



Rechenzentren in Deutschland

Aktuelle Marktentwicklungen –
Stand 2024

1

Executive Summary

5

2

Aktuelle Marktentwicklung bei Rechenzentren

7

Marktentwicklungen in Deutschland

9

Einordnung von Deutschland in die internationale Entwicklung

14

Entwicklung der RZ-Regionen in Deutschland

18

3

Bedeutung von Rechenzentren für den Standort Deutschland

20

Bedeutung von Standortfaktoren für Rechenzentren

22

Rechenzentren und Arbeitsmarkt

23

Regionale Wirkungen und Spill-over-Effekte von Rechenzentren

24

Rechenzentren als Enabler für Nachhaltigkeit

25

4

Chancen und Risiken im RZ-Markt/Regulierung

26

Chancen und Risiken

28

Herausforderungen für den Betrieb von Rechenzentren in Deutschland

29

5

Markt- und Technologietrends bei Rechenzentren

31

Konzepte für RZ- und IT-Betrieb

33

Auswirkungen von Künstliche Intelligenz auf Rechenzentren

35

Trends im Bereich der Gebäudetechnik

38

Trends im Bereich IT-Technik

41

6

Rechenzentren und Nachhaltigkeit

44

Bedeutung von Nachhaltigkeit für den Betrieb von Rechenzentren

46

Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

48

Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes

52

7

Prognose der zukünftigen Entwicklung

56

Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren in Deutschland bis 2030

58

Entwicklung von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Deutschland bis 2030

61

8

Studiendesign

63

Methodik der Untersuchung

64

9

Quellen

67

1	Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland mit Anteil Cloud und Edge (in IT-Anschlussleistung)	9	15	Expertenbefragung: Welche regulatorischen Vorgaben stellen aus Ihrer Sicht die größten Herausforderungen für den Rechenzentrumsbetrieb in Deutschland dar? (Max. 5 Antworten möglich)	30
2	Befragung von RZ-Betreibern: Planen Sie in den nächsten zwei Jahren Investitionen in Ihr Rechenzentrum/Ihre Rechenzentren?	10	16	Expertenbefragung: Wie entwickelt sich die Bedeutung der folgenden RZ-Konzepte/ Bereitstellungsmodele bis zum Jahr 2025 in Deutschland?	34
3	Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland mit Anteil Colocation (IT-Anschlussleistung)	11	17	Expertenbefragung: Wird in Ihrem Rechenzentrum spezielle Hardware für KI-Anwendungen betrieben (z. B. GPUs, TPUs, FPGAs, ASICs) genutzt? (Max. 5 Antworten möglich)	36
4	Kapazitäten von Rechenzentren in Deutschland mit Anteilen von Cloud, Colocation, On-Premise und Edge Rechenzentren (IT-Anschlussleistung)	12	18	Expertenbefragung: Welche Auswirkungen könnte Ihrer Meinung nach der verstärkte Einsatz von KI-Anwendungen auf Rechenzentren in Deutschland haben? (Mehrfachantworten möglich)	37
5	Aufteilung RZ-Größen (IT-Anschlussleistung)	13	19	Expertenbefragung: Welche Technologien werden sich in den nächsten 10 Jahren voraussichtlich verstärkt durchsetzen?	40
6	Entwicklung des weltweiten Serverbestandes	14	20	Expertenbefragung: Wie schätzen Sie die Potenziale für die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren durch folgende Maßnahmen:	47
7	Aktueller Bestand an RZ-Kapazitäten in den USA, China und Europa	15	21	Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2024	48
8	Vergleich der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in ausgewählten europäischen Ländern	16	22	Entwicklung der durch den Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland verursachten Treibhausgasemissionen in den Jahren 2010 bis 2024	49
9	Auf das BIP bezogenen Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in ausgewählten Ländern	17	23	Expertenbefragung: Wenn Sie besondere Maßnahmen zu klimafreundlichen Stromversorgung Ihres Rechenzentrums/Ihrer Rechenzentren ergriffen haben, welche sind das? (Mehrfachantworten möglich)	50
10	Expertenbefragung: Wie entwickeln sich aus Ihrer Sicht die folgenden Regionen als Rechenzentrumstandorte in Deutschland?	18	24	Expertenbefragung: Was sind aus Ihrer Sicht die fünf größten Herausforderungen, Rechenzentren in Deutschland mit Strom aus Erneuerbaren Energien zu betreiben? (Max. 5 Antworten möglich)	51
11	RZ-Kapazitäten in deutschen Regionen – aktueller Stand und Planungen	19			
12	Expertenbefragung: Wichtigkeit der unterschiedlichen Standortfaktoren (links) und Deutschland im internationalen Vergleich (rechts)	22			
13	Expertenbefragung: Bewertung der Chancen und Risiken	28			
14	Expertenbefragung: Bewertung der größten Herausforderungen für den Betrieb und Ausbau von Rechenzentren (Max. 3 Antworten möglich)	29			

25	Expertenbefragung: Wie planen Sie, den Anforderungen des EnEFG zum Bezug von Strom aus Erneuerbaren Energien nachzukommen?	52
26	Expertenbefragung: Nutzen Sie die Abwärme Ihres Rechenzentrums/ Ihrer Rechenzentren? (Mehrfachauswahl möglich)	53
27	Expertenbefragung: Wenn Sie bisher keine Abwärme nutzen, warum? (Mehrfachantworten möglich)	54
28	Expertenbefragung: Haben Sie sich bereits mit dem Einsatz alternativer Kältemittel oder Technologien beschäftigt?	55
29	Expertenbefragung: Wie sieht Ihr Rechenzentrum/sehen Ihre Rechenzentren im Jahr 2030 aus?	58
30	Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland (gemessen in IT-Anschlussleistung) mit Anteil Cloud und Edge	59
31	Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland (gemessen in IT-Anschlussleistung) mit Anteil Colocation	60
32	Szenarien für die künftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland bis 2030	61
33	Prognose der Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland bis 2030	62
34	Expertenbefragung: Welcher Kategorie/Gruppe ordnen Sie sich zu? (Mehrfachauswahl möglich)	65
35	Expertenbefragung: Was für eine Art Rechenzentrum/Rechenzentren betreiben Sie? (Mehrfachauswahl möglich)	66

1 Executive Summary

Rechenzentrumsmarkt beschleunigt das Wachstum

Der Wachstumstrend im deutschen Rechenzentrumsmarkt ist ungebrochen und hat sich in den vergangenen Jahren weiter verstärkt. Zwischen 2022 und 2024 stieg die IT-Anschlussleistung der Rechenzentren (RZ) um knapp 400 MW auf 2.730 MW an. In den kommenden Jahren wird sich das Wachstum des Marktes voraussichtlich weiter beschleunigen. Bis zum Jahr 2030 prognostiziert die vorliegende Studie, dass die Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland auf eine IT-Anschlussleistung von 4.850 MW steigen. Dies verdeutlicht den anhaltenden Bedarf an digitaler Infrastruktur, der in erheblichem Maße durch den wachsenden Einsatz von Cloud-Computing getrieben wird. Im Jahr 2024 fließen etwa 2,9 Milliarden Euro in den Ausbau von Rechenzentrumsinfrastrukturen (Gebäude und Gebäudetechnik). In diesen Gebäuden wird jährlich IT-Hardware im Wert von über 10 Milliarden Euro installiert.

Der massive Zuwachs an Cloud-Computing-Kapazitäten ist ein zentraler Wachstumstreiber im RZ-Markt. Im Jahr 2024 werden 45 % der RZ-Kapazitäten in Deutschland für Cloud-Anwendungen genutzt. Sowohl Cloud-Anbieter als auch Betreiber traditioneller IT-Infrastrukturen setzen zunehmend auf Colocation-RZ. Dies hat das Marktwachstum in diesem Segment signifikant gesteigert, sodass sich im Jahr 2024 fast die Hälfte der RZ-Kapazitäten in Colocation-RZ befinden. Etwa 10.000 Unternehmen in Deutschland nutzen derzeit Colocation-Services.

Parallel zum Ausbau der Rechenzentren steigt auch der Stromverbrauch: Im Jahr 2024 wird ein Energiebedarf von knapp 20 Milliarden kWh erwartet, der bis 2030 auf über 30 Milliarden kWh ansteigen könnte. Trotz des steigenden Energiebedarfs wird die Klimawirkung der Rechenzentren deutlich abnehmen. Ab 2027 wird der überwiegende Teil der Rechenzentren bilanziell mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben. Selbst wenn man berücksichtigt, dass die Rechenzentren faktisch mit dem Strom aus dem deutschen Kraftwerksmix betrieben werden, wird ihre Klimawirkung bis 2030 voraussichtlich um 30 % reduziert.

Im europäischen Kontext hat Deutschland seit 2015 seine Position als Standort für Rechenzentren leicht ausgebaut und verzeichnet die höchste Anzahl an Rechenzentren, was seiner Rolle als größte Volkswirtschaft Europas entspricht. Bezieht man die RZ-Kapazitäten auf das Bruttoinlandsprodukt liegt Deutschland jedoch nur im europäischen Mittelfeld. Im internationalen Vergleich zeigt sich, dass Europa hinsichtlich des Ausbaus von RZ-Kapazitäten deutlich hinter die USA und China zurückfällt.

Innerhalb Deutschlands gilt insbesondere die Region Frankfurt/Rhein-Main, die mit dem weltweit größten Internetknoten DE-CIX verbunden ist, als besonders attraktiv. In dieser Region wird das größte Wachstum erwartet. Auch Berlin-Brandenburg entwickelt sich zu einem bedeutenden Rechenzentrums-

standort, und das Rheinland gewinnt durch Microsofts Engagement im Rheinischen Revier an Bedeutung.

Deutschland bietet weiterhin attraktive Standortvorteile für Rechenzentren. Dazu zählen die zuverlässige Stromversorgung, die gute Anbindung an zentrale Internetknoten sowie der hohe Datenschutzstandard. Deutliche Nachteile im internationalen Vergleich werden in den hohen Strompreisen, bürokratischen Genehmigungsprozessen und den regulatorischen Anforderungen gesehen. Ein weiterer Engpass ist der Fachkräftemangel, der von der Branche als bedeutendes Hindernis angesehen wird. Hinsichtlich der regulatorischen Vorgaben werden vor allem die Vorgaben zur Power Usage Effectiveness (PUE) und zur Abwärmennutzung, die im Energieeffizienzgesetz festgelegt sind, als sehr anspruchsvoll bewertet.

Von den technologischen Trends in Rechenzentren ist die hohe Bedeutung der Künstlichen Intelligenz (KI) hervorzuheben. KI-Anwendungen, insbesondere die Nachfrage nach Large Language Models, treiben weltweit den Bedarf an Rechenleistung voran. In Deutschland wird erwartet, dass KI- und HPC-Anwendungen künftig für deutlich höhere Anteile an den RZ-Kapazitäten verantwortlich sind, der Anteil steigt von aktuell 15 % bis 2030 auf etwa 40 % an. Entsprechend hoch wird auch der Anteil von KI-Anwendungen am Energiebedarf der Rechenzentren sein.

2 Aktuelle Marktentwicklung bei Rechenzentren

In diesem Kapitel

- Marktentwicklungen in Deutschland
- Einordnung von Deutschland in die internationale Entwicklung
- Entwicklung der RZ-Regionen in Deutschland

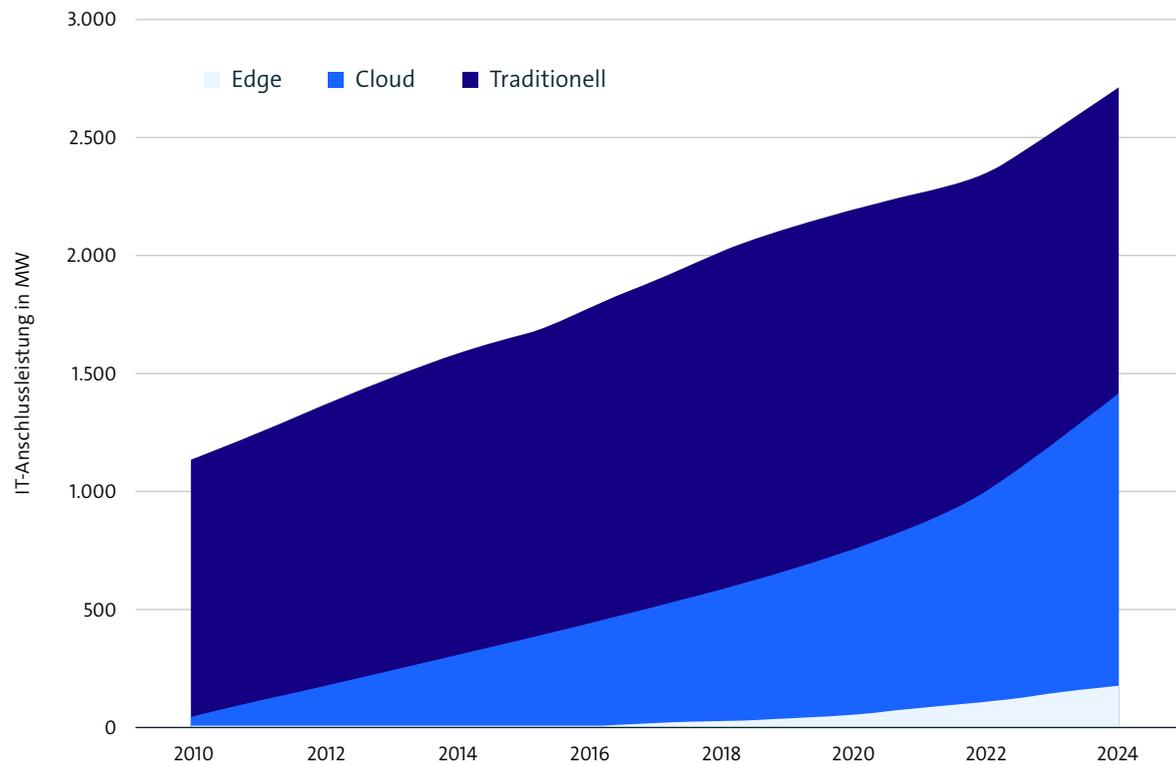
Das Wichtigste in Kürze

- Das dynamische Wachstum der RZ-Branche ist ungebrochen und hat sich in den letzten Jahren noch verstärkt. Die Kapazitäten der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland wuchsen zwischen 2022 und 2024 um knapp 400 MW (16 %) auf 2.730 MW.
- Insbesondere der starke Ausbau von Kapazitäten für Cloud Computing ist für dieses Wachstum verantwortlich. Im Jahr 2024 entfallen 45 % der deutschen RZ-Kapazitäten auf Cloud-Installationen.
- Die Investitionen in Rechenzentren steigen kontinuierlich an. Im Jahr 2024 werden 2,9 Mrd. Euro in RZ-Gebäude und technische Gebäudeausrüstung investiert. Die steigenden Investitionen sind in allen RZ-Segmenten festzustellen. Besonders stark wachsen Hyperscale-Cloud-Installationen, aber auch bei kleineren Cloud-Rechenzentren, Industriekunden auf Colocation-Flächen, bei Forschungs-RZ oder, in der öffentlichen Verwaltung, sind steigende Investitionen festzustellen. Vor allem die Möglichkeiten durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) werden als weiterer Wachstumstreiber gesehen.
- In Deutschland werden zunehmend sehr große Rechenzentren mit Anschlussleistungen im zwei- bis dreistelligen MW-Bereich geplant.
- Colocation-Rechenzentren erreichen 2024 einen Anteil von fast 50 % der RZ-Kapazitäten in Deutschland. Dieses Marktsegment wächst vor allem durch die zunehmende Nachfrage von Hyperscalern und kleineren Cloud-Anbietern. Aber auch traditionelle Kunden wie Industrieunternehmen greifen verstärkt auf Colocation-Angebote zurück.
- Der Anteil kleiner IT-Installationen an den RZ-Kapazitäten liegt bei 27,5 %. Dieses Marktsegment wächst aktuell leicht, bezogen auf die Gesamtkapazitäten nimmt die Bedeutung aber ab.
- Innerhalb von Europa ist Deutschland der größte RZ-Markt, insbesondere begründet durch die hohe Konzentration von Wirtschaftsleistung. Diese Position konnte in den letzten Jahren leicht ausgebaut werden.
- International verlieren Europa und Deutschland als RZ-Standorte deutlich an Bedeutung. Die RZ-Kapazitäten und Zahl der Server insbesondere in China und den USA wachsen deutlich schneller. Der starke Aufbau von RZ-Kapazitäten für KI-Anwendungen in diesen beiden Ländern wird den Abstand zu Europa voraussichtlich noch einmal deutlich größer werden lassen.
- Innerhalb von Deutschland ist nach wie vor die Region Frankfurt/Rhein-Main der Hotspot für Rechenzentren. Die Region wird ihre führende Position in den nächsten Jahren weiter ausbauen. Daneben entwickeln sich aktuell

die Regionen Berlin/Brandenburg und das Rheinisches Revier als weitere größere Standorte für Rechenzentren. Auch in vielen anderen Standorten ist aktuell ein Wachstum der RZ-Kapazitäten festzustellen.

