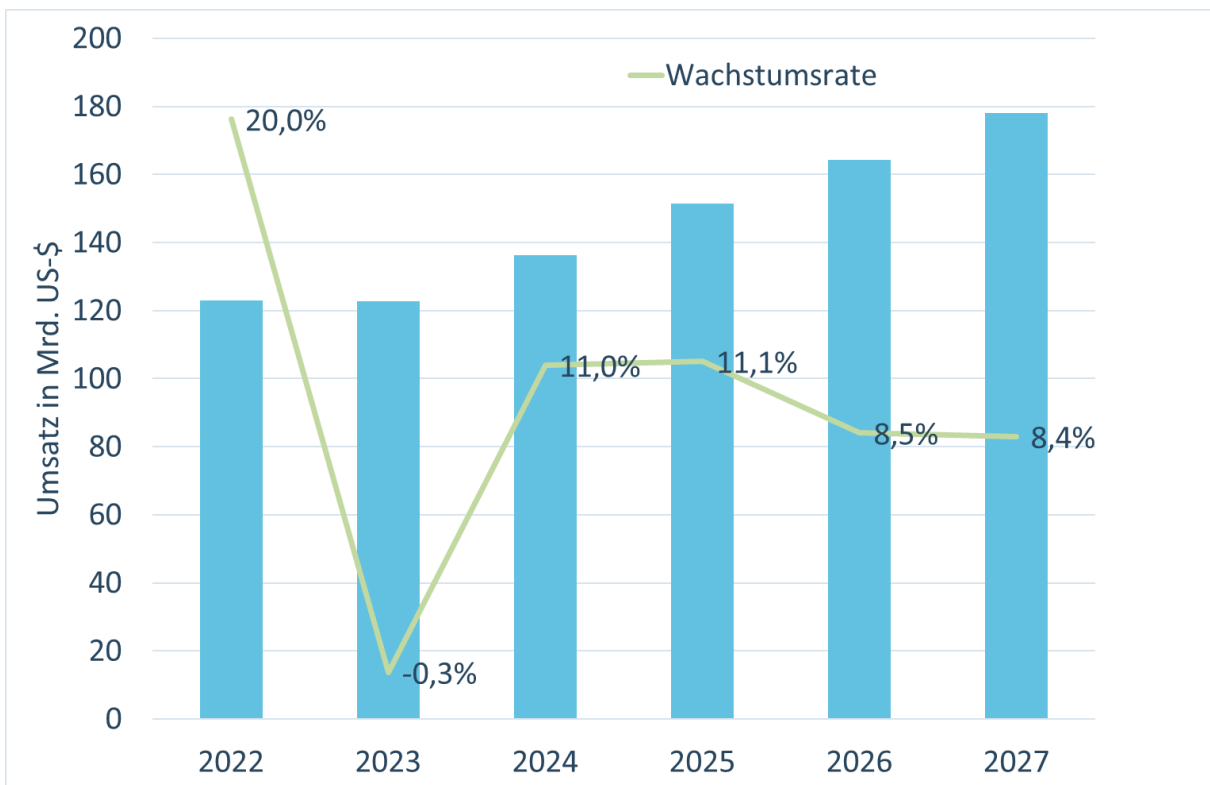
Die Untersuchung zeigt, dass es aktuell einen Boom beim Aufbau von neuen Rechenzentrumskapazitäten weltweit, in Europa und in Deutschland gibt. Die Kapazitäten in Hessen wachsen jährlich um etwa 10 %. Dabei konzentriert sich das Wachstum insbesondere in der Region Frankfurt/Rhein-Main. Während allerdings in der Vergangenheit ein Großteil der Rechenzentrumskapazitäten im Stadtgebiet Frankfurt aufgebaut wurde, gibt es in den letzten Jahren zunehmend Projekte, die in den angrenzenden Städten und Regionen realisiert werden.

Die hohe Dynamik des Rechenzentrumsmarktes und die aktuellen Entwicklungen in den Energiemärkten bieten gute Rahmenbedingungen für die verstärkte Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren. Auch wenn aus aktueller Sicht noch unklar ist, wie sich die Energiepreise künftig entwickeln werden, so wird die Nutzung von Abwärme in Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit deutlich wirtschaftlicher möglich sein als in der Vergangenheit. Trends wie höhere Temperaturen in den Rechenzentren und der verstärkte Fokus auf das Thema Nachhaltigkeit von Rechenzentren begünstigen die Entwicklung.

1 Aktuelle Trends im Rechenzentrumsmarkt

Die zunehmende Digitalisierung in Gesellschaft und Wirtschaft führt zu einem deutlich steigenden Bedarf an Leistungen digitaler Infrastrukturen wie Telekommunikationsnetze und Rechenzentren. Weltweit werden daher diese Kapazitäten deutlich ausgebaut. Wie stark insbesondere der Rechenzentrumsmarkt wächst, zeigt der für die kommenden Jahre prognostizierte Anstieg der weltweiten Serververkäufe (Abbildung 1). Der Umsatz mit Serververkäufen wird nach Prognose von IDC zwischen 2022 und 2027 um 45 % ansteigen.

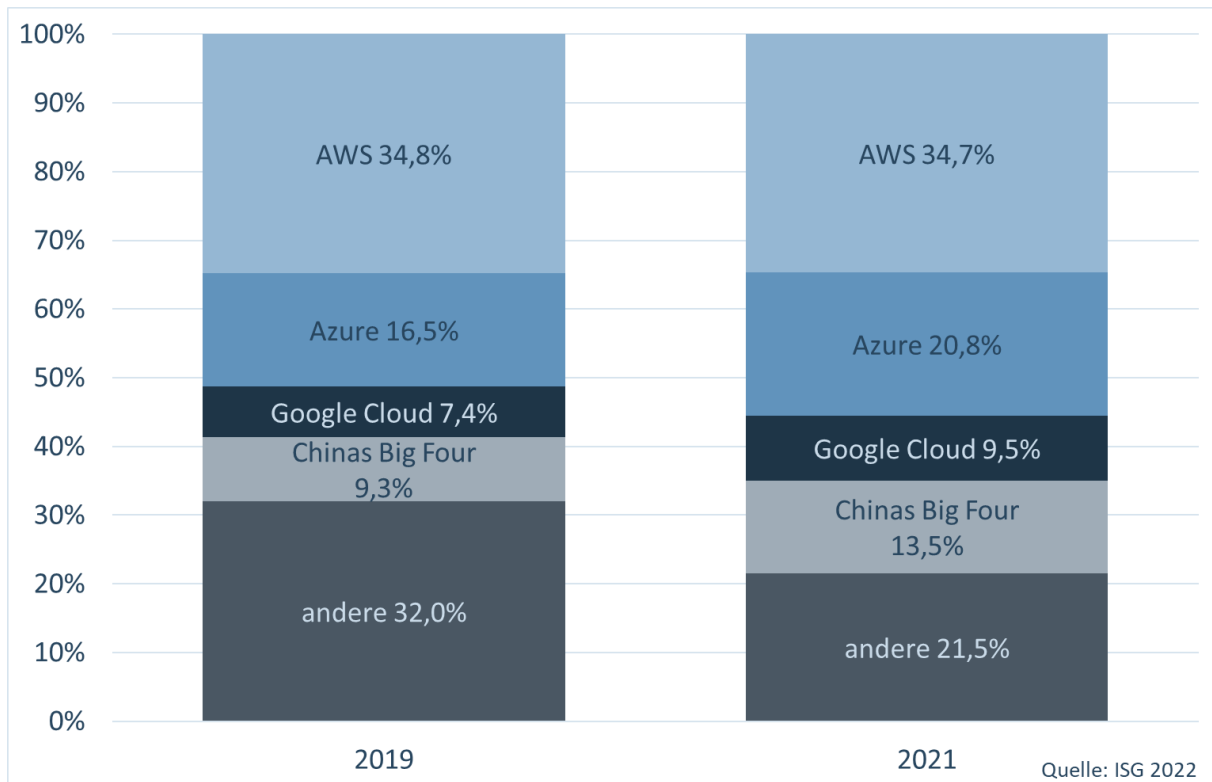
Abbildung 1: Entwicklung des Umsatzes im weltweiten Servermarkt



Quelle: IDC Servertracker Q2 (2022)

Das Wachstum im Rechenzentrumsmarkt wird praktisch ausschließlich durch die Cloud-Unternehmen getragen (Hintemann, Graß, et al., 2022). In diesem Markt ist eine deutliche Marktkonzentration auf wenige Anbietende zu verzeichnen, die ständig zunimmt (Abbildung 2). Im Jahr 2021 haben die großen drei amerikanischen Anbietenden AWS, Google und Microsoft Azure zusammen einen Marktanteil von 55 % - zusammen mit den größten vier chinesischen Anbietenden liegt der Marktanteil bei fast 80 %. Im Jahr 2020 lag der Marktanteil dieser Unternehmen zusammen noch bei 70 %.