2.1 Marktentwicklungen in Deutschland

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland



Quelle: Borderstep (2024)

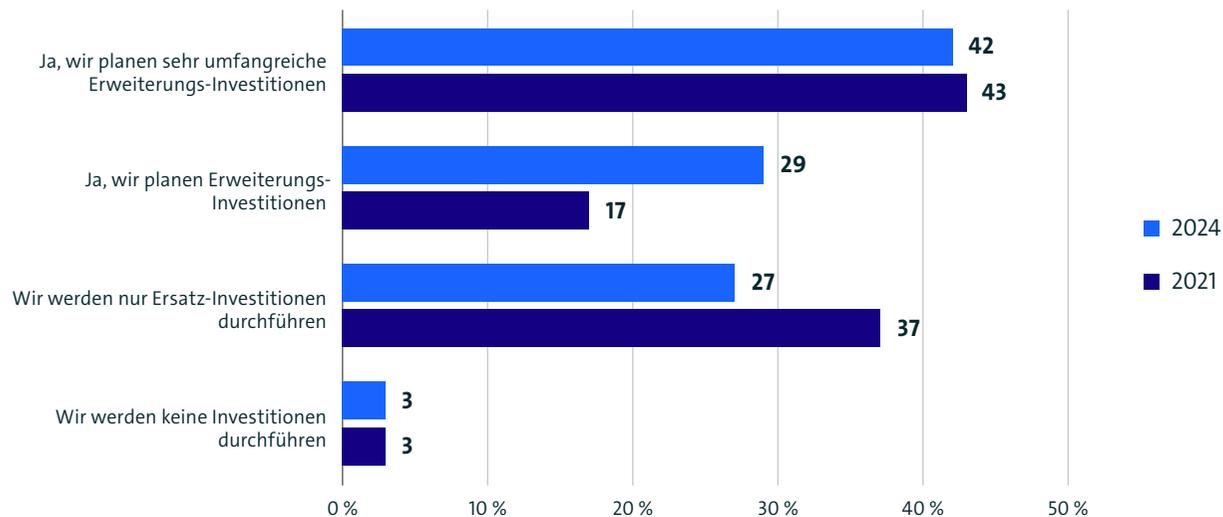
Abbildung 1: Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland mit Anteil Cloud und Edge (in IT-Anschlussleistung)

Cloud-RZ sind für das Wachstum verantwortlich

Der Wachstumstrend bei Rechenzentren in Deutschland zeigt sich ungebrochen und hat sich seit 2022 sogar deutlich verstärkt. Die maximale Leistungsaufnahme (IT-Anschlussleistung) aller in Rechenzentren und kleineren IT-Installationen betriebenen IT-Geräte, darunter Server, Speicher und Netzwerktechnik, beträgt im Jahr 2024 etwa 2.730 MW. Dieses Wachstum wird maßgeblich durch die zunehmende Nutzung von Cloud-Computing getragen (Eurostat, 2024). Im Jahr 2024 entfallen bereits 45 % der deutschen RZ-Kapazitäten auf Cloud-Installationen. Parallel dazu nimmt auch der Anteil der Edge-Rechenzentren zu, wenngleich dieser sich aktuell noch auf einem niedrigen Niveau befindet (siehe dazu auch Kapitel 5.1 der Studie).

Hinweis: In der vorliegenden Studie wird die IT-Anschlussleistung als die maximal mögliche Stromaufnahme aller IT-Geräte in Rechenzentren und kleineren IT-Installationen definiert. Diese unterscheidet sich von der »Nennanschlussleistung der Informationstechnik«, die üblicherweise das Leistungsmaximum des unterbrechungsfreien Stromversorgungssystems (USV) bezeichnet. Die IT-Anschlussleistung liegt in der Regel unter dieser Nennanschlussleistung.

Entwicklung der Investitionen in Rechenzentren in Deutschland



Basis: Expertenbefragung (nur Rechenzentrumsbetreiber) | Quelle: Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 82

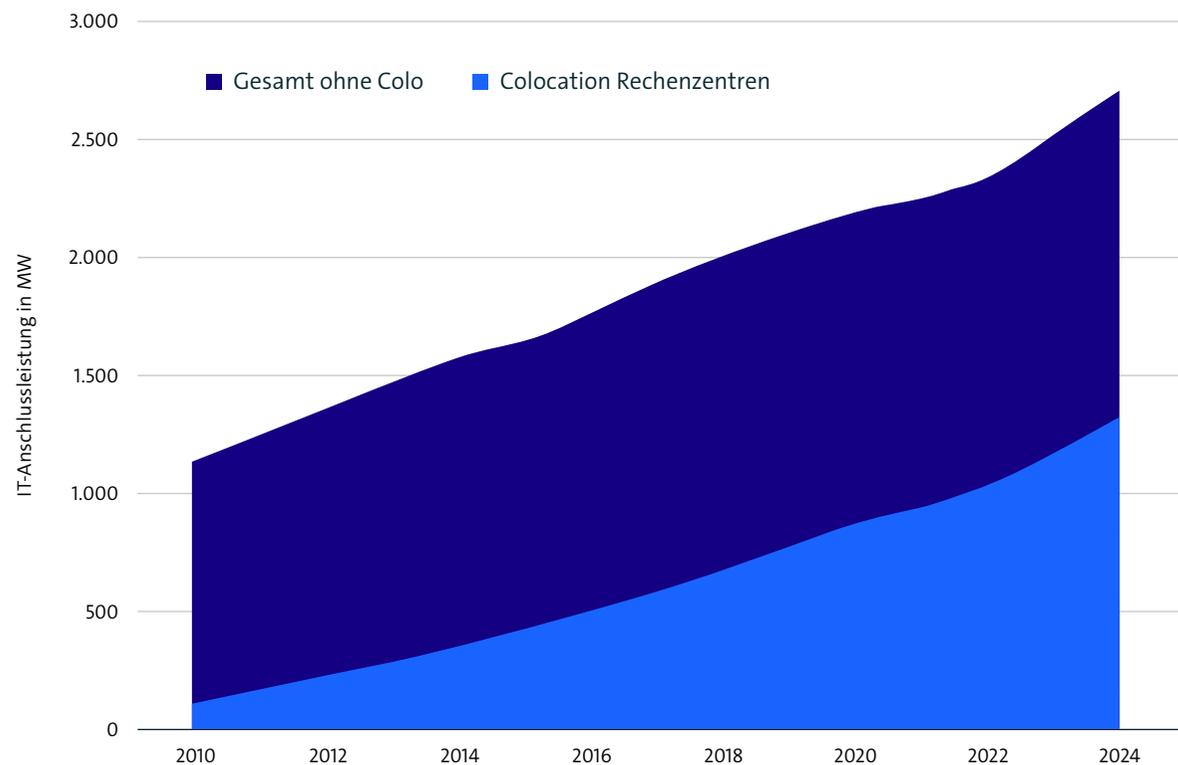
Abbildung 2: Befragung von RZ-Betreibern: Planen Sie in den nächsten zwei Jahren Investitionen in Ihr Rechenzentrum/Ihre Rechenzentren?

Allein in Gebäude und technische Gebäude-ausrüstung werden knapp 3 Mrd. Euro pro Jahr investiert

Die Investitionen in Rechenzentren in Deutschland nehmen weiter deutlich zu. Derzeit werden jährlich etwa 2,9 Milliarden Euro in RZ-Gebäude und die technische Gebäudeausrüstung investiert. Davon fließen ca. 2,2 Milliarden Euro in die Geräte und Anlagen der Klimatechnik, der Stromversorgung und anderer Gebäudetechnik. Parallel dazu beträgt das jährliche Investitionsvolumen in IT-Hardware, einschließlich Server, Speicherlösungen und Netzwerkausstattung, über 10 Milliarden Euro, von denen etwa 7 Milliarden Euro direkt im deutschen Markt beschafft werden.

Für die kommenden Jahre wird ein weiterer Anstieg der Investitionen erwartet. Aktuell planen 71 % der befragten Rechenzentren in Deutschland Erweiterungsinvestitionen innerhalb der nächsten zwei Jahre. Dies spiegelt die Zukunftserwartungen der RZ-Betreiber wider, die von einer deutlich steigenden Nachfrage nach Rechenleistung ausgehen. Der Anteil der RZ-Betreiber mit der Absicht von Erweiterungsinvestitionen lag im Jahr 2021 noch bei 60 %.

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland



Quelle: Borderstep (2024)

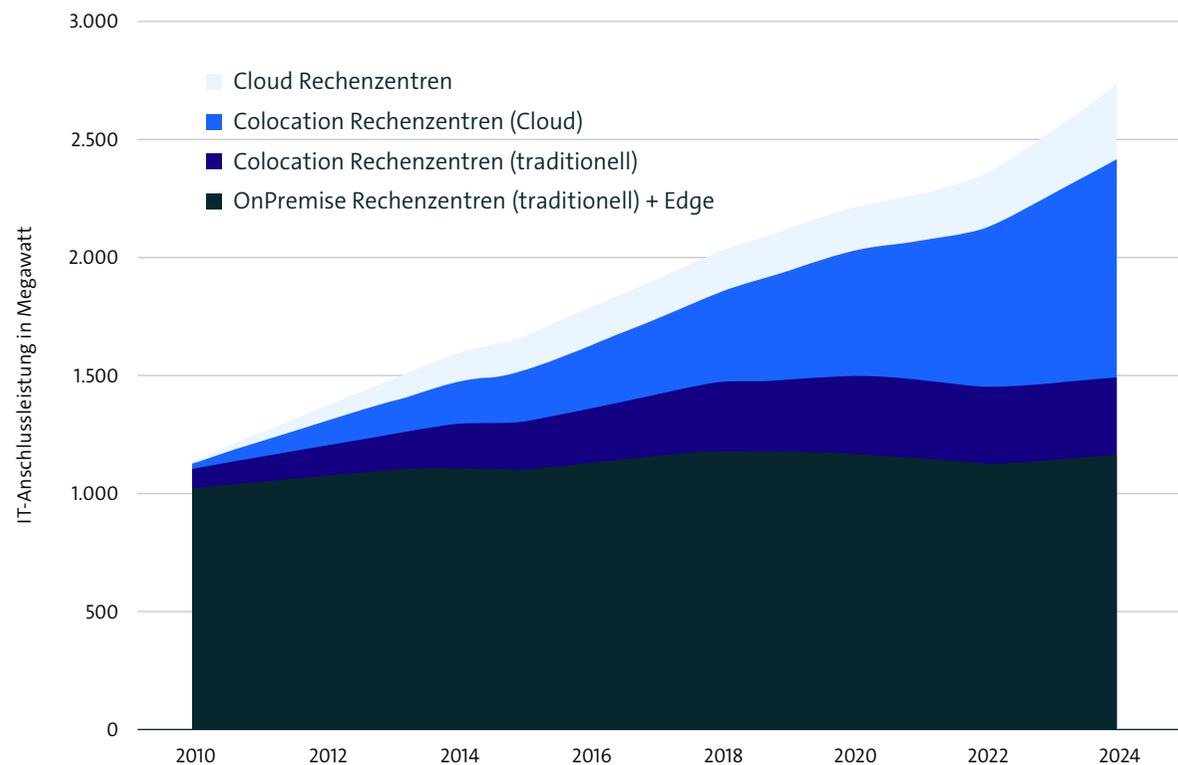
Abbildung 3: Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland mit Anteil Colocation (IT-Anschlussleistung)

Anteil der Colocation-RZ nimmt weiter zu

Das Wachstum der RZ-Kapazitäten in Deutschland wird derzeit maßgeblich durch den Auf- und Ausbau von Colocation-RZ getragen. Im Jahr 2024 entfallen fast 50 % der gesamten RZ-Kapazitäten auf Colocation-Einrichtungen. In Deutschland nutzen bereits rund 10.000 Unternehmen Colocation-Services, um ihre IT-Infrastruktur auszulagern und sich selbst auf das Management der IT konzentrieren zu können.

Branchenexpertinnen und -experten erwarten, dass das neue Energieeffizienzgesetz (EnEfG) die Attraktivität von Colocation-Angeboten zusätzlich steigern wird. IT-Betreiber können so die im Gesetz enthaltenden Verpflichtungen beispielsweise zur Abwärmenutzung und zur Einhaltung von Effizienzvorgaben auf die Colocation-Anbieter übertragen.

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 4: Kapazitäten von Rechenzentren in Deutschland mit Anteilen von Cloud, Colocation, On-Premise und Edge Rechenzentren (IT-Anschlussleistung)

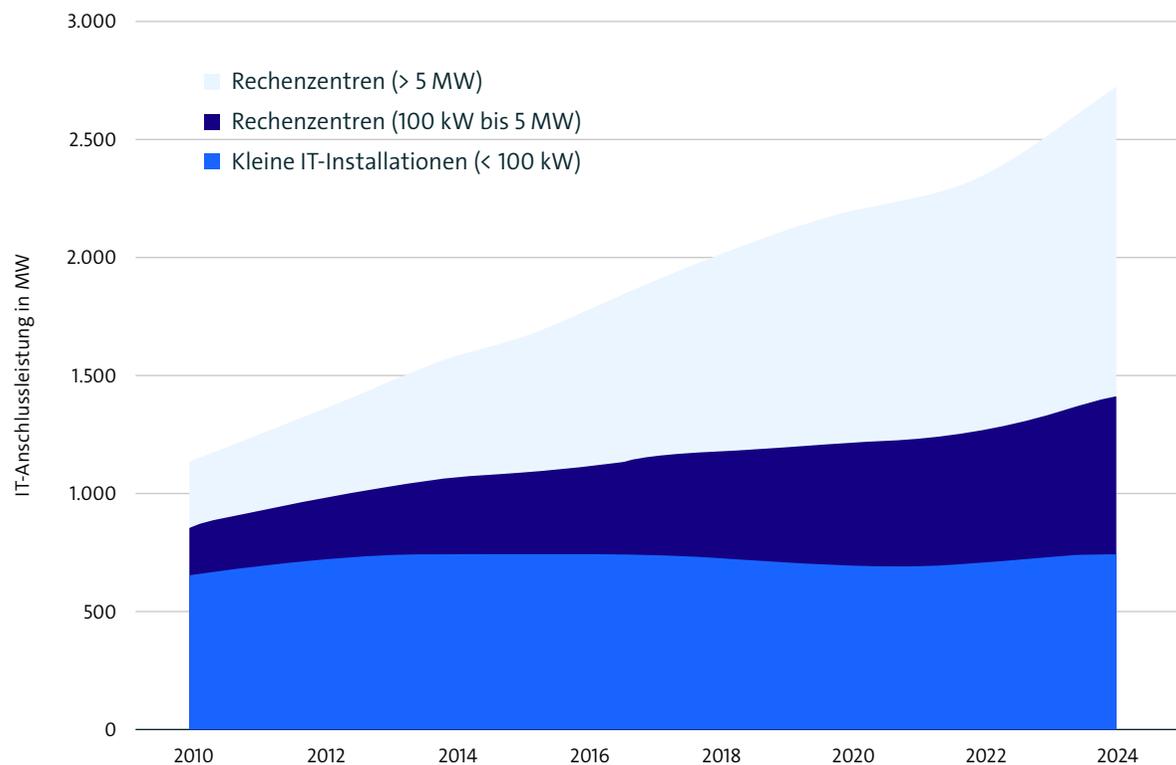
Cloud-Anbieter treiben das Wachstum im Colocation-Markt

Eine detaillierte Analyse der Entwicklung des RZ-Marktes zeigt, dass insbesondere die Kapazitäten von Cloud-Anbietern, die Colocation-Services nutzen, in den letzten Jahren signifikant gestiegen sind. Auch die von Cloud-Anbietern selbst betriebenen Rechenzentren wachsen deutlich.

Die Expansion des RZ-Marktes wird auch künftig maßgeblich durch die angekündigten Milliarden-Investitionen internationaler Hyperscaler in Deutschland beschleunigt (Amazon, 2024; Dauer, 2021; Land NRW, 2024; Tagesschau, 2024). Es ist zu erwarten, dass diese Investitionen das Wachstum im Colocation-Markt weiter treiben.

Im Gegensatz dazu bleiben die Kapazitäten von On-Premise-RZ weitgehend stabil, mit aktuell leicht steigender Tendenz. Aktuell werden allerdings gerade bei kleineren On-Premise-RZ aufgrund der angespannten wirtschaftlichen Gesamtlage Neu-Investitionen zurückgestellt.

Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 5: Aufteilung RZ-Größen (IT-Anschlussleistung)

Große Rechenzentren für Wachstum der Kapazitäten verantwortlich

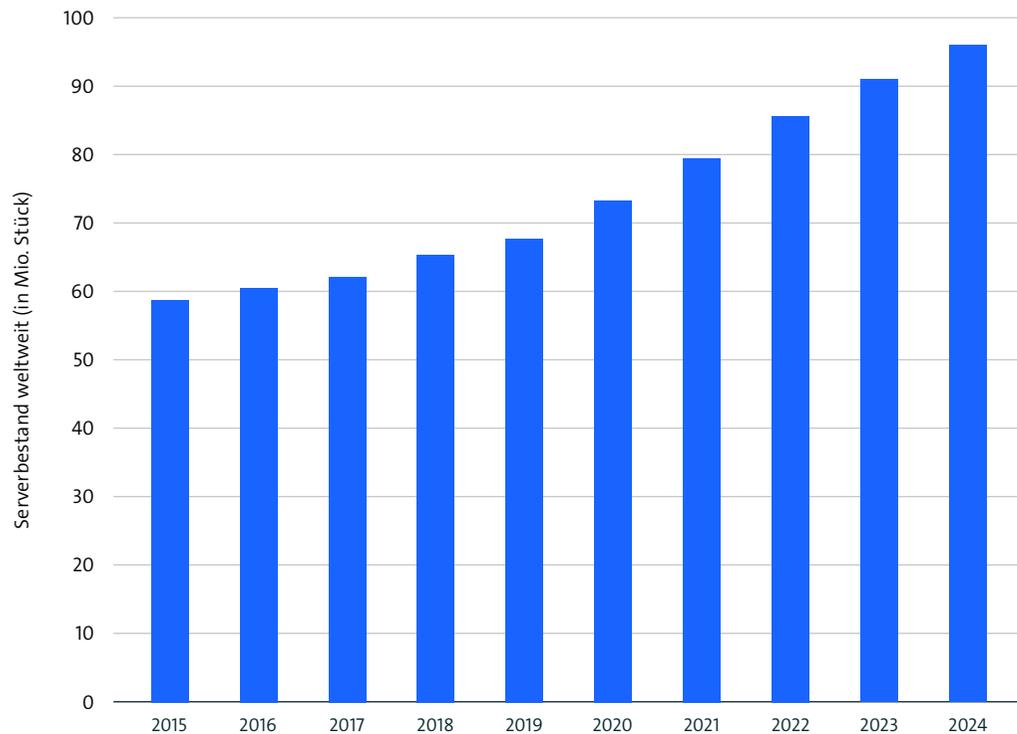
Die Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland zeigt, dass das Wachstum der RZ-Kapazitäten primär durch große Rechenzentren mit über 5 MW Anschlussleistung getrieben wird. Im Jahr 2024 liegt ihr Anteil am Gesamtmarkt bei 48 %. Mittelgroße Rechenzentren mit einer Anschlussleistung zwischen 100 kW und 5 MW verzeichnen ebenfalls ein signifikantes Wachstum und machen 2024 einen Anteil von 24,5 % aus.

Aktuell gibt es etwa 2.000 Rechenzentren mit mehr als 100 kW IT-Anschlussleistung, darunter rund 100 mit über 5 MW. Im Bereich kleiner IT-Installationen ist das Kapazitätsniveau seit Jahren stabil, wenngleich seit 2020 ein leichter Wachstumsimpuls besteht. Dieser Zuwachs bleibt jedoch hinter dem Marktwachstum zurück, sodass der Anteil kleiner Installationen am Gesamtmarkt 2024 auf 27,5 % zurückgegangen ist. Zukünftig wird hier eine zusätzliche Dynamik durch den vermehrten Einsatz von Edge-Datacentern erwartet, die auf den steigenden Bedarf an lokalen Rechenkapazitäten reagieren.

Hinweis: In der Bitkom-Studie aus dem Jahr 2022 wurde bereits ab einer IT-Anschlussleistung von 40 kW von einem »Rechenzentrum« gesprochen und auf dieser Basis eine Zahl von 3.000 Rechenzentren mit mehr als 40 kW IT-Anschlussleistung ermittelt.

2.2 Einordnung von Deutschland in die internationale Entwicklung

Serverbestand in den Rechenzentren weltweit



Quelle: Hintemann et al. (2024)

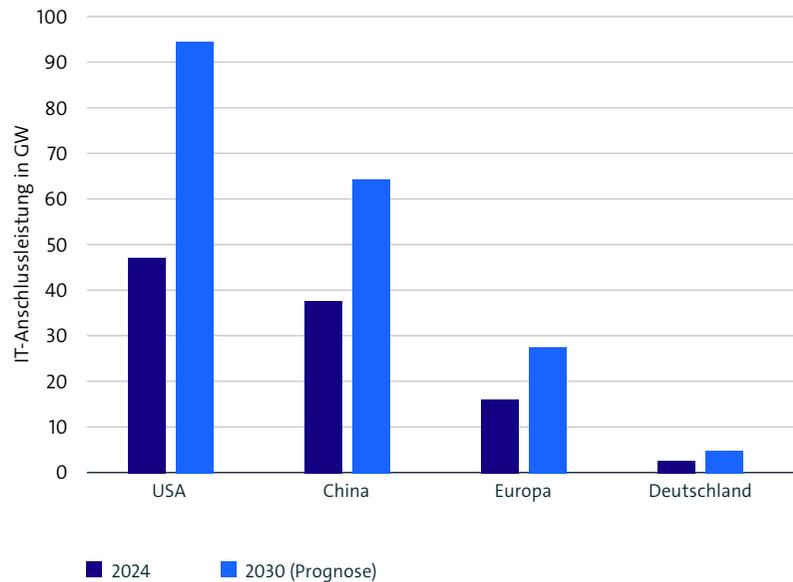
Abbildung 6: Entwicklung des weltweiten Serverbestandes

USA und China dominieren den weltweiten Servermarkt

Die weltweite Anzahl installierter Server wächst kontinuierlich und wird voraussichtlich im Jahr 2025 die Marke von 100 Millionen überschreiten. Vor allem in den USA und China ist die Nachfrage nach Servern besonders hoch, was auf die stark wachsenden Anforderungen an Rechenleistung und Datenspeicherung in diesen Ländern zurückzuführen ist.

Auch in Deutschland nimmt der Serverbestand leicht zu, von 2,1 Millionen im Jahr 2015 auf 2,4 Millionen im Jahr 2024. Der Anteil Deutschlands am globalen Serverbestand ist aber deutlich rückläufig. Lag dieser Anteil 2015 noch bei 3,5 %, sank er bis 2024 auf 2,5 %.

Weltweite Entwicklung der RZ-Kapazitäten



Quelle: Borderstep (2024)

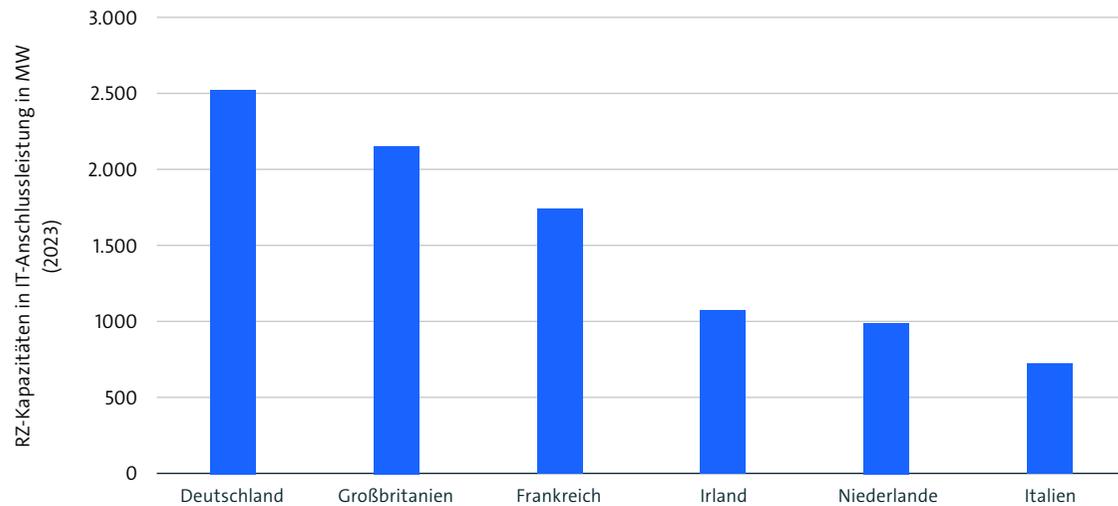
Abbildung 7: Aktueller Bestand an RZ-Kapazitäten in den USA, China und Europa

Europa verliert an Marktanteilen bei Rechenzentren

Die Prognose der zukünftigen Entwicklung von RZ-Kapazitäten gestaltet sich aufgrund der hohen Dynamik im Markt derzeit als schwierig. Marktanalysten beobachten eine signifikante Verschiebung im globalen Vergleich: Der Anteil Europas an den RZ-Märkten sinkt spürbar, insbesondere im Vergleich zu den USA, die weiterhin eine dominierende Position einnehmen (Batson, 2024; Cushman & Wakefield, 2024; datacenterHawk, 2024; Janson, 2023).

Abbildung 7 zeigt eine Prognose zur Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen, basierend auf aktuellen Studien und Veröffentlichungen von Institutionen wie der Internationalen Energieagentur (IEA), dem Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) und der chinesischen Regierung (Greenpeace & Ceprei Calibrations&Testing Center, 2021; IEA, 2024; Miller, 2024a; State Council of the People's Republic of China, 2021). Gemäß dieser Prognose werden sich die RZ-Kapazitäten in den USA bis zum Jahr 2030 verdoppeln, in China und Europa werden sie um etwa 70 % ansteigen. Innerhalb von Europa wächst Deutschland voraussichtlich etwas schneller als der Durchschnitt, gemessen an den gesamten RZ-Kapazitäten in den USA, China und Europa nimmt der Anteil Deutschlands allerdings von 2,8 % auf 2,6 % ab.

RZ-Kapazitäten in Deutschland im europäischen Vergleich



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 8: Vergleich der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in ausgewählten europäischen Ländern

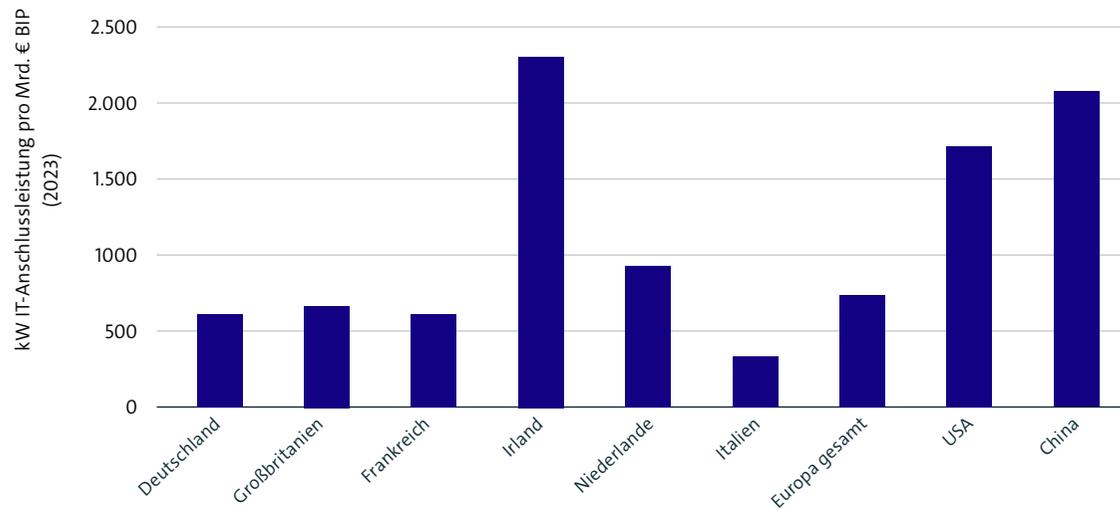
Deutschland behauptet führende Position als Rechenzentrumsstandort in Europa

Deutschland verfügt innerhalb Europas über die höchsten RZ-Kapazitäten, was vor allem seiner wirtschaftlichen Bedeutung und der wachsenden Nachfrage nach digitalen Infrastrukturen geschuldet ist. Damit verbunden gibt es hierzulande im europäischen Vergleich hohe On-Premise-RZ-Kapazitäten.