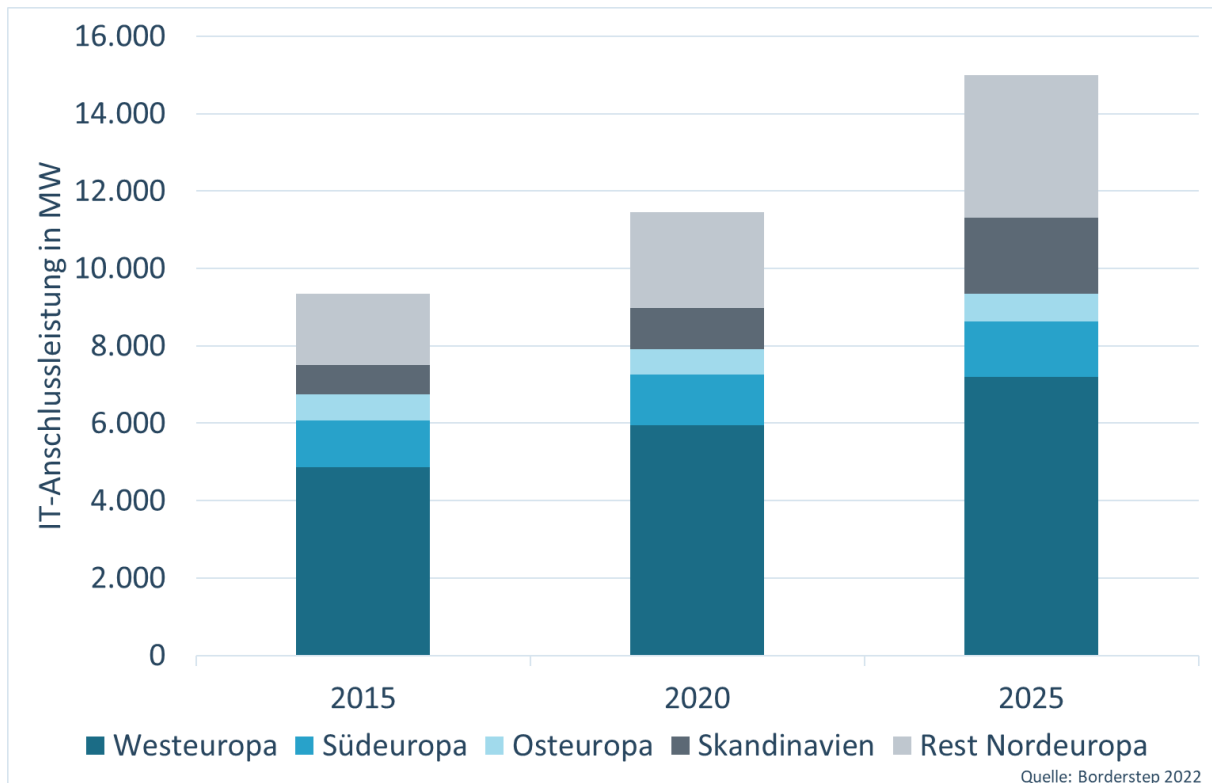
Abbildung 2: Marktkonzentration im Cloud-Markt am Beispiel Infrastructure as a Service (IaaS)



Quelle: ISG (manage IT, 2022)

Auch in Europa wachsen die Rechenzentrumskapazitäten sehr deutlich (Abbildung 3). Zwischen 2020 und 2025 wird mit einem durchschnittlichen Wachstum der Kapazitäten um 30 % gerechnet. Mit einem starken Wachstum wird insbesondere in Nordeuropa und Westeuropa gerechnet.

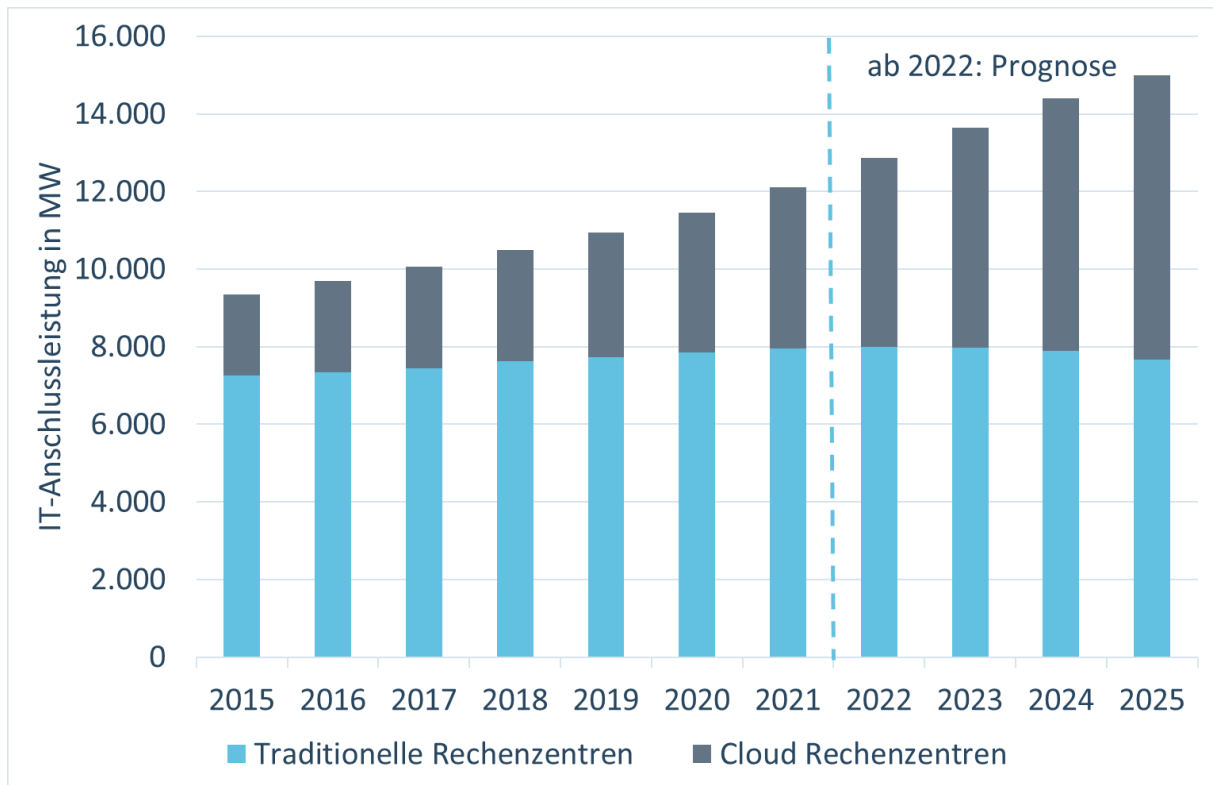
Abbildung 3: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten in Europa zwischen 2015 und 2025 – Abschätzung auf Basis der Serververkäufe (2025: Prognose)



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

Schaut man auf die Entwicklung der Struktur der Rechenzentren in Europa, so ist festzustellen, dass auch hier das Wachstum der Kapazitäten durch den Aufbau von neuen Cloud-Rechenzentren begründet ist (Hintemann & Hinterholzer, 2020; Hintemann et al., 2020). Die Kapazitäten von traditionellen Rechenzentren sind in den vergangenen Jahren weitgehend konstant geblieben. Bis 2025 ist von einem leichten Rückgang der Kapazitäten von traditionellen Rechenzentren auszugehen.