Im Bereich der Colocation- und Hyperscale-RZ liegen Deutschland und Großbritannien aktuell auf einem ähnlichen Niveau, wobei insbesondere die Region Frankfurt/Rhein-Main in den vergangenen Jahren gegenüber dem Großraum London vermutlich auch aufgrund des Brexits deutlich an Bedeutung gewonnen hat (z. B. CBRE, 2023, 2024a; Williams & Kemper, 2024).

Insgesamt hat Deutschland seine Position als RZ-Standort im europäischen Vergleich seit 2015 weiter ausgebaut und sich als zentraler Standort für digitale Infrastruktur in Europa etabliert.

RZ-Kapazitäten in Deutschland im internationalen Vergleich



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 9: Auf das BIP bezogenen Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in ausgewählten Ländern

RZ-Kapazitäten: Bezogen auf die Wirtschaftskraft ist Deutschland Mittelmaß in Europa

Vergleicht man die RZ-Kapazitäten europäischer Länder in Relation zu ihrem Bruttoinlandsprodukt (BIP), so positioniert sich Deutschland im Mittelfeld. Länder wie Irland und die Niederlande verzeichnen im Vergleich jedoch deutlich höhere RZ-Kapazitäten im Verhältnis zur Wirtschaftsleistung. Besonders in Irland haben sich die Kapazitäten in kurzer Zeit stark erhöht, was zu einem signifikanten Anstieg des Stromverbrauchs geführt hat. Nach Angaben des Central Statistics Office Ireland stieg der Anteil der Rechenzentren am nationalen Stromverbrauch von 5 % im Jahr 2015 auf 21 % im Jahr 2023 (CSO, 2024).

Auch in Großbritannien gibt es bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt mehr RZ-Kapazitäten als in Deutschland. Frankreich liegt wie Deutschland etwas niedriger als das Durchschnittsniveau in Europa (730 kW/Mrd. €).

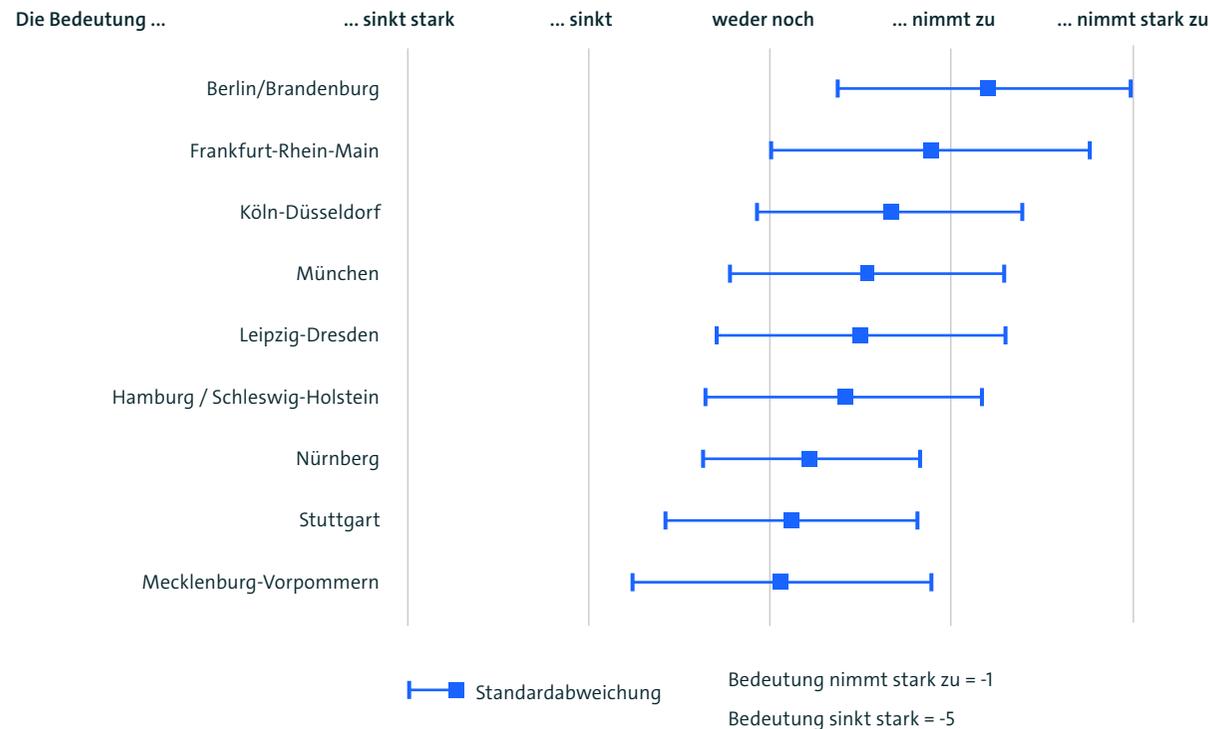
In den USA und in China liegen die auf das BIP-bezogenen RZ-Kapazitäten mit 1.700 kW/Mrd. € (USA) und 2.100 kW/Mrd. € sehr viel höher als in Europa.

2.3 Entwicklung der RZ-Regionen in Deutschland

Regionale Verteilung der Rechenzentren in Deutschland

Berlin/Brandenburg als RZ-Standort immer wichtiger

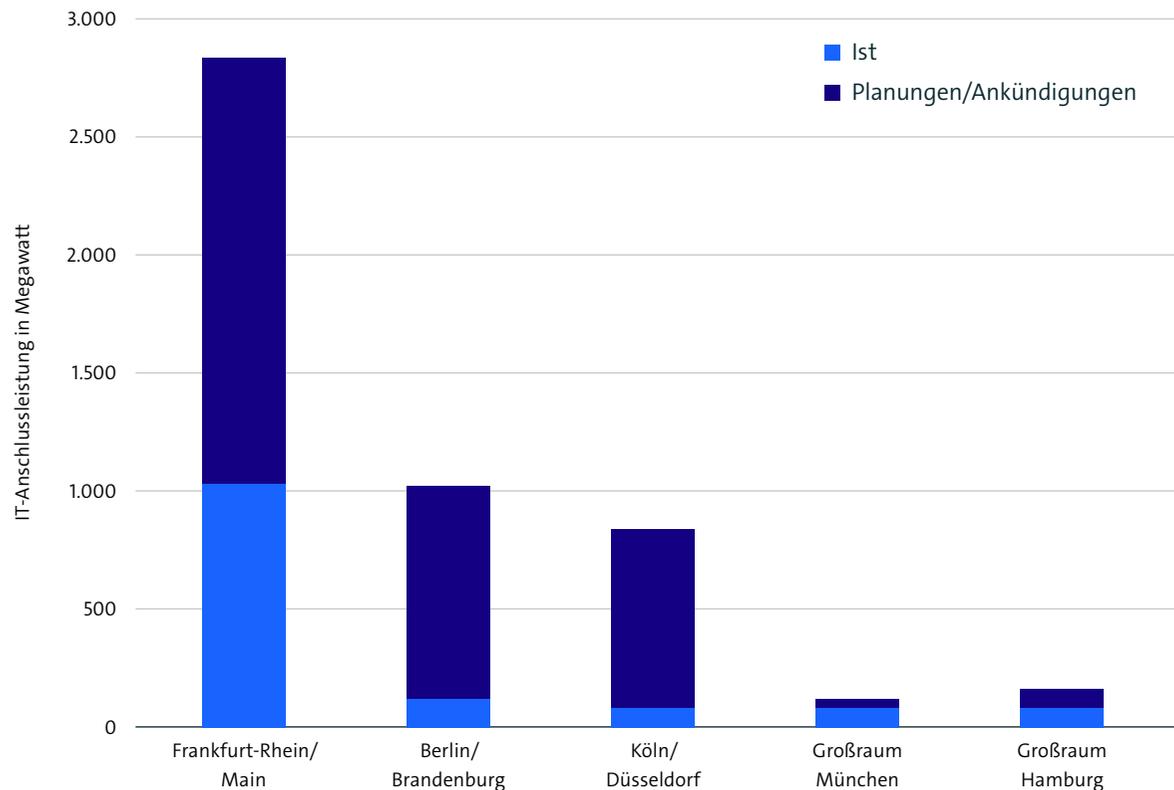
Laut befragter RZ-Expertinnen und Experten gewinnen zahlreiche Regionen in Deutschland an Bedeutung als Standort für Rechenzentren. Besonders stark wird die Attraktivität der Region Berlin/Brandenburg eingeschätzt. Darüber hinaus sind die Expertinnen und Experten einhellig der Ansicht, dass Frankfurt/Rhein-Main seine Position als führender RZ-Standort weiter ausbauen wird. Ein signifikanter Bedeutungszuwachs wird zudem für den Standort Köln-Düsseldorf erwartet, vor allem durch das Engagement von Microsoft zum Bau neuer Rechenzentren im Rheinischen Revier. Diese Entwicklungen deuten auf eine stärkere regionale Diversifizierung innerhalb der deutschen RZ-Landschaft hin.



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 105

Abbildung 10: Expertenbefragung: Wie entwickeln sich aus Ihrer Sicht die folgenden Regionen als Rechenzentrumstandorte in Deutschland?

Führende Rechenzentrumsregionen in Deutschland auf Expansionskurs



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 11: RZ-Kapazitäten in deutschen Regionen – aktueller Stand und Planungen

Frankfurt/Rhein-Main baut seine Position als europäischer Top-Standort weiter aus

Wie aus Pressemeldungen und Informationen aus Branchenkreisen hervorgeht, ist in Deutschland eine große Zahl von RZ-Projekten geplant, deren IT-Anschlussleistung im zwei- bis dreistelligen Megawatt-Bereich liegt (z. B. Amazon, 2024; Datacenter Insider, 2023; Nierhaus, 2022; RP online, 2024; Tagesschau, 2024; Wegener, 2024). Diese Projekte lassen auf ein starkes Wachstum der RZ-Kapazitäten schließen, auch wenn deren Umsetzung und zeitliche Realisierung oft noch unsicher ist. Der Ausbau der Kapazitäten kommt dabei insbesondere dem RZ-Hotspot Frankfurt/Rhein-Main zugute. Hier werden sich die Kapazitäten sich in Zukunft voraussichtlich mehr als verdoppeln.

Zusätzlich zu Frankfurt stehen auch andere Regionen im Fokus: Insbesondere im Großraum Berlin/Brandenburg sowie im Raum Köln/Düsseldorf sind mehrere große RZ-Projekte geplant. Diese Entwicklungen zeigen eine Verlagerung und Erweiterung der Standortpräferenzen für Rechenzentren in Deutschland. Dabei gewinnen auch die nördlichen Bundesländer an Attraktivität, da hier eine ausreichende Versorgung mit regenerativen Energien zur Verfügung steht. Auch wenn in diesen Regionen derzeit noch keine Großprojekte umgesetzt werden, bieten die vorhandenen Kapazitäten im Stromnetz langfristig günstige Bedingungen für potenzielle Investitionen in RZ-Infrastruktur.

3 Bedeutung von Rechenzentren für den Standort Deutschland

In diesem Kapitel

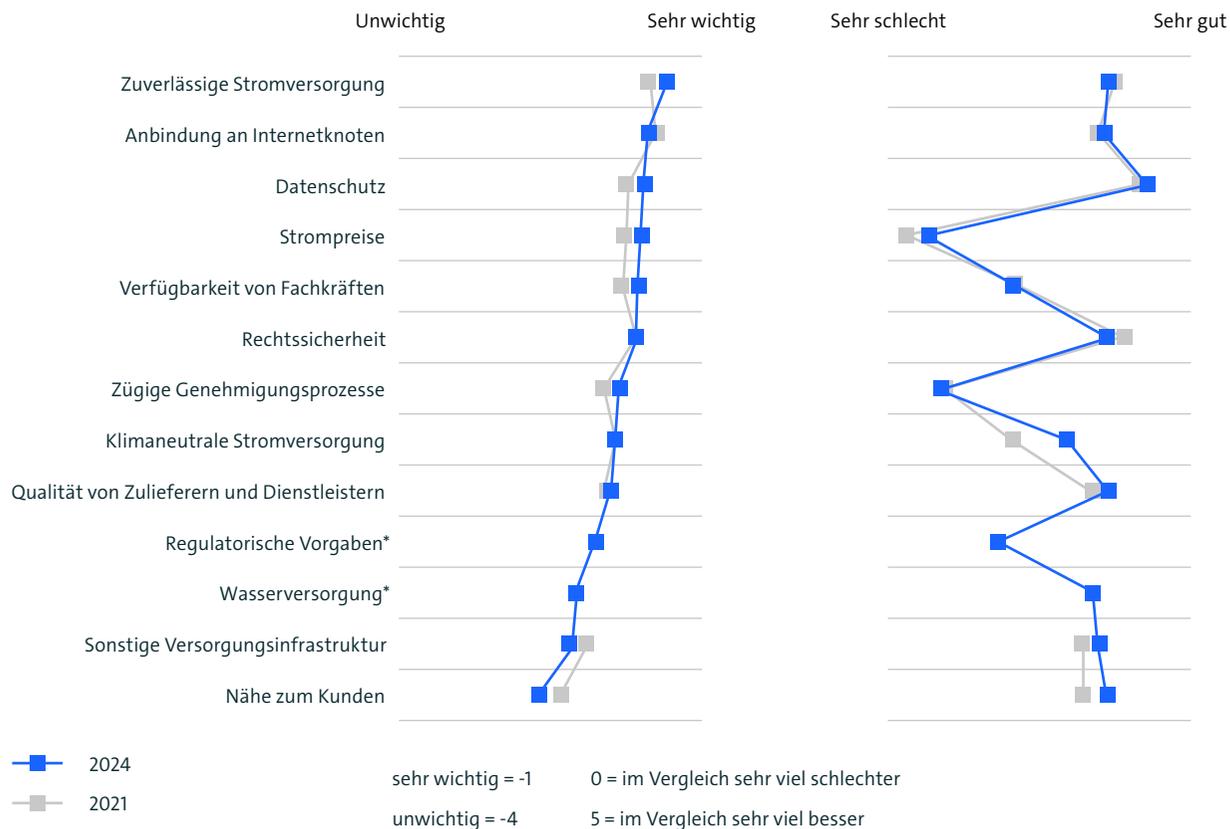
- Bedeutung von Standortfaktoren für Rechenzentren
- Rechenzentren und Arbeitsmarkt
- Regionale Wirkungen und Spill-over-Effekte von Rechenzentren
- Rechenzentren als Enabler für Nachhaltigkeit

Das Wichtigste in Kürze

- Deutschland wird vor allem innerhalb von Europa insgesamt als Standort für Rechenzentren gut bewertet, dies zeigt auch das aktuelle dynamische Wachstum.
 - Eine zuverlässige Stromversorgung ist der wichtigste Standortfaktor für Rechenzentren. Bei diesem Kriterium schneidet Deutschland im internationalen Vergleich sehr gut ab.
 - Besonders wichtige Standortfaktoren, bei denen Deutschland sehr gut bewertet wird, sind auch die Anbindung an Internetknoten und der Datenschutz.
 - Deutliche Standortnachteile in Deutschland werden hinsichtlich der Stromkosten, hinsichtlich der langwierigen und bürokratischen Genehmigungsprozesse, hinsichtlich regulatorischer Vorgaben und hinsichtlich verfügbarer Fachkräfte gesehen.
- Im Jahr 2030 sind 210.000 Arbeitsplätze in Deutschland direkt von Rechenzentren abhängig.
 - Rechenzentren können deutliche positive Impulse für regionale Entwicklungen und den Strukturwandel bedeuten, wie insbesondere das Beispiel des Rheinischen Reviers zeigt.
 - Als Basisinfrastruktur der Digitalisierungen können Rechenzentren deutliche Spill-over-Effekte erzeugen.
 - Rechenzentren sind auch Enabler für Nachhaltigkeit. Sie können deutliche Beiträge zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen liefern. Insbesondere über die intelligente Einbindung von Rechenzentren in Strom- und Wärmenetze bestehen noch weitgehend ungenutzte Potenziale.

3.1 Bedeutung von Standortfaktoren für Rechenzentren

Standortsfaktoren und internationaler Vergleich



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 123, Vergleich mit 2021 (Hintemann, Graß, Hinterholzer, & Grothey, 2022), * 2021 nicht befragt.

Abbildung 12: Expertenbefragung: Wichtigkeit der unterschiedlichen Standortfaktoren (links) und Deutschland im internationalen Vergleich (rechts)

Expertinnen und Experten: Deutschland ist weiterhin top bei wichtigen Standortfaktoren

Für die Wahl eines Standorts zur Ansiedlung von Rechenzentren spielen zahlreiche Faktoren eine wichtige Rolle. Laut Expertinnen und Experten ist Deutschland hinsichtlich einiger entscheidender Standortfaktoren im internationalen Vergleich gut positioniert. Besonders die Zuverlässigkeit der Stromversorgung, die Anbindung an zentrale Internetknoten und der Datenschutz werden als Stärken des Standorts Deutschland hervorgehoben.

Kritische Punkte sind jedoch die hohen Strompreise, bürokratische Hürden in den Genehmigungsprozessen sowie strikte regulatorische Vorgaben, die international häufig als nachteilig bewertet werden.

Ein Vergleich der jüngsten Befragungsergebnisse mit Untersuchungen aus den Jahren 2021 zeigt, dass trotz der Abschaffung der EEG-Umlage die Bedeutung der Strompreise als Standortfaktor weiter zugenommen hat.

3.2 Rechenzentren und Arbeitsmarkt

Rechenzentren als Arbeitgeber

Rechenzentren sichern mehr als 200.000 Arbeitsplätze in Deutschland

Rechenzentren spielen eine zentrale Rolle für den Arbeitsmarkt in Deutschland, sowohl durch direkte als auch indirekte Beschäftigungseffekte. In der Wirtschaftsregion EMEA arbeiten aktuell 640.000 Menschen in Rechenzentren (Vollzeitäquivalente), z. B. in den Bereichen Geschäftsentwicklung, Operations, IT Administration, Netzwerk und Konnektivität, Facility Management, etc. (Uptime Institute Intelligence, 2021). In Deutschland sind 130.000 Mitarbeitende in Rechenzentren beschäftigt. Allein die befragten RZ-Betreiber beschäftigen in ihren Rechenzentren über 47.000 Personen. Auch die rund 50.000 kleineren IT-Installationen in Deutschland sichern eine große Zahl an Arbeitsplätzen.

Darüber hinaus sind etwa 80.000 Beschäftigte indirekt von Rechenzentren abhängig, beispielsweise in Bereichen wie Zulieferung und Dienstleistungen. Trotz des wachsenden Bedarfs an Rechenzentren und der steigenden Nachfrage nach digitaler Infrastruktur, wird der Ausbau der Beschäftigtenzahlen durch einen Mangel an Fachkräften begrenzt.

Die Anzahl der Beschäftigten in Rechenzentren variiert stark je nach Geschäftsmodell und Art des Rechenzentrums. In Colocation- und Hyperscale-Cloud-RZ ist der direkte Personalbedarf in der Regel gering. Im Gegensatz dazu weisen Managed-Service-Anbieter, regionale Cloud-Anbieter und On-Premise-RZ, die spezifische, oftmals individualisierte IT-Dienstleistungen anbieten, prozentual höhere Beschäftigtenzahlen auf. Diese Modelle bieten weitergehende Services und erfordern intensivere, oft maßgeschneiderte Betreuung und IT-Kompetenzen und damit eine größere Zahl von Fachkräften im Vergleich zu rein infrastrukturbasierten Rechenzentren.

3.3 Regionale Wirkungen und Spill-over-Effekte von Rechenzentren

Investitionen in Rechenzentren wirken sich positiv auf die Wirtschaft aus

Regionale Wirkungen

Die Ansiedlung von Rechenzentren hat erhebliche lokale und regionale Wirkungen, die sich in ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Hinsicht bemerkbar machen (siehe z. B. Copenhagen Economics, 2018; Dutch Data Center Association, 2023, 2023; Oxford Economics, 2022; U.S. Chamber of Commerce, 2017; Zhang, 2022). Die Investitionen in den Bau und die Ausrüstung von Rechenzentren sowie der Ausbau von Datennetzen führen häufig zu spürbaren wirtschaftlichen Effekten in den Regionen. Insbesondere die Bauwirtschaft profitiert von den umfangreichen Baumaßnahmen, während sich die Nachfrage entlang der Lieferkette positiv auf Unternehmen auswirkt, die spezialisierte Dienstleistungen für Rechenzentren anbieten. Viele RZ-Betreiber engagieren sich auch lokal und regional, indem sie Bildungsinitiativen fördern oder Innovationsprojekte unterstützen.

Ein weiterer Aspekt ist das Potenzial von Rechenzentren, zur Dekarbonisierung der lokalen Wärmeversorgung beizutragen. Die bei der Datenverarbeitung entstehende Abwärme kann beispielsweise zur Beheizung von Wohngebieten oder öffentlichen Einrichtungen genutzt werden. Diese Möglich-

keit bietet einen innovativen Ansatz zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und unterstützt regionale Klimaziele.

Ein konkretes Beispiel für diese umfassenden Wirkungen ist das Rheinische Revier. Nach der Ankündigung des Engagements von Microsoft erlebt die Region einen deutlichen Aufschwung. So ist dort die Errichtung eines neuen Digital-Parks geplant. Begleitet wird das Microsoftinvestment von umfangreichen Schulungsmaßnahmen, die die digitale Kompetenz der lokalen Bevölkerung erhöhen. Die Ansiedlung eines Rechenzentrums hat darüber hinaus eine Sogwirkung für weitere Investitionen, da die Region durch die Verbesserung der digitalen Infrastruktur und das wachsende Innovationsökosystem für andere Unternehmen der Digitalbranche und auch aus anderen Sektoren attraktiver wird. Im Rheinischen Revier können solche Investitionen erheblich zum Strukturwandel in der ehemaligen Braunkohleregion beitragen und eine nachhaltige wirtschaftliche Neuausrichtung fördern.

Spill-over-Effekte

Rechenzentren sind eine notwendige digitale Infrastruktur für die digitale Transformation und die Nutzung von KI in Europa und Deutschland. Zu nennen sind hier insbesondere die Themen Datensouveränität und geopolitische Sicherheit, Aufbau und Erhalt von Kompetenzen im Bereich IT- und Rechenzentrumsbetrieb, Erhalt von Absatzmärkten für nationale Technologielieferanten und Dienstleister. Auch können

latenzkritische Dienste z. B. im Bereich Industrie 4.0, Medizin, autonomes Fahren oder Smart Cities nicht ohne Qualitätsverlust aus weiter entfernten Standorten angeboten werden. Leistungsstarke Europäische und deutsche Rechenzentren sind notwendig, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Anwenderbranchen zu gewährleisten.

Eine Studie von IW-Consult im Auftrag der Allianz zur Stärkung Digitaler Infrastrukturen in Deutschland hat Spill-over-Effekte des Betriebs von Rechenzentren in Deutschland quantifiziert. Zentrale Ergebnisse der Studie sind, dass die Investitionen in Rechenzentren ein sehr hohes wirtschaftliches Potenzial haben und zu einer zusätzlichen Wertschöpfung von 410 Mrd. € führen können, wenn Deutschland sein Investitionsniveau in digitale Infrastruktur auf das der USA hebt. Die Nutzung von Rechenzentren steigert die Produktivität und ermöglicht neue Geschäftsmodelle. Rechenzentren fördern die Nutzung von KI. Unternehmen, die Rechenzentren nutzen, erzielen signifikante Produktivitätssteigerungen, insbesondere durch den Einsatz von Cloud-Diensten. Die Innovationskraft von KI wirkt sich positiv auf den Umsatz und die Wettbewerbsfähigkeit aus. Rechenzentren haben auch außerhalb der eigenen Branche erhebliche Arbeitsmarkteffekte. 2024 sind etwa 5,9 Mio. Erwerbs-tätige auf Geschäftsmodelle angewiesen, die ohne Cloud-Technologie nicht existieren könnten. Das Wachstum der Cloud-Nutzung führt zu einem monatlichen Anstieg von 126.000 Erwerbstätigen (Goecke, Kempermann, Kestermann, Ewald, & van Baal, 2024).

3.4 Rechenzentren als Enabler für Nachhaltigkeit

Rechenzentren ermöglichen mehr Nachhaltigkeit in vielen Bereichen

Als Basisinfrastruktur der Digitalisierung sind Rechenzentren notwendig für die Twin Transition

Die Twin Transition, die die gleichzeitige digitale und ökologische Transformation unserer Gesellschaft beschreibt, ist untrennbar mit der Entwicklung und dem Betrieb von Rechenzentren verbunden. Rechenzentren sind weit mehr als energieintensive Infrastrukturen; sie sind die zentrale Basis der digitalen Transformation und ermöglichen weitreichende positive Effekte auf die Nachhaltigkeit. Während der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren oft im Vordergrund der öffentlichen Diskussion stehen, ist es ebenso wichtig, ihre Rolle als Enabler für nachhaltige Entwicklungen zu würdigen.

Ein wesentlicher Beitrag von Rechenzentren zur Twin Transition liegt in der Bereitstellung einer leistungsfähigen und widerstandsfähigen digitalen Infrastruktur. Diese Infrastruktur unterstützt insbesondere das Erreichen des Nachhaltigkeitsziels »Industrie, Innovation und Infrastruktur« der Vereinten Nationen. Ohne die Rechenkapazitäten, die Rechen-

zentren bieten, könnten zentrale technologische Fortschritte, die für eine nachhaltigere Welt notwendig sind, nicht umgesetzt werden. Dazu zählen digitale Technologien, die Wirtschaftsprozesse ressourcenschonender gestalten, die Verkehrssteuerung effizienter machen und die gesamte Gesellschaft nachhaltiger organisieren. Die Corona-Pandemie hat eindrucksvoll gezeigt, wie digitale Lösungen die Umweltbelastung verringern können, indem sie physische Mobilität durch digitale Kommunikation ersetzen und so Emissionen reduzieren.

Die Integration von Rechenzentren in nachhaltige Energiekonzepte kann dazu beitragen, die ökologische Transformation voranzubringen. Dies umfasst den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien, die Nutzung von Abwärme, die Einbindung von Rechenzentren und möglicher Flexibilitäten in Stromnetze und eine intelligente Einbindung in die Raumplanung. Ein solches ganzheitliches Konzept verbindet die Digitalisierung mit dem Klimaschutz und schafft Synergien, die den Übergang zu einer nachhaltigeren Gesellschaft unterstützen. Rechenzentren sind damit nicht nur Verbraucher, sondern aktive Treiber der Twin Transition, indem sie digitale Innovationen ermöglichen und gleichzeitig Potenziale für ökologische Verbesserungen eröffnen.

4 Chancen und Risiken im RZ-Markt/ Regulierung

In diesem Kapitel

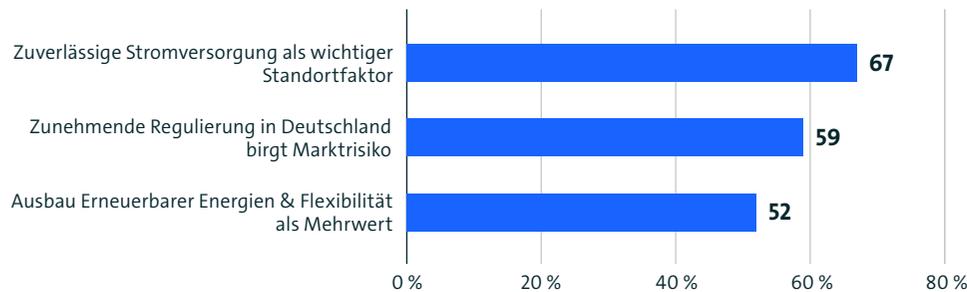
- Chancen und Risiken
- Herausforderungen für den Betrieb von Rechenzentren in Deutschland

Das Wichtigste in Kürze

- Angesichts des Wachstums der Branche wird die zuverlässige Stromversorgung in Deutschland als große Chance angesehen.
- Als ein Risiko für die weiteren Entwicklung des Marktes in Deutschland wird die zunehmende Regulierung der Branche angesehen. Im Detail werden insbesondere darauf hingewiesen, dass die Regelungen zur Abwärmennutzung und die Grenzwertvorgaben für die Energieverbrauchseffektivität (Power Usage Effectiveness – PUE) im Energieeffizienzgesetz hohe Herausforderungen für die Branche darstellen.
- Der in Deutschland betriebene Ausbau der Stromversorgungskapazitäten durch Erneuerbare Energien wird von der RZ-Branche als Chance wahrgenommen
- Aufgrund der steigenden Strombedarfe der Branche insbesondere für Großprojekte wird auch eine große Herausforderung darin gesehen, künftig ausreichend Stromanschlussleistungen für neue Rechenzentren zur Verfügung zu stellen. Mangelnde Stromnetzkapazitäten könnten das Wachstum der Branche erschweren.

4.1 Chancen und Risiken

Chancen und Risiken für den Rechenzentrumsmarkt in Deutschland



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024), n=113

Abbildung 13: Expertenbefragung: Bewertung der Chancen und Risiken

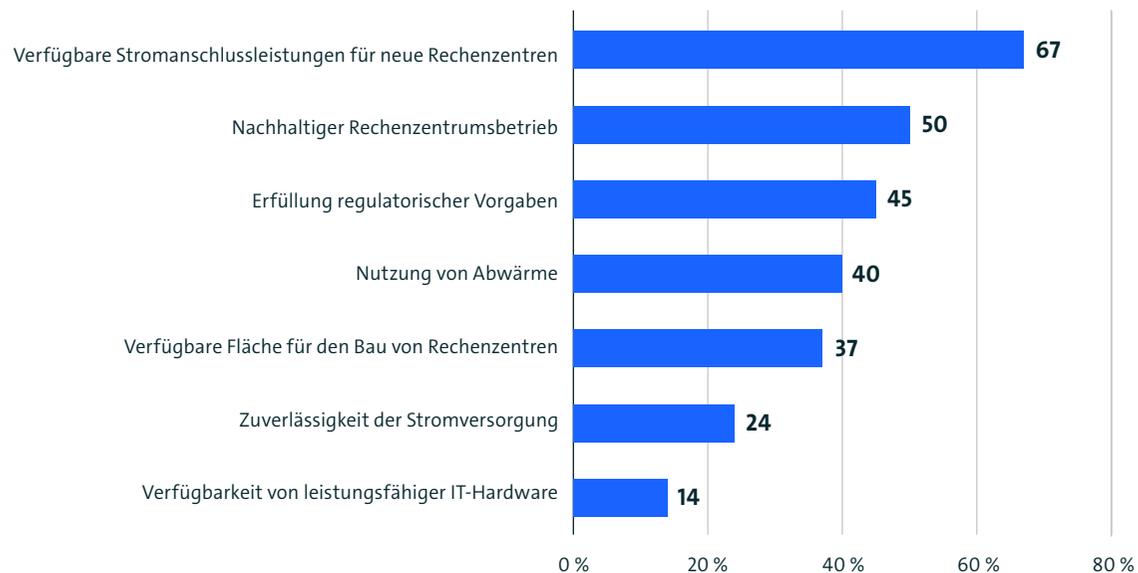
Zuverlässige Stromversorgung ist eine große Chance für den deutschen RZ-Markt

Die Ergebnisse der Befragung im Rahmen der Studie zeigen ein gemischtes Stimmungsbild unter den Teilnehmenden, die sowohl Chancen als auch Risiken für die zukünftige Marktentwicklung sehen. Eine zuverlässige Stromversorgung wird als entscheidender Faktor und bedeutende Chance für die Wettbewerbsfähigkeit und das Wachstum des Marktes in Deutschland gewertet. Auch die aktuelle Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik des Forums Netztechnik/Netzbetrieb im VDE bestätigt, dass die Stromversorgung in Deutschland zu einer der stabilsten der Welt zählt (VDE, 2024).