Abbildung 4: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten in Europa mit Anteil Cloud Rechenzentren



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

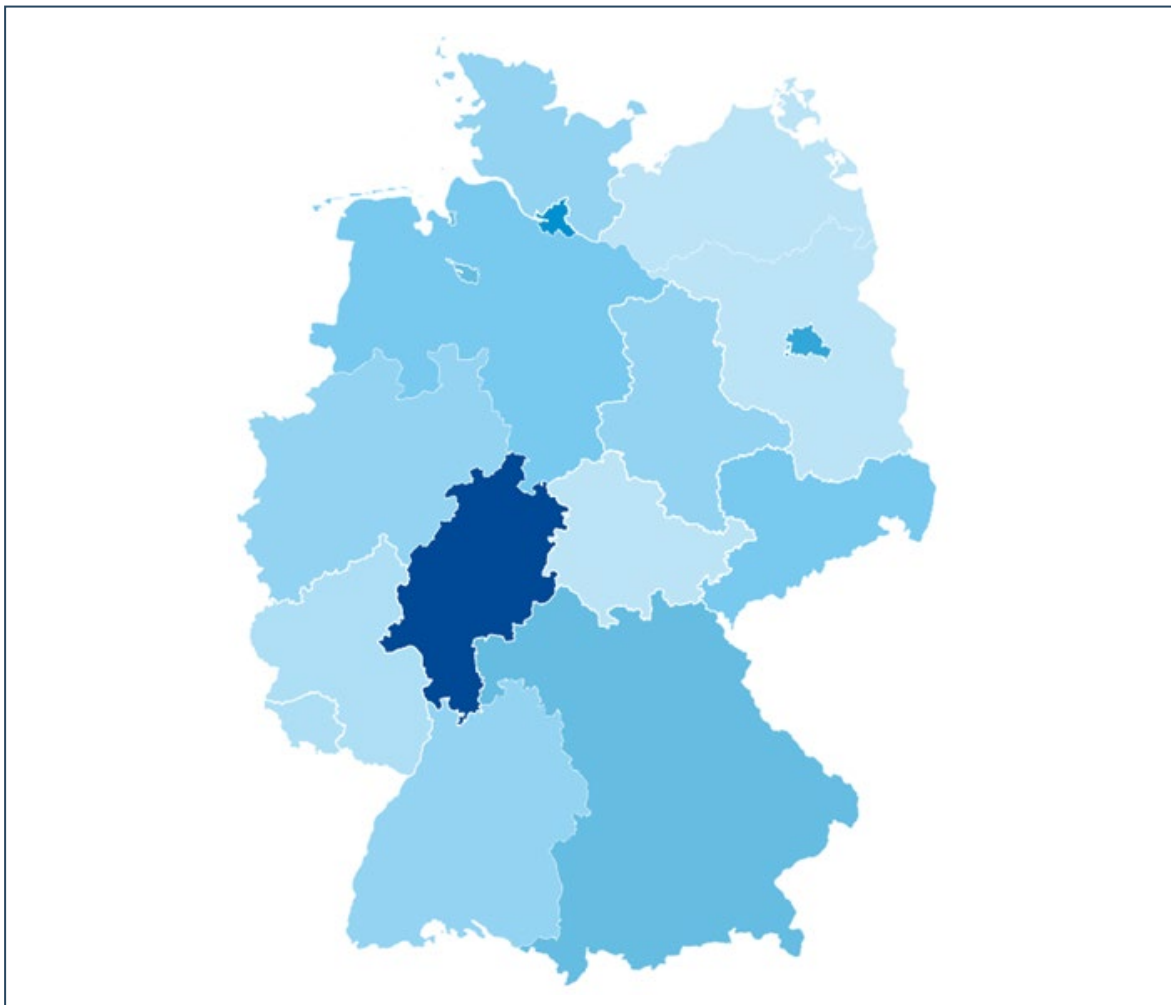
2 Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Hessen

2.1 Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen

Wie auf internationaler Ebene ist auch in Deutschland ein deutlicher Boom beim Ausbau der Rechenzentrumskapazitäten festzustellen. Gemessen an der IT-Anschlussleistung stiegen die Kapazitäten zwischen 2016 und 2021 um 30 %. Aktuell werden pro Jahr ca. 2,5 Mrd. € für Gebäude und technische Gebäudeausrüstung investiert. Damit stiegen die Investitionen in den vergangenen fünf Jahren um 150 % (Hintemann, Graß, et al., 2022).

Die Region Frankfurt/Rhein-Main ist der Top-Standort in Deutschland und gemeinsam mit London der größte Rechenzentrumsstandort in Europa. Das Bundesland Hessen hat verglichen mit anderen Ländern die deutlich höchste Dichte an Rechenzentren in Deutschland (Abbildung 5). Die Rechenzentrumsdichte ist dreimal höher als in den Stadtstaaten Hamburg und Berlin. Verglichen mit Flächenstaaten wie Bayern, Nordrhein-Westfalen oder Baden-Württemberg ist die Dichte etwa fünfmal so hoch (Hintemann, Hinterholzer, & Grothey, 2021).

Abbildung 5: Rechenzentrumsdichte in den Bundesländern (gemessen in IT-Leistung pro Einwohner)

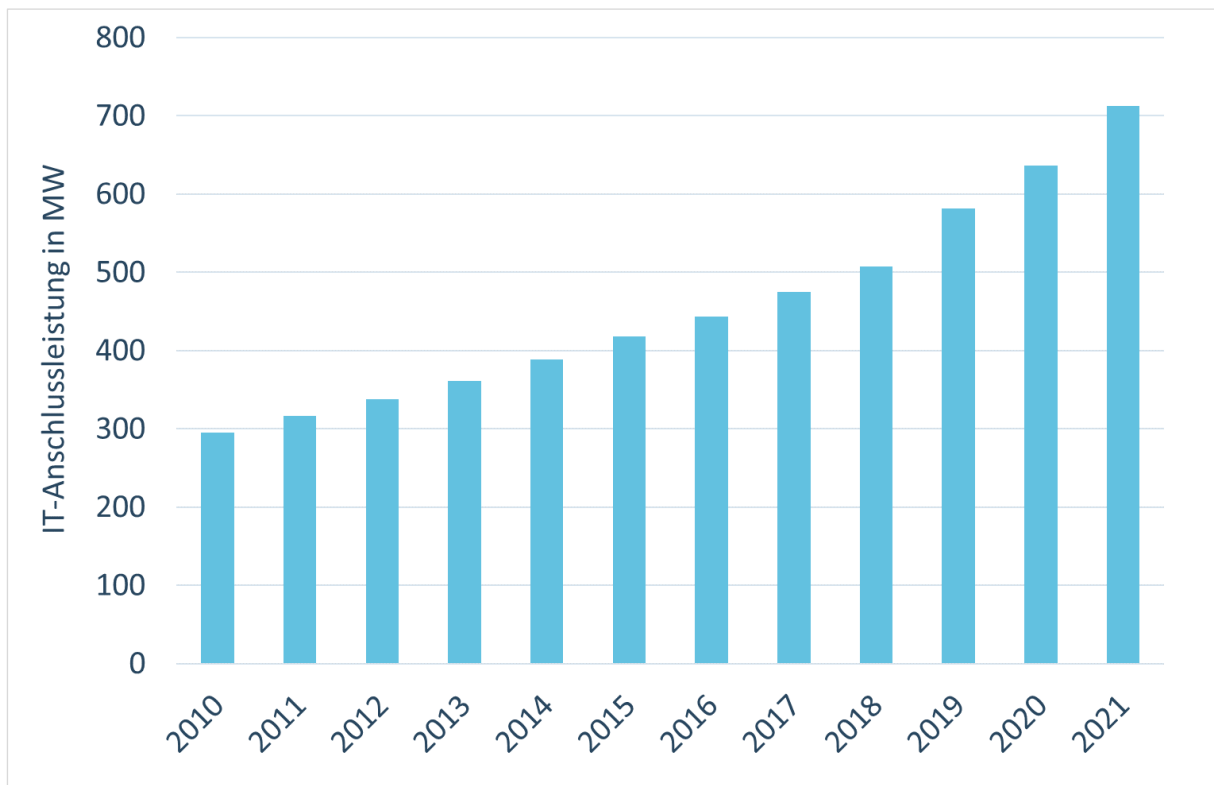


Quelle: Hintemann, Hinterholzer & Grothey (2021)

Rechenzentrumsmarkt in Hessen

Zwischen 2010 und 2021 haben sich die Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen – gemessen an der IT-Anschlussleistung – um den Faktor 2,5 erhöht. Insbesondere ab 2019 ist ein deutliches Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten in Hessen festzustellen (Abbildung 6). Aktuell gibt es etwa 200 Rechenzentren in Hessen mit einer IT-Anschlussleistung von mehr als 40 kW. Von diesen Rechenzentren ist ein hoher Anteil Großrechenzentren im Raum Frankfurt/Rhein-Main. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass sich 50 % der Großrechenzentren Deutschlands in Hessen befinden. Aktuell werden ca. 1 Mrd. € jährlich in den Aufbau neuer Rechenzentrumsinfrastrukturen in Hessen investiert (Hintemann, Hinterholzer, & Grothey, 2022).