Die zunehmende staatliche Regulierung der Branche wird dagegen mit Skepsis betrachtet, hier werden vorrangig Risiken gesehen. Vor allem einige Regelungen im Energieeffizienzgesetz (EnEFG) werden kritisch gesehen (siehe auch Abbildung 15). Ein Teil der Befragten sieht aber auch Chancen, z. B. durch mögliche zusätzliche Kundenpotenziale für Colocation-Rechenzentren. IT-Betreiber, die bisher ihre Gebäude auch selbst betrieben haben, könnten aufgrund der Regelungen zur PUE-Werten und Abwärmenutzung künftig lieber auf das Angebot von Colocation-Rechenzentren zurückgreifen. Der Ausbau Erneuerbarer Energien wird überwiegend positiv beurteilt und als wesentlicher Mehrwert für die Zukunft des Rechenzentrumsmarktes betrachtet.

4.2 Herausforderungen für den Betrieb von Rechenzentren in Deutschland

Zukünftige Herausforderungen für Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 119

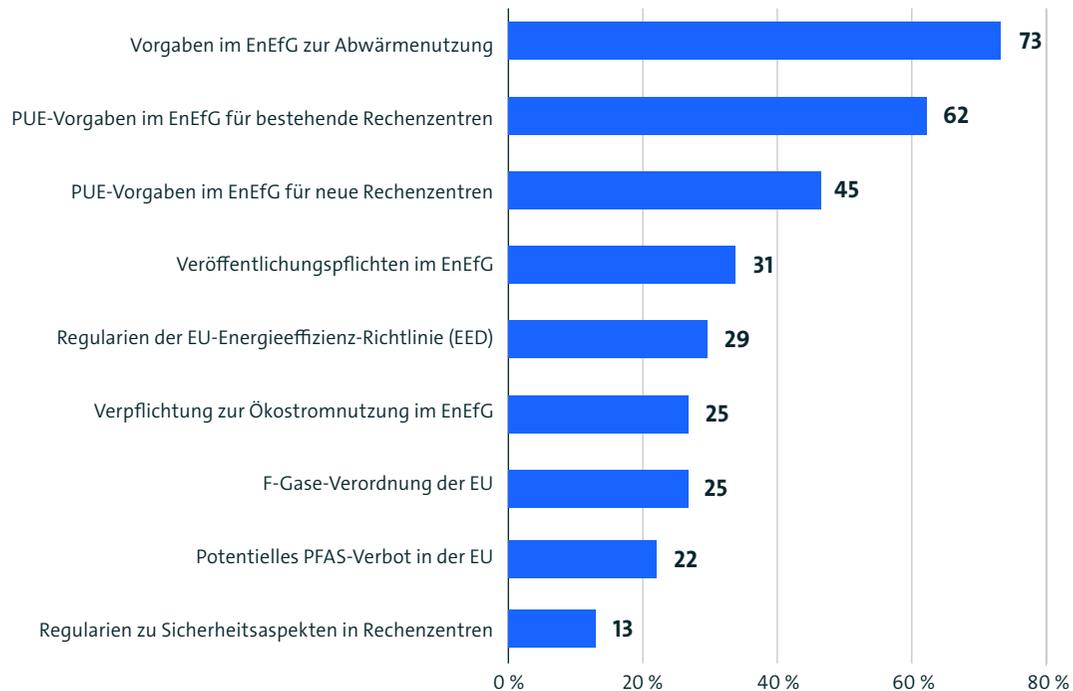
Abbildung 14: Expertenbefragung: Bewertung der größten Herausforderungen für den Betrieb und Ausbau von Rechenzentren (Max. 3 Antworten möglich)

Zentrale Herausforderungen für Rechenzentren: Strom, Nachhaltigkeit und Regulierung

In der durchgeführten Expertenbefragung waren zwei Drittel der Befragten der Ansicht, dass die begrenzte Verfügbarkeit von Stromanschlussleistungen eine große Herausforderung für den Betrieb und den Ausbau der Rechenzentren in Deutschland ist. Angesichts des steigenden Bedarfs an Rechenleistung stellt die Sicherstellung ausreichender Energieinfrastruktur eine wesentliche Hürde dar. Mangelnde Kapazitäten in Stromnetz könnten das weitere Wachstum der RZ-Branche und damit auch der Digitalbranche erschweren.

Neben der Energieversorgung wird auch ein nachhaltiger RZ-Betrieb von vielen Befragten (50 %) als Herausforderung gesehen. Weitere oft genannte Herausforderungen sind die Erfüllung regulatorischer Vorgaben und die Nutzung der Abwärme (siehe Kapitel 0).

Herausforderungen durch Regulatorische Vorgaben im Rechenzentrumsbetrieb



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 108

Abbildung 15: Expertenbefragung: Welche regulatorischen Vorgaben stellen aus Ihrer Sicht die größten Herausforderungen für den Rechenzentrumsbetrieb in Deutschland dar? (Max. 5 Antworten möglich)

EnEFG-Vorgaben: Hürden bei Abwärmenutzung und PUE für Rechenzentren

Die Befragungsergebnisse zu den regulatorischen Herausforderungen für den Rechenzentrumsbetrieb zeigen, dass insbesondere das Energieeffizienzgesetz (EnEFG) hohe Anforderungen stellt. Besonders die Regelungen zur Abwärmenutzung werden von 73 % der Befragten als große Herausforderung angesehen. Unter den Rechenzentrumsbetreibern stufen sogar 78 % die Vorgaben zur Abwärmenutzung als problematisch ein.

Auch die Anforderungen an die Power Usage Effectiveness (PUE) gemäß EnEFG stellen für viele Befragte (insgesamt 74 %) eine erhebliche Schwierigkeit dar. Insbesondere bei bestehenden Rechenzentren sind die Hürden hoch: 62 % der Befragten bewerten die PUE-Vorgaben für bestehende Anlagen als besonders anspruchsvoll. In den zusätzlich durchgeführten Interviews wurde betont, dass diese Anforderungen für ältere Rechenzentren oft nicht erfüllbar sind.

Hinweis: 74 % der Befragten sehen in den PUE-Vorgaben für bestehende oder neue Rechenzentren eine hohe Herausforderung.

5 Markt- und Technologietrends bei Rechenzentren

In diesem Kapitel

- Konzepte für RZ- und IT-Betrieb
- Auswirkungen von Künstliche Intelligenz auf Rechenzentren
- Trends im Bereich der Gebäudetechnik
- Trends im Bereich der IT-Technik

Das Wichtigste in Kürze

- Der Megatrend KI hat sehr deutliche Auswirkungen auf die Rechenzentrumsbranche. Aktuell werden ca. 15 % der RZ-Kapazitäten in Deutschland für High-Performance-Computing (HPC) und KI genutzt. Bis zum Jahr 2030 wird dieser Anteil voraussichtlich auf 40 % steigen.
- Der KI-Boom wird voraussichtlich das Wachstum der Branche weiter fördern und insbesondere zu mehr großen Rechenzentren führen, die von Hyperscalern genutzt werden.
- Da leistungsstarke Hardware, die für KI genutzt wird, einen hohen Strombedarf hat, wird erwartet, dass durch die KI-Nutzung der Stromverbrauch der Rechenzentren in Zukunft deutlich steigen wird.
- Die zunehmende Nutzung von KI wird auch die Leistungsdichte in den Rechenzentren weiter erhöhen, Leistungsaufnahmen von 100 kW pro Rack und mehr werden erwartet.
- Neben dem Trend zu mehr großen Rechenzentren ist auch zu erwarten, dass zunehmend Edge-Rechenzentren aufgebaut werden. Auch hier kann KI einer der Treiber sein.
- Cloud Computing wird sich weiterhin als das dominierende Bereitstellungsmodell etablieren. Eine wachsende Bedeutung wird insbesondere Hybrid-Cloud-Lösungen beigemessen.
- Die Bedeutung von On-Premise wird voraussichtlich leicht zurückgehen. On-Premise bleibt aber ein wichtiges Bereitstellungsmodell für viele IT-Anwender.
- Bei den Technologien zur Kühlung wird davon ausgegangen, dass sich Lösungen, die Flüssigkeiten als Medium zum Wärmetransport nutzen, wie Direct Liquid Cooling, Immersionskühlung oder auch Backdoor-Kühlungen zunehmend für Racks mit hohen Leistungsdichten durchsetzen.
- Im Bereich der Stromversorgung werden die Lösungen an den steigenden Leistungsbedarf angepasst. Lithium-Ionen-Batterien werden zunehmend eingesetzt. Erste Projekte mit Brennstoffzellen werden realisiert.
- Die Entwicklung der IT-Hardware führt insbesondere zu höheren Leistungsdichten. Neben den sehr hohen Leistungsdichten für speziell auf KI-Anwendungen ausgelegte Hardware, nehmen auch die Leistungsdichten bei Cloud-Systemen zu. Traditionelle Workloads werden in absehbarer Zukunft auch weiterhin mit geringeren Leistungsdichten möglich sein, so dass diese Systeme luftgekühlt werden können.

5.1 Konzepte für RZ- und IT-Betrieb

Trends im Bereich Rechenzentrums-Konzepte

Große Rechenzentren wachsen weiter – Edge Rechenzentren gewinnen auch an Bedeutung

Die Entwicklung moderner RZ-Konzepte zeigt eine zunehmende Diversifizierung in Größe und Bauweise. Vor allem Großprojekte für Rechenzentren nehmen weltweit zu, und Campusgrößen erreichen heute Leistungen von 500 MW und mehr, was die Anforderungen an die Energieversorgung erheblich erhöht. Im Bereich der Colocation-Rechenzentren gewinnt das Wholesale-Geschäft zunehmend an Bedeutung; Kunden wie Hyperscaler, andere Cloud-Anbieter oder auch große Unternehmen nutzen bevorzugt umfassende Kapazitäten in angemieteten Rechenzentren.

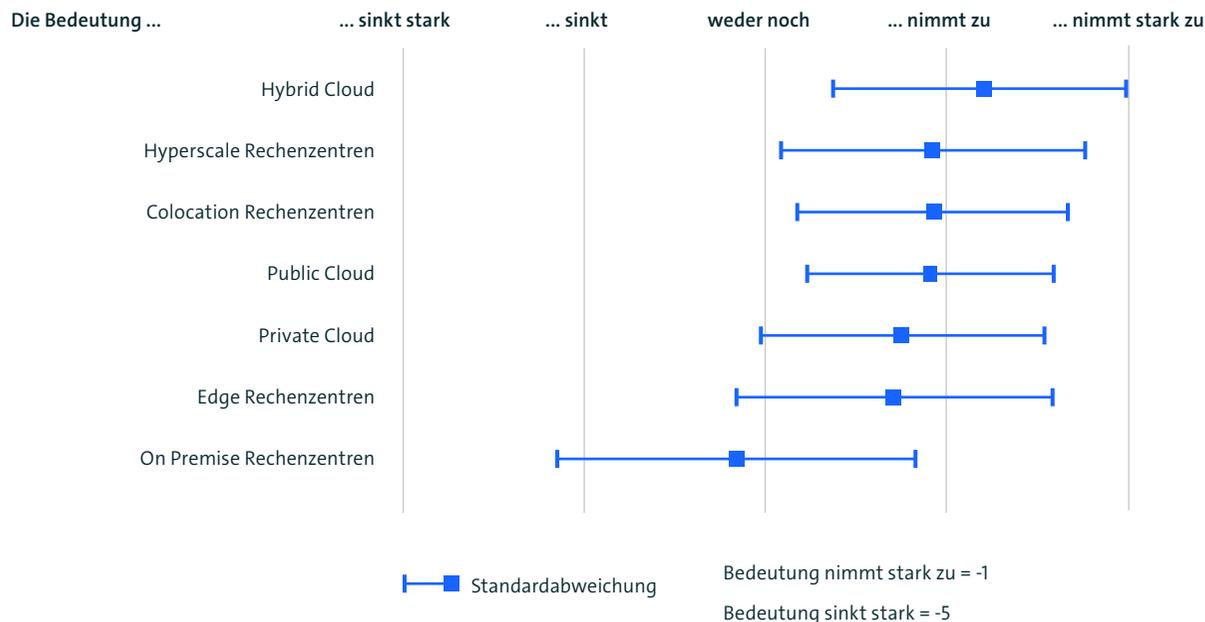
Die Bedeutung verschiedener Cloud-Modelle als Bereitstellungskonzepte in Rechenzentren unterstützt den Trend zu großen Rechenzentren. Public-Cloud-Lösungen sind vor allem für Anwendungen mit hoher Standardisierung und geringen Anforderungen an Datenschutz beliebt. Bei höheren Datenschutzerfordernungen und geschäftskritischen Anwendungen werden zunehmend Hybrid- und Multi-Cloud-Modelle eingesetzt. Private Clouds hingegen finden insbesondere Anwendung in hochsensiblen Branchen wie dem Finanz- oder Gesundheitssektor, in denen strenge Sicherheits- und Compliance-Anforderungen bestehen.

Parallel zur Entwicklung von Großprojekten gewinnen kleinere RZ-Konzepte wie modulare Rechenzentren, Edge-Rechenzentren und spezialisierte KI-Cluster zunehmend an Bedeutung. Diese Lösungen bieten flexible und dezentrale Möglichkeiten, um den steigenden Anforderungen an Datenverarbeitung und -speicherung in unmittelbarer Nähe zu den Nutzern gerecht zu werden. Hinsichtlich der begrifflichen Abgrenzung von Edge-Rechenzentren existiert eine Vielfalt an Ansätzen im Markt und in der Literatur. In einer sehr weiten Definition gelten alle On-Premise-Rechenzentren als Edge-Rechenzentren. Teilweise werden auch alle »Nicht-Core-Rechenzentren« als Edge-Rechenzentren betrachtet. In der vorliegenden Studie wird eine sehr enge Definition von Edge-Rechenzentren verwendet. Als Edge-Rechenzentren werden nur solche Rechenzentren betrachtet, die zusätzlich direkt an der Anwendung aufgebaut werden, wie z. B. im Rahmen der industriellen Produktion, von Smart Citys oder beim autonomen Fahren. Rechenzentren, die On-Premise betrieben werden, aber ohne Einbußen z. B. auch auf entfernte Colocation-Rechenzentren übertragen werden können, sind demnach keine Edge-Rechenzentren. Ebenso werden größere Rechenzentren, die ganze Regionen mit Rechenleistung versorgen, nicht als Edge-Rechenzentren aufgefasst.