Abbildung 6: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

Gründe für die hohe Rechenzentrumsdichte in Hessen sind vor allem die Nähe zum Internetaustauschknoten DE-CIX in Frankfurt, die zentrale Lage in Europa, die gute Verfügbarkeit von leistungsstarken und zuverlässigen Zulieferern und Dienstleistern sowie die Nähe zu wichtigen Kundinnen und Kunden z. B. aus dem Bereich der Finanzdienstleistungen (Hintemann & Clausen, 2018a; Hintemann, Clausen, Beucker, & Hinterholzer, 2021; Hintemann, Graß, et al., 2022). Wie Abbildung 7 zeigt, haben diese Faktoren eine hohe Bedeutung bei der Auswahl von Rechenzentrumstandorten. Hinsichtlich der Strompreise und der Genehmigungsprozesse wird Deutschland im internationalen Vergleich eher schlecht bewertet (Hintemann, Graß, et al., 2022). Dies führt dazu, dass Rechenzentren, bei denen z. B. aufgrund geringer Latenzanforderungen die geographische Lage nicht so bedeutend ist, oft an Standortorten in Nordeuropa gebaut werden, wo die Strompreise deutlich niedriger sind und die Genehmigungsprozesse in der Regel deutlich schneller ablaufen (Hintemann & Clausen, 2018a).

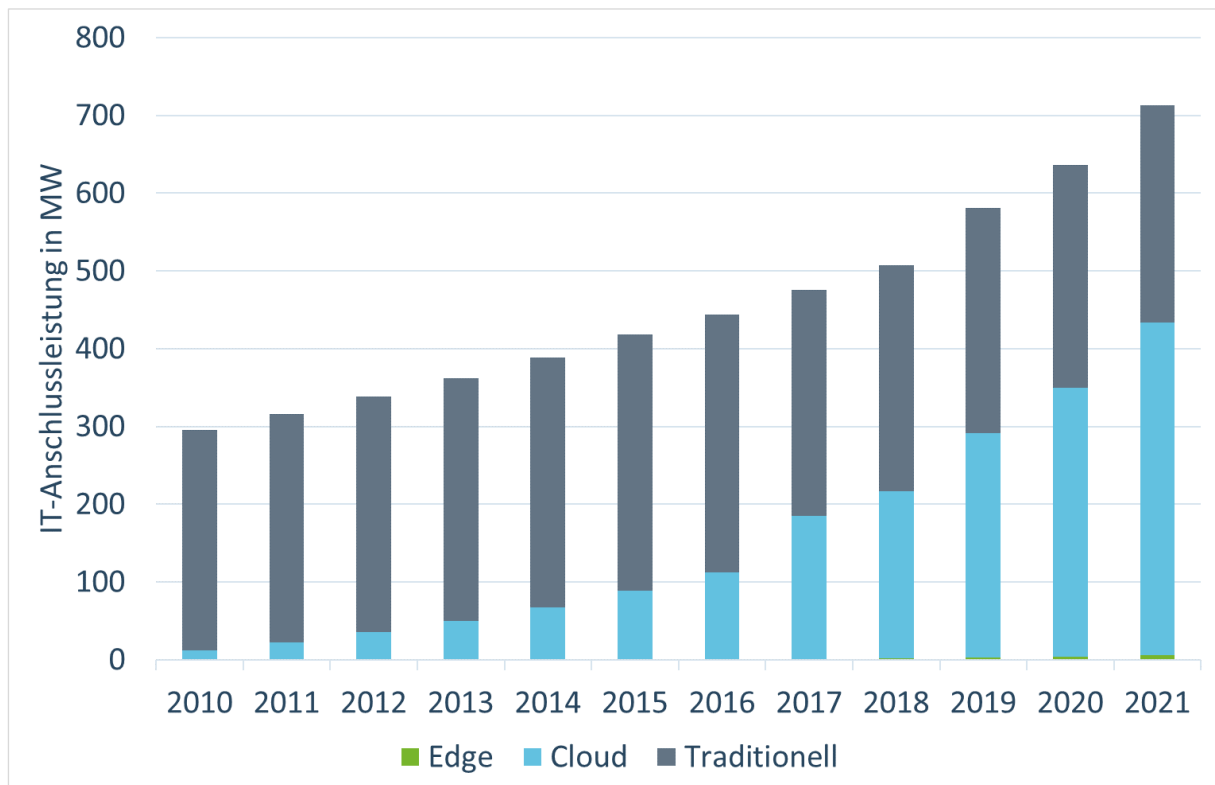
Abbildung 7: Bedeutung unterschiedlicher Standortfaktoren für Rechenzentren – Ergebnis einer Befragung von Rechenzentrumsbetreibern



Quelle: Hintemann et al. (2022)

Die Rechenzentrumskapazitäten, die aktuell in Hessen neu aufgebaut werden, sind im wesentlichen Cloud-Rechenzentren großer internationaler Cloud-Anbietender (Hintemann, Hinterholzer, et al., 2022). Dies zeigt sich auch in der Entwicklung des Anteils von Cloud-Rechenzentren an den Gesamtkapazitäten in Hessen (Abbildung 8). Im Vergleich zum europäischen Durchschnitt (Abbildung 4) ist der Anteil von Cloud-Rechenzentren mit 60 % an den Gesamtkapazitäten in Hessen im Jahr 2021 deutlich höher.

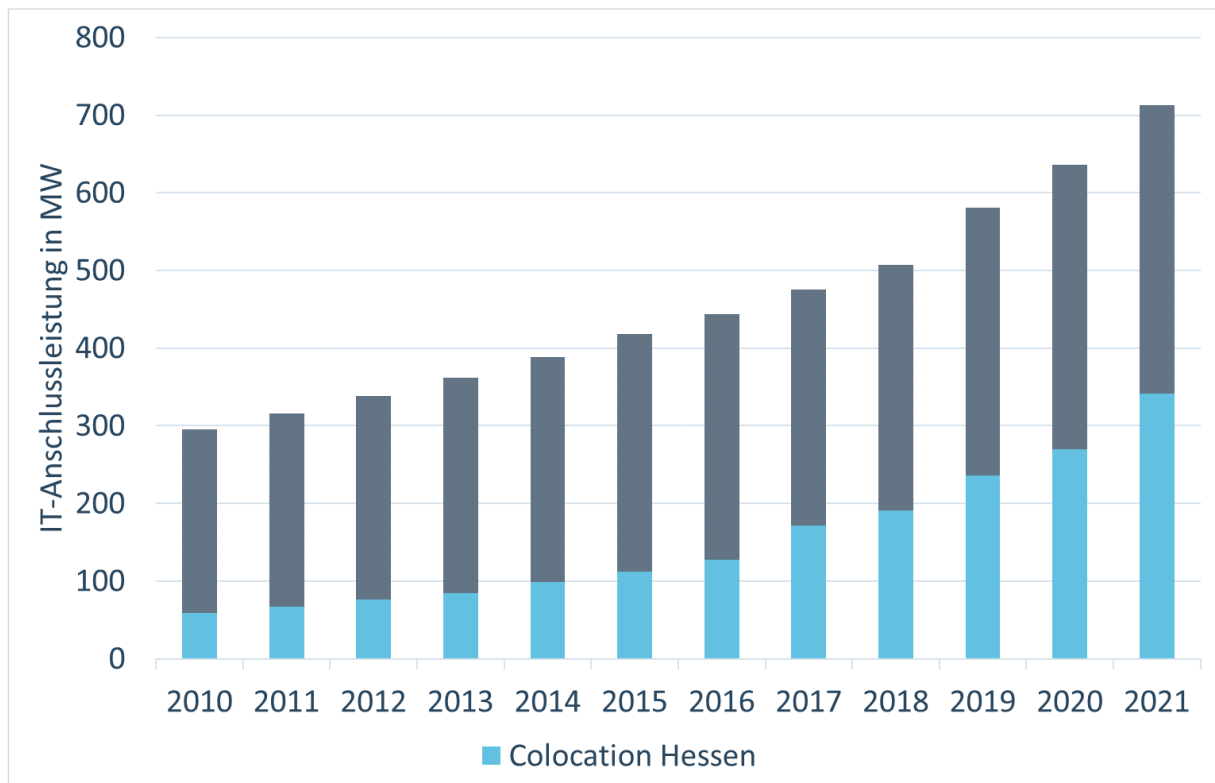
Abbildung 8: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021 mit Anteil Cloud- und Edge-Rechenzentren



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

Hinsichtlich des Anteils von Colocation-Rechenzentren liegen die Werte in Hessen deutlich höher als im nationalen Durchschnitt. Während bundesweit etwa 40 % der Rechenzentrumskapazitäten in Colocation-Rechenzentren vorhanden sind, sind dies in Hessen etwa 50 %. Der Anteil von Colocation-Rechenzentren an den Gesamtkapazitäten hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen (Abbildung 9). Aktuell ist allerdings eine Tendenz festzustellen, dass große internationale Cloud-Anbieter nicht mehr ausschließlich auf Colocation-Angebote setzen, sondern zunehmend auch auf Whole-Sale-Angebote zurückgreifen (Hintemann, Graß, et al., 2022).

Abbildung 9: Entwicklung der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren in Hessen mit Anteil Colocation-Rechenzentren in den Jahren 2010 bis 2021



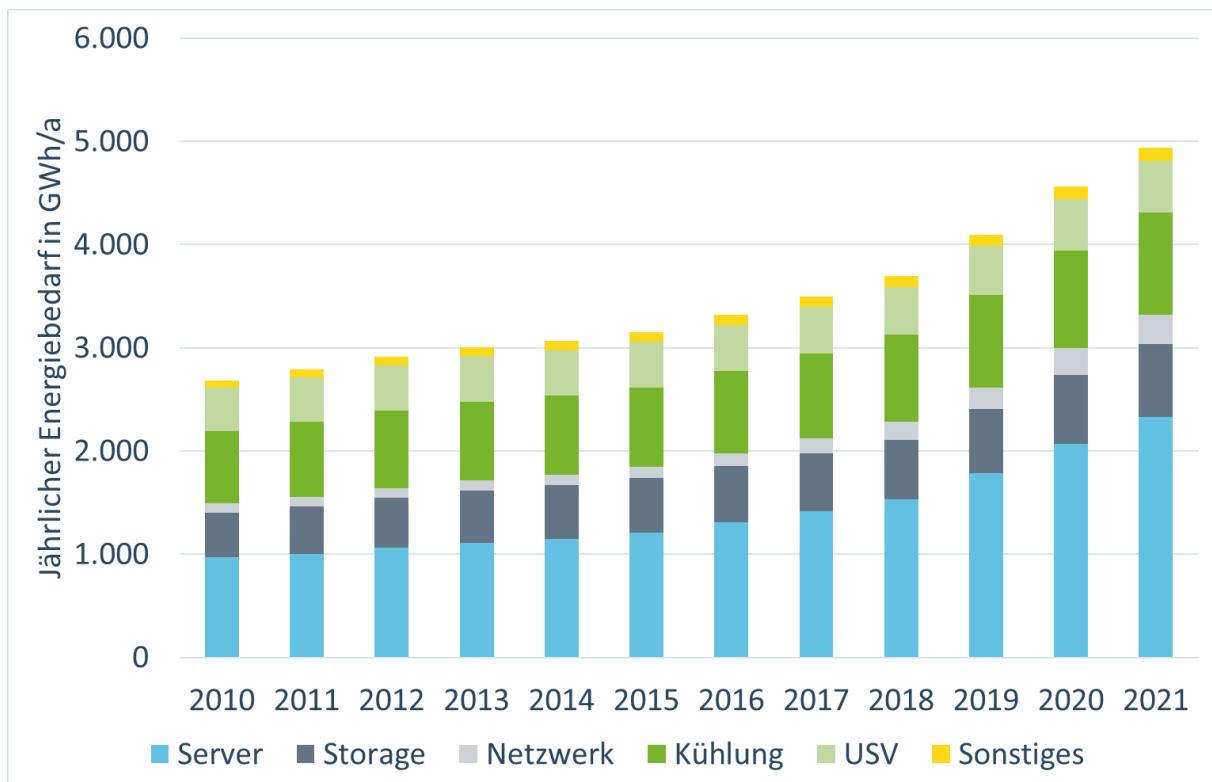
Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

2.2 Entwicklung des Energiebedarfs

Die deutlich ansteigenden Rechenzentrumskapazitäten haben zu einem Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen geführt – trotz steigender Energieeffizienz (Abbildung 10). Im Jahr 2021 lag der Energiebedarf der Rechenzentren in Hessen bei etwa 4.900 Gigawattstunden.

Die Power Usage Effectiveness (PUE) der Rechenzentren in Hessen sank zwischen 2010 und 2021 von 1,8 auf 1,5. Die PUE ist ein Maß für die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur (Kühlung/Klimatisierung, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Sonstiges wie Beleuchtung, Brandschutz, etc.). Sie gibt das Verhältnis des Gesamtenergiebedarfs des Rechenzentrums zum Energiebedarf der IT-Komponenten an – bezogen auf ein Jahr. Je niedriger die PUE ist, desto effizienter ist die Rechenzentrumsinfrastruktur.

Abbildung 10: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2021

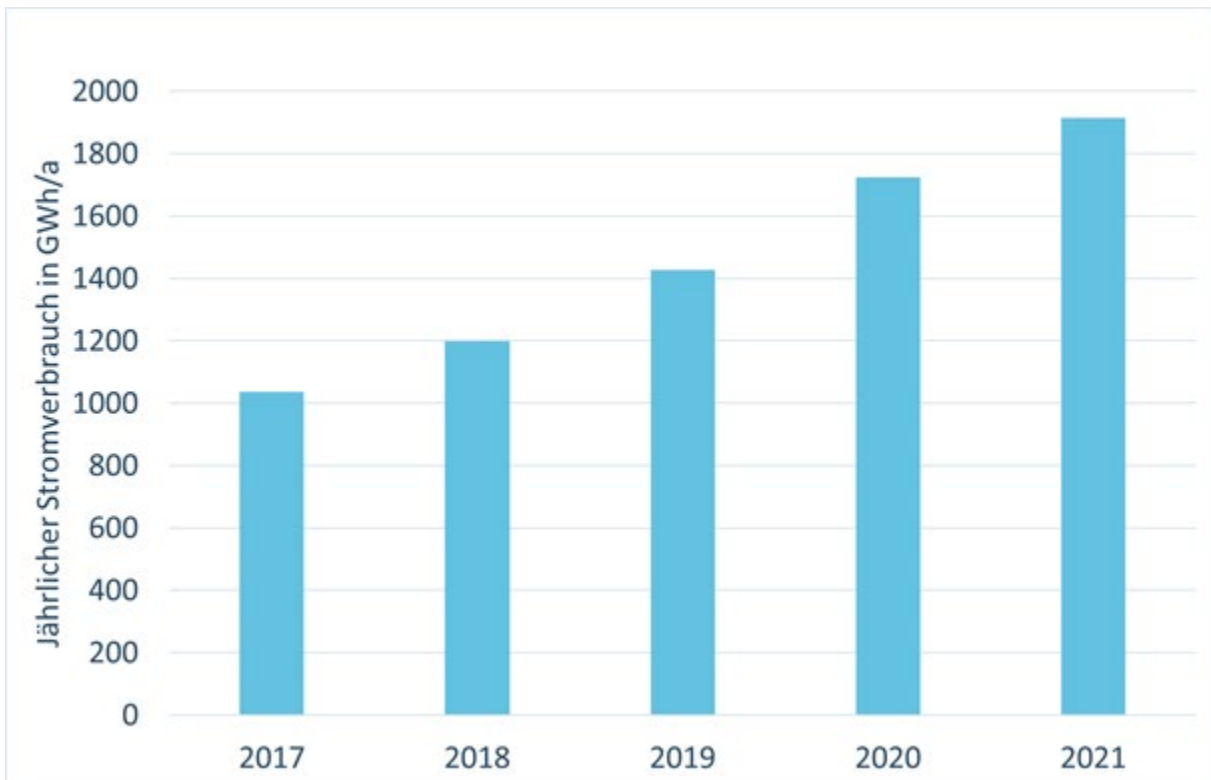


Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

2.3 Regionale Verteilung

Wie bereits angesprochen, konzentrieren sich die Rechenzentren in Hessen insbesondere im Rhein-Main-Gebiet. Vor allem im Stadtgebiet Frankfurt a. M. befindet sich aktuell ein Großteil der vorhandenen Flächen. Zwischen 2017 und 2021 stieg der Stromverbrauch der Rechenzentren im Stadtgebiet von etwas über 1.000 GWh/a auf über 1.900 GWh/a. Die Flächen in Frankfurt sind aber begrenzt und aktuell hat der Magistrat eine Flächennutzungsplanung vorgenommen, die den weiteren Ausbau der Rechenzentren in Frankfurt begrenzt (Janović, 2022). Daher werden zunehmend auch Rechenzentren im Umland von Frankfurt aufgebaut, z. B. in Offenbach, Hanau, Hattersheim, Darmstadt oder in den angrenzenden Landkreisen (Hintemann, Hinterholzer, et al., 2022). So gab es nach Zahlen der Wirtschaftsförderung im Kreis Groß-Gerau 28 Anfragen nach insgesamt über 300 ha Fläche in den Jahren 2019 und 2021. Zum Vergleich: Im gesamten Zeitraum 2007 bis 2018 gab es nur acht Anfragen nach insgesamt knapp 70 ha Fläche.