Während in Deutschland Standardbauweisen für Rechenzentren bisher selten Anwendung finden, werden sie international, besonders bei Hyperscalern, zunehmend eingesetzt. Auch große Colocation-Anbieter nutzen oft standardisierte

Bauweisen, um Bauzeiten und Kosten zu optimieren und die schnelle Skalierung von Kapazitäten zu ermöglichen.

Cloud-Lösungen als dominierendes Bereitstellungsmodell



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 118

Abbildung 16: Expertenbefragung: Wie entwickelt sich die Bedeutung der folgenden RZ-Konzepte/Bereitstellungsmodelle bis zum Jahr 2025 in Deutschland?

Wachstumstrends: Cloud-, Colocation- und Edge-Rechenzentren

Die Ergebnisse der Expertenbefragung spiegeln auch den klaren Trend zur zunehmenden Bedeutung verschiedener Cloud-Konzepte wider. Neben den Cloud-Ansätzen gewinnen auch Colocation-Rechenzentren an Marktstärke, da viele Unternehmen die Vorteile geteilter Infrastrukturstandorte für eine kosteneffiziente und sichere IT-Bereitstellung schätzen.

Zudem zeichnet sich ein deutlicher Anstieg im Bereich der Edge-Rechenzentren ab. Die dezentrale Bereitstellung von Rechenleistung ermöglicht eine Verarbeitung nahe am Entstehungsort der Daten und reduziert die Latenzzeiten, was besonders für Anwendungen mit hohen Echtzeitanforderungen wichtig ist. Es wird auch ein Trend gesehen, Edge-Rechenzentren für KI-Anwendungen aufzubauen (Edge-AI). Somit könnte auch die zunehmende Nutzung von KI den Trend zu mehr Edge-Rechenzentren unterstützen.

On-Premise-Rechenzentren hingegen verlieren relativ an Bedeutung im Vergleich zu Cloud-, Colocation- und Edge-Lösungen. Wie die Befragung der Rechenzentren zeigt, ist dennoch festzustellen, dass zumindest mittelfristig die IT-Anschlussleistung bei On-Premise-Rechenzentren in absoluten Zahlen wieder leicht zunehmen wird.

5.2 Auswirkungen von Künstliche Intelligenz auf Rechenzentren

Bedeutung von Künstlicher Intelligenz

Künstliche Intelligenz treibt das Wachstum der RZ-Kapazitäten

Die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) stellt einen entscheidenden Faktor für die wachsende Nachfrage nach RZ-Kapazitäten dar. Derzeit werden weltweit etwa 15 % der RZ-Kapazitäten für KI und High-Performance-Computing (HPC) eingesetzt. Auch in Deutschland werden 15 % der RZ-Kapazitäten für KI und HPC genutzt. Dies ist insbesondere durch den hohen Anteil von Forschungsrechenzentren begründet. Im Bereich von KI-Hardware, die insbesondere für Deep Learning und Large Language Models genutzt wird, wird aktuell in anderen Weltregionen deutlich mehr investiert.

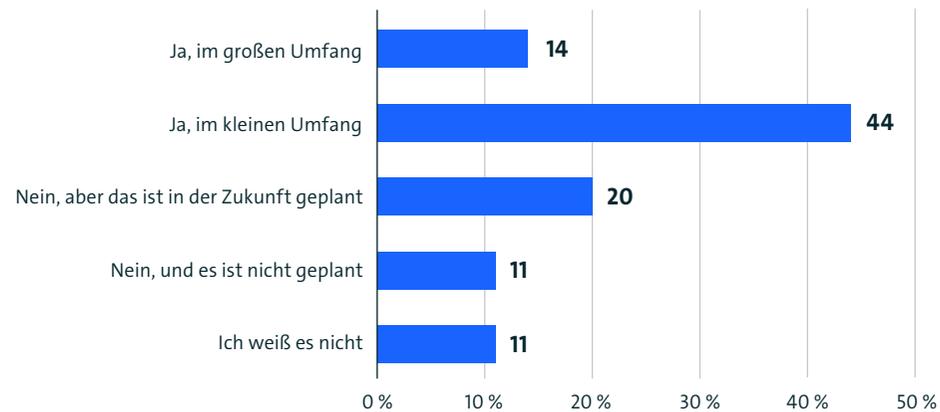
In Bezug auf die Elemente Modellbildung, Training und Anwendung von KI prognostizieren die befragten Expertinnen und Experten, dass vor allem für die Modellbildung und Anwendung von KI in deutschen Rechenzentren Kapazitäten benötigt werden. Für das Training kleinerer KI-Modelle sind ebenfalls Ressourcen in Deutschland erforderlich, während das Training sehr großer Modelle zunehmend außerhalb Deutschlands, beispielsweise in den USA oder China, stattfin-

den dürfte. Im Vergleich zu diesen Ländern investiert Europa insgesamt weniger in spezialisierte KI-Hardware. So werden aktuell insbesondere in den USA viele sehr große Rechenzentren speziell für KI-Anwendungen aufgebaut – hier sind Größenordnungen von bis zu 1 Gigawatt IT-Anschlussleistung im Gespräch (Gerrard, 2024; Miller, 2024b; Vincent, 2024). Beispielhaft sei der xAI Supercomputer Colossus genannt, in dem bereits jetzt 100.000 Nvidia-GPUS (H100) installiert sind und der damit als der leistungsstärkste Supercomputer der Welt gilt. Die Zahl der GPUs soll in den nächsten Monaten noch verdoppelt werden (Mantel, 2024).

Wie schnell und wie stark die zunehmende Anwendung von KI das Rechenzentrumswachstum beeinflussen wird, ist aktuell nur schwer absehbar. Eine Studie geht bereits heute davon aus, dass KI-Anwendungen den Strombedarf der Rechenzentren in den USA verdoppelt haben (Miller, 2024a).

Angesichts der aktuellen Entwicklungen wird erwartet, dass auch in Deutschland deutlich mehr IT-Hardware für KI und HPC eingesetzt wird. Bis 2030 erscheint ein Anteil von 40 % an den RZ-Kapazitäten und damit auch am Stromverbrauch der Rechenzentren realistisch.

Nutzung von Hardware für KI-Anwendungen in Rechenzentren



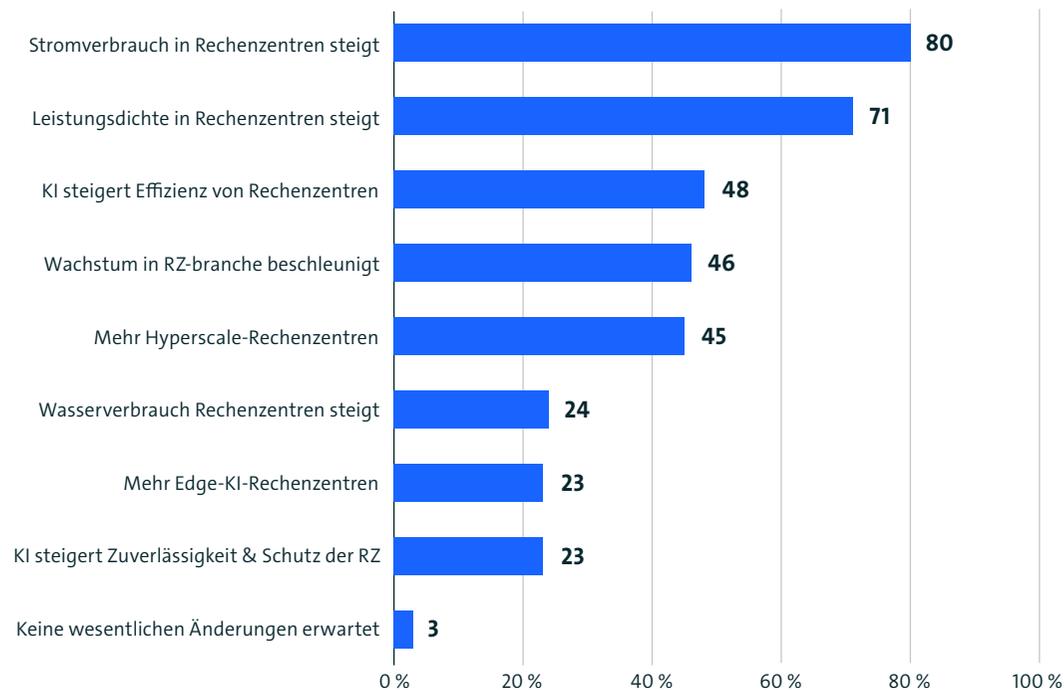
Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 82

Abbildung 17: Expertenbefragung: Wird in Ihrem Rechenzentrum spezielle Hardware für KI-Anwendungen betrieben (z. B. GPUs, TPUs, FPGAs, ASICs) genutzt? (Max. 5 Antworten möglich)

KI-Hardware in Rechenzentren: Aktuelle Nutzung und Zukunftserwartungen

Die Befragung der RZ-Betreiber zeigt, dass spezialisierte Hardware für Künstliche Intelligenz (KI)-Anwendungen bereits in knapp 60 % der Rechenzentren zum Einsatz kommt. Darüber hinaus geben weitere 20 % der Befragten an, dass sie den Einsatz solcher KI-Hardware in naher Zukunft planen. Lediglich eine kleine Minderheit der Rechenzentren sieht derzeit keine Notwendigkeit für die Implementierung spezieller Hardware zur Unterstützung von KI-Anwendungen.

Auswirkungen von KI auf Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 123

Abbildung 18: Expertenbefragung: Welche Auswirkungen könnte Ihrer Meinung nach der verstärkte Einsatz von KI-Anwendungen auf Rechenzentren in Deutschland haben? (Mehrfachantworten möglich)

Einfluss der KI auf Leistungsdichte und Effizienz in Rechenzentren

Die befragten Expertinnen und Experten gehen mehrheitlich davon aus, dass der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) zu einer deutlichen Steigerung der Leistungsdichte in Rechenzentren führt (71 %) und damit gleichzeitig mit einem Anstieg des Stromverbrauchs einhergeht (80 %). Pro Rack werden Leistungsaufnahmen von über 100 kW erwartet – teilweise auch noch deutlich höhere Werte.

Ein großer Teil der befragten Fachleute erwartet zudem, dass KI die Effizienz von Rechenzentren verbessert (48 %) und das Wachstum der Branche beschleunigt (46 %). 45 % der Befragten geht davon aus, dass die verstärkte Nutzung von KI insbesondere zu einer steigenden Anzahl von Hyperscale-Rechenzentren führen wird.

5.3 Trends im Bereich der Gebäudetechnik

Trends im Bereich Kühlung

Neue Kühltechnologien erhöhen die Effizienz

In deutschen Rechenzentren wird der Einsatz von Wasser- und Flüssigkeitskühlungen zunehmend an Bedeutung gewinnen, insbesondere im Hinblick auf die Einhaltung der PUE-Vorgaben (Power Usage Effectiveness) im neuen Energieeffizienzgesetz. Die befragten Expertinnen und Experten gehen davon aus, dass der Einsatz verschiedene Ansätze des »Liquid Cooling«, wie etwa Immersionskühlung und Direkte Chip Kühlung, insbesondere bei Systemen mit hoher Leistungsdichte deutlich an Bedeutung gewinnen wird. Auch wassergekühlte Racks – etwa in Form von Rückseitenkühlungen (»Backdoor-Cooling«) – kommen zunehmend zum Einsatz, um hohe Wärmeleistungen effizient aus den Rechenzentren abzuführen.

Trotz des Anstiegs der Nutzung von Flüssigkeitskühlsystemen werden klassisch über Luft gekühlte Racks auch weiterhin in vielen Rechenzentren anzutreffen sein. Abseits von Rechner-systemen mit hoher Leistungsdichte werden auch in Zukunft IT-Systeme für Anwendung mit geringeren Anforderungen an die Performanz genutzt. Bei solchen Systemen wird die Leistung pro Rack auch in Zukunft im einstelligen Kilowatt-Bereich liegen, so dass sie voraussichtlich weiter mit Luft

gekühlt werden. Es ist allerdings ein Trend festzustellen, dass die klassische Luftzuführung über Doppelböden in Rechen-zentren an Bedeutung verliert. Dies führt dazu, dass die Höhe der Doppelböden in modernen Rechenzentren zunehmend reduziert wird.

Eine weitere Kühltechnologie, die voraussichtlich in Zukunft in Deutschland mehr Bedeutung gewinnen wird, ist die Verdunstungskühlung (Adiabate Kühlung). Diese Technologie spart Energie, geht jedoch mit einem erhöhten Wasserbedarf einher. Bislang wird Verdunstungskühlung etwa in einem Drittel der großen Rechenzentren in Deutschland eingesetzt. Expertinnen und Experten gehen davon aus, dass die Nutzung von Verdunstungskühlung zunehmen wird, um niedrige PUE-Vorgaben einhalten zu können.

Trends im Bereich Stromversorgung

Steigender Strombedarf führt zu neuen Konzepten

Die steigenden Leistungsdichten in Rechenzentren erfordern eine Anpassung der Stromversorgungskonzepte.

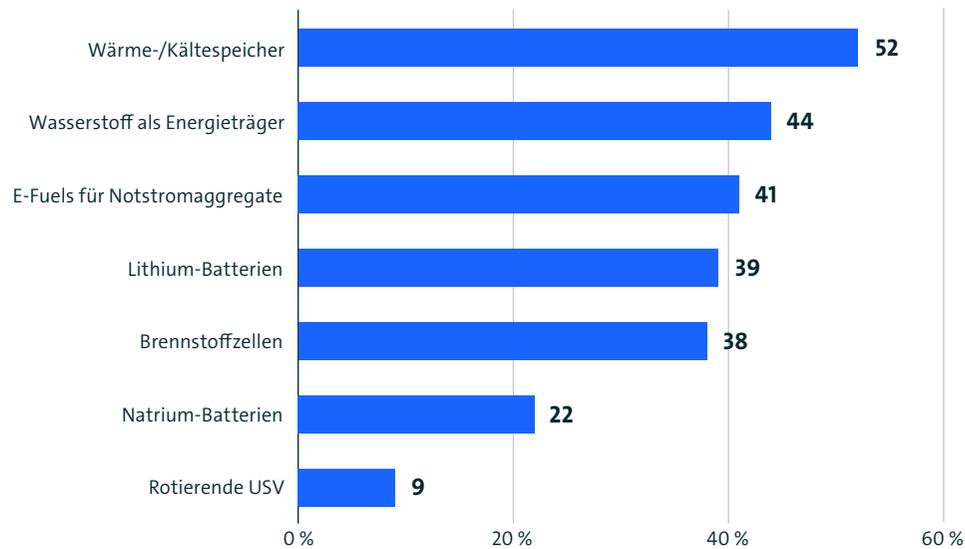
Um Effizienz und Kosten zu optimieren, werden derzeit Notstromkonzepte neu bewertet, wobei der Fokus auf der Reduzierung der Anforderungsdauer (weniger Betriebsstunden) und einer vermehrten Standortredundanz liegt. Auch Alternativen zu den bisher häufig eingesetzten Notstromdieseln wie Brennstoffzellen gewinnen zunehmend an Bedeutung und werden in ersten Projekten eingesetzt.