Abbildung 11: Entwicklung des Stromverbrauchs der Rechenzentren im Stadtgebiet Frankfurt a. M. in den Jahren 2017 bis 2021



Quelle: Auskunft Stadt Frankfurt, Energiereferat (2022)

3 Relevante Entwicklungen für Abwärmenutzung aus Rechenzentren

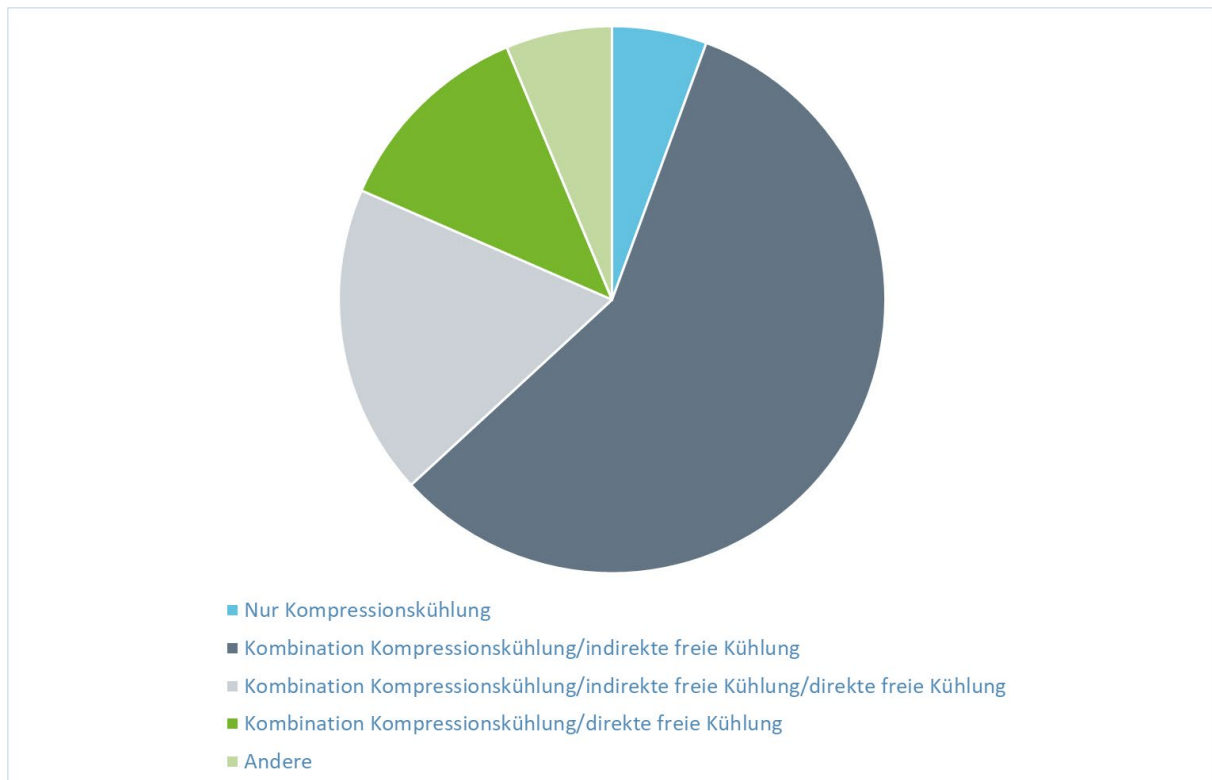
Eine Einflussgröße, die die Möglichkeiten der Abwärmenutzung im Rechenzentrum beeinflusst, ist die verwendete Kühltechnologie. Im Rahmen der für diese Studie durchgeführten Recherchen konnten keine Untersuchungen identifiziert werden, die Aussagen über die in den Rechenzentren in Hessen eingesetzten Kühltechnologien ermöglichen. Daher wurde eine Experten-Befragung durchgeführt.

Diese Befragung hat ergeben, dass (bezogen auf die Kapazitäten) etwa 75 % der Colocation-Rechenzentren in Hessen freie Kühlung nutzen, während dies im Bereich der Nicht-Colocation-Rechenzentren nur 50 % sind. Der Anteil des Einsatzes von CRAC (Computer Room Air Conditioner) und CRAH (Computer Room Air Handling) unterscheidet sich nach Einschätzung der Expertinnen und Experten kaum zwischen Colocation und Nicht-Colocation Rechenzentren. Es wird davon ausgegangen, dass gemessen an den Kapazitäten ca. 40 % der Rechenzentren mit CRAC und 60 % der Rechenzentren mit CRAH ausgestattet sind.

Etwa ein Drittel der Colocation-Rechenzentren in Hessen nutzen nach Einschätzung der Expertinnen und Experten Adiabatische Kühlung – bei den nicht Colocation-Rechenzentren sind dies ca. ein Viertel (jeweils gemessen an den Kapazitäten).

Die in der Befragung ermittelte Verteilung der in den Rechenzentren in Hessen genutzten Technologien zur Kühlung der IT-Systeme zeigt Abbildung 12. Mehr als 50 % nutzen eine Kombination von indirekter freier Kühlung und Kompressionskühlung. Weitere 30 % nutzen andere Kombinationen unter Verwendung von Freikühlsystemen.

Abbildung 12: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach Art der genutzten Kühltechnologien (Colocation-Rechenzentren)

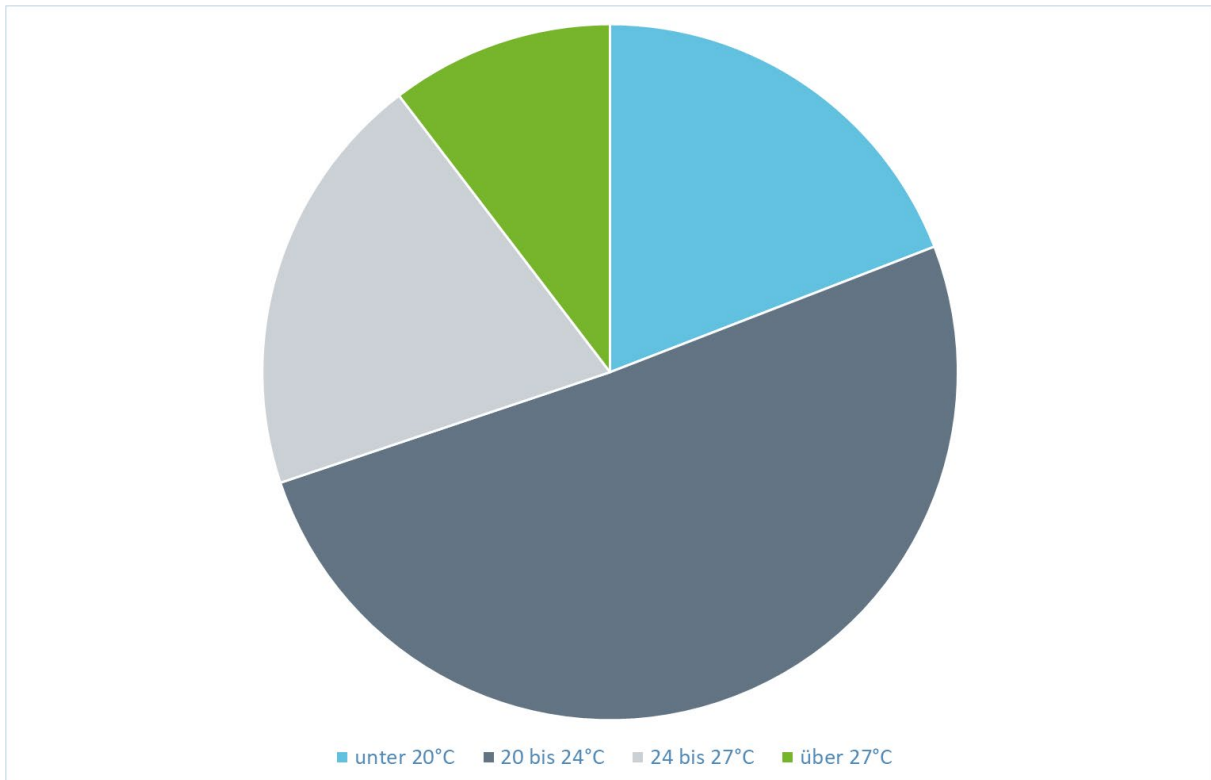


Quelle: Ergebnisse Befragung Rechenzentrumsexperten in Hessen (2022)

Für die Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren sind auch die in den Rechenzentren herrschenden Temperaturen von Bedeutung. Zum einen ist hier die Zulufttemperatur für die Server relevant. Zum anderen ist relevant, auf welchem Temperaturniveau die Wärme aus dem Rechenzentrum ausgekoppelt werden kann.

Der Großteil der Rechenzentren in Hessen (50 %) verwendet eine Server-Zulufttemperatur zwischen 20° und 24 °C (Abbildung 13). Jeweils 20 % verwenden eine Temperatur unter 20 °C oder zwischen 24° und 27 °C. Nur ca. 10 % der Rechenzentren verwenden Temperaturen über 27 °C.

Abbildung 13: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach Server-Zulufttemperaturen

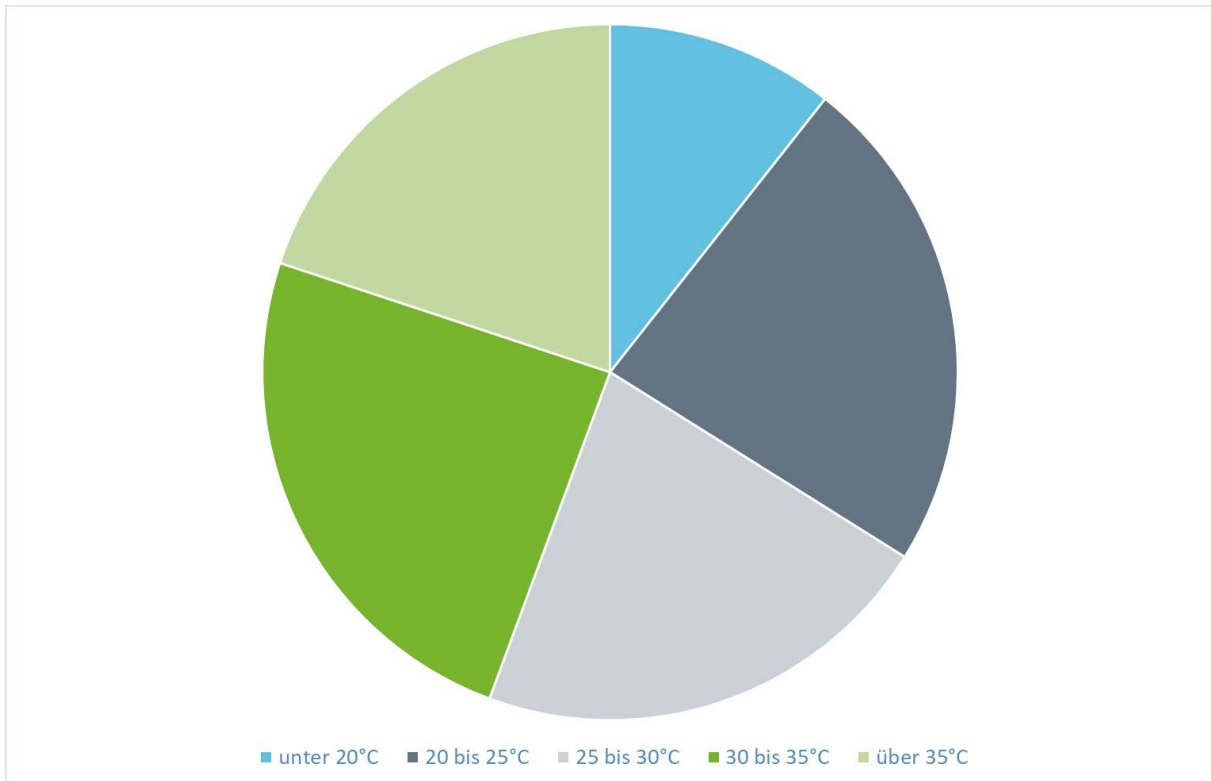


Quelle: Ergebnisse Befragung Rechenzentrumsexperten in Hessen (2022)

Je nach Höhe der Zulufttemperatur und Art der eingesetzten Kühltechnik unterscheidet sich das Temperaturniveau, aus dem die Wärme bei Rechenzentren ausgekoppelt werden kann. Wie Abbildung 14 zeigt, sind hier alle Temperaturniveaus von unter 20 °C bis über 35 °C in Hessen vorhanden. Die Verteilung auf die verschiedenen Temperaturniveaus ist gleichmäßig.

Rechenzentrumsmarkt in Hessen

Abbildung 14: Verteilung der Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen nach dem Temperaturniveau, auf dem die Wärme ausgekoppelt werden kann

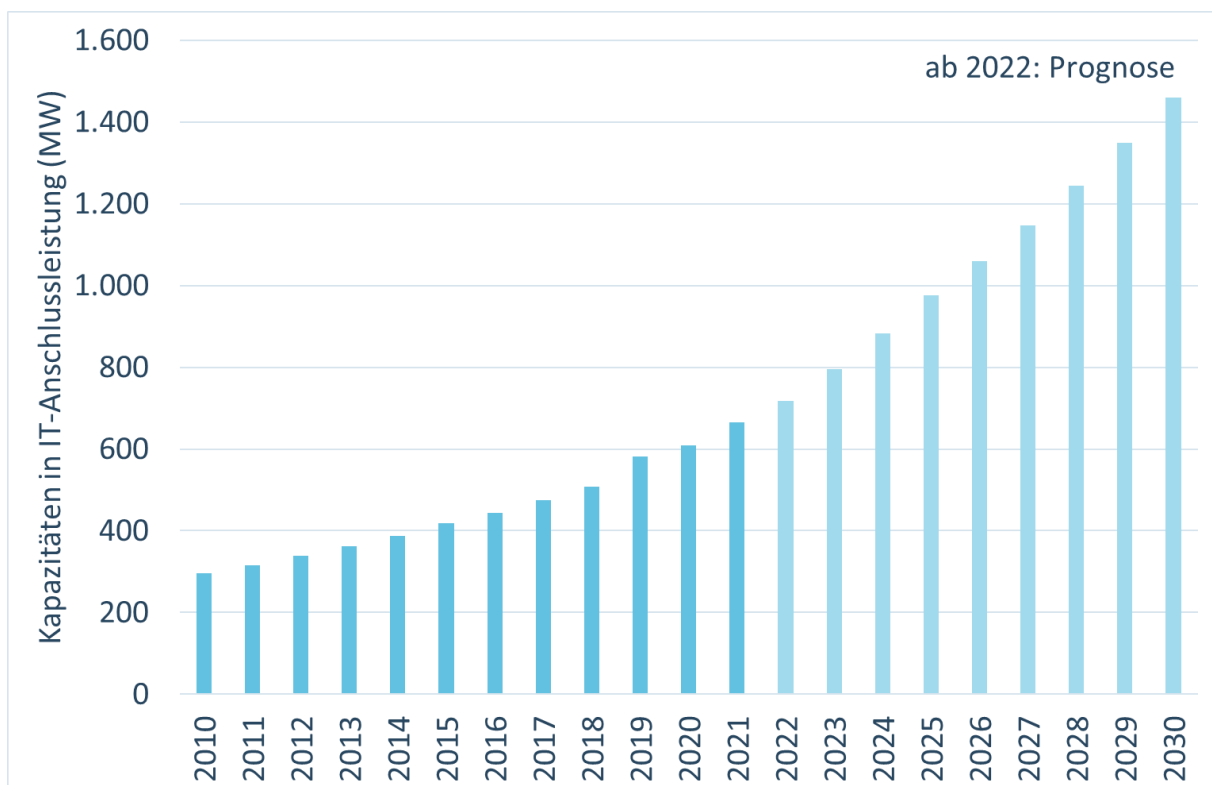


Quelle: Ergebnisse Befragung Rechenzentrumsexperten in Hessen (2022)

4 Prognose der zukünftigen Entwicklung

Mit Hilfe des Borderstep-Rechenzentrumsmodells und auf Basis vorhandener Prognosen zur Entwicklung von Serververkäufen und Rechenzentrumskapazitäten kann eine Prognose der künftigen Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Hessen vorgenommen werden. Hierbei wurden insbesondere auch angekündigte und bereits im Bau befindliche Rechenzentren berücksichtigt. Entwickelt sich der Rechenzentrumsmarkt wie zurzeit erwartet, so werden sich die Kapazitäten der Rechenzentren in Hessen zwischen 2021 und 2030 mehr als verdoppeln (Abbildung 15).

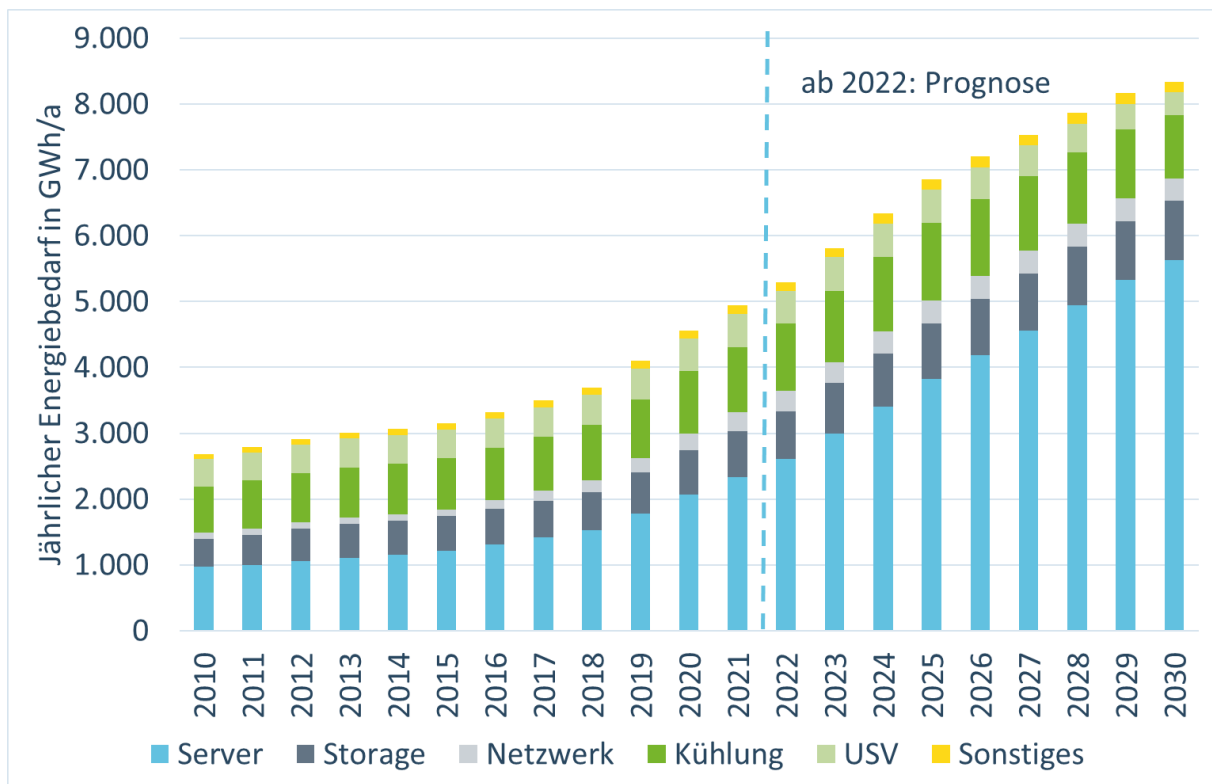
Abbildung 15: Prognose der Entwicklung der IT-Anschlussleistungen in den Rechenzentren in Hessen bis zum Jahr 2030



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

Diese Entwicklung wird – trotz weiterer Steigerungen der Energieeffizienz – zu einem deutlichen Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren führen (Abbildung 16). Gegenüber 2021 wird bis 2030 mit einem Anstieg des Energiebedarfs um knapp 70 % auf 8.300 GWh/a gerechnet. Die PUE wird sich voraussichtlich deutlich auf 1,2 verbessern. Geht die Entwicklung so weiter, könnten die Rechenzentren in Hessen im Jahr 2035 einen Strombedarf von etwa 10.000 GWh/a haben.

Abbildung 16: Prognose der Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Hessen bis 2030



Quelle: Borderstep Rechenzentrumsmodell (2022)

5 Hinweise zur Methodik

Die in der vorliegenden Studie dargestellten Sachverhalte und Entwicklungen wurden insbesondere mit Hilfe des am Borderstep Institut vorhandenen und seit Jahren weiterentwickelten Modells der Rechenzentrumslandschaft Deutschlands ermittelt. Das Modell wurde für die Studie so erweitert, dass jetzt auch detaillierte Analysen auf Ebene des Landes Hessen möglich sind. Außerdem wurde eine Analyse der aktuellen Literatur zur Thematik und von veröffentlichten Zahlen von Marktanalysen des Immobilienmarktes für Rechenzentren und der Verkaufszahlen von Servern vorgenommen. Für die Berechnungen wurden insbesondere folgende Quellen genutzt:

- ▶ Studie “Rechenzentren in Deutschland - Aktuelle Marktentwicklungen“ (Hintemann, Graß, Hinterholzer, & Grothey, 2022)
- ▶ Studie “Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market” (Hintemann, Hinterholzer, Montevecchi, & Stickler, 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, 2017; 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

Um Informationen zur Struktur der in den Rechenzentren in Hessen eingesetzten Technik zu erhalten, wurde eine Online-Befragung von Expertinnen und Experten des Hessischen Rechenzentrumsmarktes vorgenommen. Im Befragungszeitraum 21.9. bis 4.10.2022 wurden 17 Expertinnen und Experten befragt, davon fünf Betreibende von Colocation-Rechenzentren und elf Personen aus dem Bereich Planung und Ausrüstung von Rechenzentren. Ein Experte war Projektierer von Rechenzentren.

LITERATUR UND QUELLEN

- CBRE. (2017). *European Data Centres Market Review. Q4 2016*. London. Abgerufen von <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. Abgerufen 4. April 2018, von Nachgefragte Leistung europäischer Rechenzentren übersteigt erneut 100 MW-Wert website: <http://news.cbre.de/nachgefragte-leistung-europaischer-rechenzentren-ubersteigt-erneut-100-mw-wert>
- CBRE. (2020). *Europe Data Centres Q4 2019*. Abgerufen von <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*. Abgerufen von 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*. Abgerufen von <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- EITO. (2014). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- EITO. (2019). *EITO Customized Report for Borderstep*. Berlin: EITO.
- Gartner. (2020, März 19). Gartner Says Worldwide Server Revenue Grew 5.1% in the Fourth Quarter of 2019, While Shipments Increased 11.7%. Abgerufen 19. März 2020, von Gartner website: <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. (2017). *Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? - Präsentation*. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren - NeRZ. Abgerufen von Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren - NeRZ website: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/07/NeRZ-Studie-Rechenzentrumsmarkt-30-06-2017.pdf>
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2018a). *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin. Verfügbar unter. Berlin. Abgerufen von 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. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., Clausen, J., Beucker, 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.

Rechenzentrumsmarkt in Hessen

- 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. Abgerufen von <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol8514/0477.pdf>
- Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). *Rechenzentren in Deutschland—Aktuelle Marktentwicklungen*. Bitkom. Abgerufen von Bitkom website: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publicationen/Rechenzentren-in-Deutschland-2022>
- Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). *Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung—Teil 1*. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2021). Verteilung der Rechenzentren in Deutschland—Hessen mit der Region Frankfurt Rhein/Main mit großem Abstand größter Ballungsraum (in Veröffentlichung). *DataCenter Insider*.
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). *Herausforderungen und Chancen durch den Boom beim Neubau von Rechenzentren*. Wiesbaden: Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung. Abgerufen von Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung website: https://digitales.hessen.de/sites/digitales.hessen.de/files/2022-05/rechenzentrumsmarkt_hessen.pdf
- 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. Abgerufen von Borderstep Institute & Environment Agency Austria website: <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*.
- IDC - Servers—Market Share. (2022, September 26). Abgerufen 23. Oktober 2022, von IDC: The premier global market intelligence company website: <https://www.idc.com/promo/servers>
- Janović, I. (2022, März 22). Digitalwirtschaft in Frankfurt: Wo Rechenzentren künftig gebaut werden dürfen. *FAZ.NET*. Abgerufen von <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/frankfurt/wo-in-frankfurt-kuenftig-rechenzentren-gebaut-werden-duerfen-17901365.html>
- manage IT. (2022, Juni 5). Public Cloud: Microsoft und Google gewinnen Marktanteile. Abgerufen 23. Oktober 2022, von <https://ap-verlag.de/public-cloud-microsoft-und-google-gewinnen-markt-anteile/74647/>
- 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. Abgerufen von Fraunhofer IZM und Borderstep Institut website: <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>

Rechenzentrumsmarkt in Hessen

Techconsult. (2014). Daten des eanalyzers. Abgerufen von www.eanalyzer.biz

Techconsult. (2015). Daten des eanalyzers. Abgerufen von www.eanalyzer.biz

Techconsult. (2016). Daten des eanalyzers. Abgerufen von www.eanalyzer.biz