Bei den in Rechenzentren eingesetzten Batterien gewinnen Lithium-Ionen-Batterien an Bedeutung. Sie werden aber die etablierten Bleibatterien voraussichtlich nicht vollständig ablösen, sondern diese in naher Zukunft ergänzen.

Zusätzlich wird verstärkt diskutiert, wie Rechenzentren flexibler auf das schwankende Stromangebot reagieren können. Hierbei kommen Ansätze wie Kältespeicher oder die Nutzung von Batterien und Notstromaggregaten zur Flexibilitätssteigerung sowie zur Lastverschiebung ins Spiel. Bislang werden solche Ansätze jedoch nur selten umgesetzt, auch wenn fast die Hälfte der befragten Rechenzentren (46 %) schon einmal in Erwägung gezogen hat, aktiv am Strommarkt teilzunehmen.

Alternative Energiequellen zum Stromnetz wie eigene Gaskraftwerke, Brennstoffzellen oder Photovoltaikanlagen auf dem Gelände der Rechenzentren gewinnen ebenfalls an Relevanz. Der Einsatz von Gaskraftwerken auf dem Grundstück der Rechenzentren, um unabhängiger vom Stromnetz zu machen, wird in Irland bereits verfolgt (Judge, 2023). Insbesondere in den USA wird in diesem Zusammenhang auch der Einsatz von Kernenergie zunehmend in Betracht gezogen (Gerrard, 2024; Hermann, 2024; Spiegel, 2024; Tagesschau.de, 2024).

Technologietrends in der Energieversorgung von Rechenzentren



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 110

Abbildung 19: Expertenbefragung: Welche Technologien werden sich in den nächsten 10 Jahren voraussichtlich verstärkt durchsetzen?

Zukunftstechnologien für Rechenzentren: Wärme/Kältespeicher und alternative Energien

Die Ergebnisse der Expertenbefragung zeigen, dass insbesondere Wärme- und Kältespeicher als vielversprechende Optionen eingeschätzt werden, um die Energieeffizienz von Rechenzentren zu erhöhen und die Flexibilität zu erhöhen.

Neben solche Speicherlösungen wird auch anderen Energieträgern und -speichern wie Wasserstoff, E-Fuels für Notstromaggregate, Lithium-Batterien und Brennstoffzellen ein Potenzial eingeräumt, sich in den Rechenzentren der Zukunft vermehrt durchzusetzen.

5.4 Trends im Bereich IT-Technik

Trends im Bereich Server

Steigerung der Performance geht auch mit höherer Stromaufnahme einher

Server-CPU's haben erhebliche Leistungs- und Effizienzsteigerungen erfahren, wobei x86-Prozessoren von Intel und AMD mit immer mehr Kernen weit verbreitet sind. Für die komplexen Matrixoperationen, die in neuronalen Netzen (KI) benötigt werden, haben sich spezielle GPU's (mit sogenannten Tensor-Cores) etabliert, zum Teil werden aber auch spezielle Chips (z. B. TPU's) von Cloud-Unternehmen speziell hergestellt. Auch die Hersteller von General Purpose CPU's (x86) versuchen an diesem Marktsegment zu partizipieren, indem sie zumindest einige ihrer Chips besser für Matrixoperationen optimieren. Im Bereich Krypto-Mining spielen ASICs eine sehr wichtige Rolle, die ebenfalls extrem hohe Leistungssteigerungen erfahren haben.

Die Leistungssteigerungen wurden aber nicht nur durch Miniaturisierung und effizientere Schaltungen erreicht, sondern auch dadurch, dass die Chips sowohl in der Größe als auch in der Leistungsaufnahme gewachsen sind, was sich auch massiv auf den Stromverbrauch von Servern auswirkt.

Während in bestehenden Rechenzentren die Leistungsdichte durch die vorhandene Infrastruktur oft auf wenige kW pro m² begrenzt ist, werden zunehmend HPC/KI-Rechenzentren mit einer Leistungsdichte von mehr als 50 kW/m² gebaut. Dementsprechend werden von den Herstellern auch häufiger Flüssigkeitskühlsysteme für Server angeboten.

Arbeitsspeicher und lokaler Storage (im Server): Die Arbeitsspeicherkapazitäten von Servern sind durch die breite Einführung von DDR4- und DDR5-DIMMs mit hoher Speicherdichte deutlich gestiegen. All-Flash-Speicherlösungen haben sich vielerorts durchgesetzt und werden durch HDDs mit hoher Kapazität und neue Technologien wie NVMe und Optane ergänzt.

Virtualisierung und Containerisierung: Virtualisierung ist weiterhin allgegenwärtig und ermöglicht eine flexible Zuweisung und Nutzung von Ressourcen. Auch die Containerisierung mit Plattformen wie Docker und Kubernetes hat sich für moderne, skalierbare Anwendungsimplementierungen durchgesetzt.

Trends im Bereich Speichersysteme

Datenvolumen in Rechenzentren wachsen sehr deutlich

In den letzten Jahren hat das Speichervolumen in Rechenzentren weltweit erheblich zugenommen, bedingt durch das Wachstum datenintensiver Anwendungen und Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Internet der Dinge (IoT) und Cloud-Computing. Analysten gehen davon aus, dass sich das weltweite Speichervolumen in Rechenzentren mit einer jährlichen Wachstumsrate von 18,5 % von 10,1 Zettabyte im Jahr 2023 auf 21 Zettabyte im Jahr 2027 erhöhen wird (Steele, 2024).

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Speichersysteme in Rechenzentren konzentrieren sich auf die Verbesserung von Geschwindigkeit, Energieeffizienz und Speicherplatzoptimierung. Solid-State-Drives (SSDs) haben sich in den letzten Jahren aufgrund ihrer hohen Lese- und Schreibgeschwindigkeiten und geringeren Latenzzeiten zunehmend als Standard für Performanzkritische Anwendungen etabliert. SSDs sind vor allem für den Einsatz in Anwendungen geeignet, die eine

schnelle Datenverarbeitung erfordern, wie etwa Datenanalysen, maschinelles Lernen und Echtzeit-Datenverarbeitung.

Rotierende Festplatten (HDDs) werden hingegen weiterhin für den Einsatz in kostensensitiven und kapazitätsintensiven Anwendungen bevorzugt, beispielsweise für Archivierung und Backup. HDDs sind im Vergleich zu SSDs kostengünstiger und eignen sich daher für die Speicherung großer Datenmengen, bei denen die Zugriffsgeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Integration beider Speichermedien in hybriden Speichersystemen ermöglicht es Rechenzentren, sowohl Leistung als auch Kosten zu optimieren. Die Kombination von SSDs für häufig genutzte Daten und HDDs für langfristige Datenspeicherung bietet eine flexible und skalierbare Lösung, um den steigenden Anforderungen an Rechenzentren gerecht zu werden.

Trends im Bereich Netzwerktechnik

Optische Systeme weiter auf dem Vormarsch

Aktuelle Entwicklungen in der Netzwerktechnik von Rechenzentren zeichnen sich durch innovative Technologien zur Bewältigung steigender Bandbreitenanforderungen und der Reduzierung von Energieverbrauch aus. Ein bedeutender Trend ist der verstärkte Einsatz von All Optical Networking (AON). Hierbei werden die elektrischen Switches im Backbone zunehmend durch optische Switches ersetzt. Optische Switches ermöglichen eine effizientere und schnellere Datenübertragung und bieten eine nachhaltigere Lösung für die steigenden Anforderungen an Rechenzentren.

Ein weiteres innovatives Element ist der Einsatz von Hollow Fiber Netzwerken. Diese werden verstärkt in den Übergabebereichen der Carrier sowie in speziellen Anwendungsfeldern wie dem Internet der Dinge (IoT) und im Healthcare-Bereich genutzt. Hollow Fiber haben gegenüber herkömmlichen Glasfasern ohne Hohlraum den Vorteil, dass es geringere Wechselwirkung des Lichtes mit dem Fasermaterial gibt, wodurch in einigen Spektralbereichen die Dämpfung niedriger ist.

6 Rechenzentren und Nachhaltigkeit

In diesem Kapitel

- Bedeutung von Nachhaltigkeit für den Betrieb von Rechenzentren
- Energiebedarf und Treibhausgasemissionen
- Anforderungen des EnEfG
- Alternative Kältemittel in Rechenzentren

Das Wichtigste in Kürze

- Der nachhaltige Betrieb von Rechenzentren wird immer wichtiger, insbesondere da Kunden von Rechenzentren und IT-Dienstleistern entsprechende Anforderungen stellen.
- Der Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland ist auch 2024 trotz erhebliche Effizienzgewinne weiter angestiegen, da in allen Lebens- und Arbeitsbereichen zunehmend digitalisiert wird. Zwischen 2010 und 2024 ist der Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen um über 90 % auf knapp 20 Mrd. kWh im Jahr angestiegen.
- Die Zahl der CPU-Kerne, die in den Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland installiert sind, stieg im Zeitraum von 2010 bis 2024 um den Faktor 16 auf mehr als 160 Millionen.
- Die Effizienz der Gebäudetechnik hat sich deutlich verbessert. Zwischen 2010 und 2024 ist sie um 25 % angestiegen. Der durchschnittliche PUE-Wert in Deutschland lag im Jahr 2024 bei 1,46. Besonders effizient werden Forschungsrechenzentren betrieben. Ihr durchschnittlicher PUE-Wert lag im Jahr 2024 bei 1,14.
- Die durch den Stromverbrauch der Rechenzentren verursachten Treibhausgasemissionen sind aufgrund des zunehmenden Anteils Erneuerbarer Energien im deutschen Strommix rückläufig. Zwischen 2022 und 2024 sanken sie um 20 %.
- In der RZ-Branche sind Ökostromverträge sehr verbreitet. Zwei Drittel der befragten Rechenzentren versorgen ihr Rechenzentrum im Jahr 2024 bilanziell mit 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien.
- Aufgrund des notwendigen kontinuierlichen Betriebs von Rechenzentren stellt die vollständige zeit- und ortsgleiche Versorgung der Rechenzentren mit Erneuerbaren Energien in Deutschland eine große Herausforderung dar.
- Die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren wird immer bedeutender. Allerdings haben entsprechende Projekte mit größeren Hemmnissen zu kämpfen. Fehlende Abnehmer für die Wärme bzw. fehlende Wärmenetze werden als das größte Hemmnis angesehen.

6.1 Bedeutung von Nachhaltigkeit für den Betrieb von Rechenzentren

Rechenzentren und Nachhaltigkeit

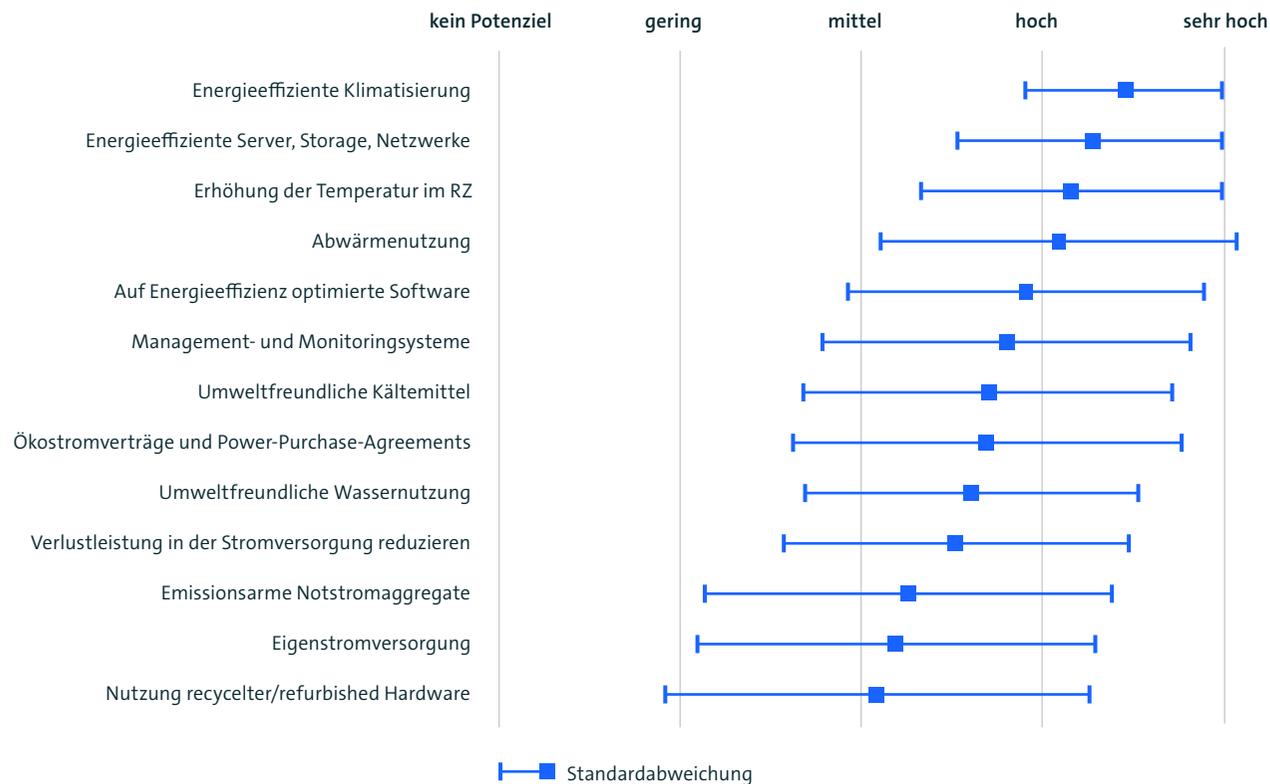
Nachhaltigkeit gewinnt immer mehr an Bedeutung

Die Nachhaltigkeit von Rechenzentren gewinnt zunehmend an Bedeutung, vor allem angetrieben durch Kundenanforderungen, aber auch durch neue und strengere regulatorische Vorgaben wie z. B. das Energieeffizienzgesetz (EnEfG). Wie oben bereits dargestellt, wird ein möglichst nachhaltiger Betrieb von Rechenzentren als eine der größten Herausforderungen angesehen.

Aus den Experteninterviews lassen sich insbesondere folgende aktuelle Trends im Bereich nachhaltiger Rechenzentrumsbetrieb ableiten:

- Immer häufiger wird KI zur Effizienzsteigerung im Rechenzentrum genutzt, z. B. bei der Optimierung der Kühlung, aber auch beim Rechenzentrums- und IT-Management.
- Die Möglichkeit zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren wird aktuell bei jedem größeren und auch vielen kleinen neuen RZ-Projekten geprüft. Allerdings ist die Umsetzung noch immer mit vielen Herausforderungen verbunden.
- Ein primäres Ziel im nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb ist angesichts des Klimawandels die Reduzierung der Treibhausgasemissionen.
- Es gibt zunehmend Bemühungen, die negativen Umweltwirkungen von Notstromaggregaten zu reduzieren. Insbesondere der Ersatz von Diesel bzw. Heizöl als Treibstoff für Notstromaggregate durch HVO, E-Fuels, oder Wasserstoff gewinnt an Bedeutung.
- Die Verwendung von umweltfreundlichen Kältemitteln in Rechenzentren nimmt zu.

Potenziale verschiedener Nachhaltigkeitsmaßnahmen



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 112

Abbildung 20: Expertenbefragung: Wie schätzen Sie die Potenziale für die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren durch folgende Maßnahmen:

Energieeffiziente Klimatisierung bietet noch hohe Potenziale

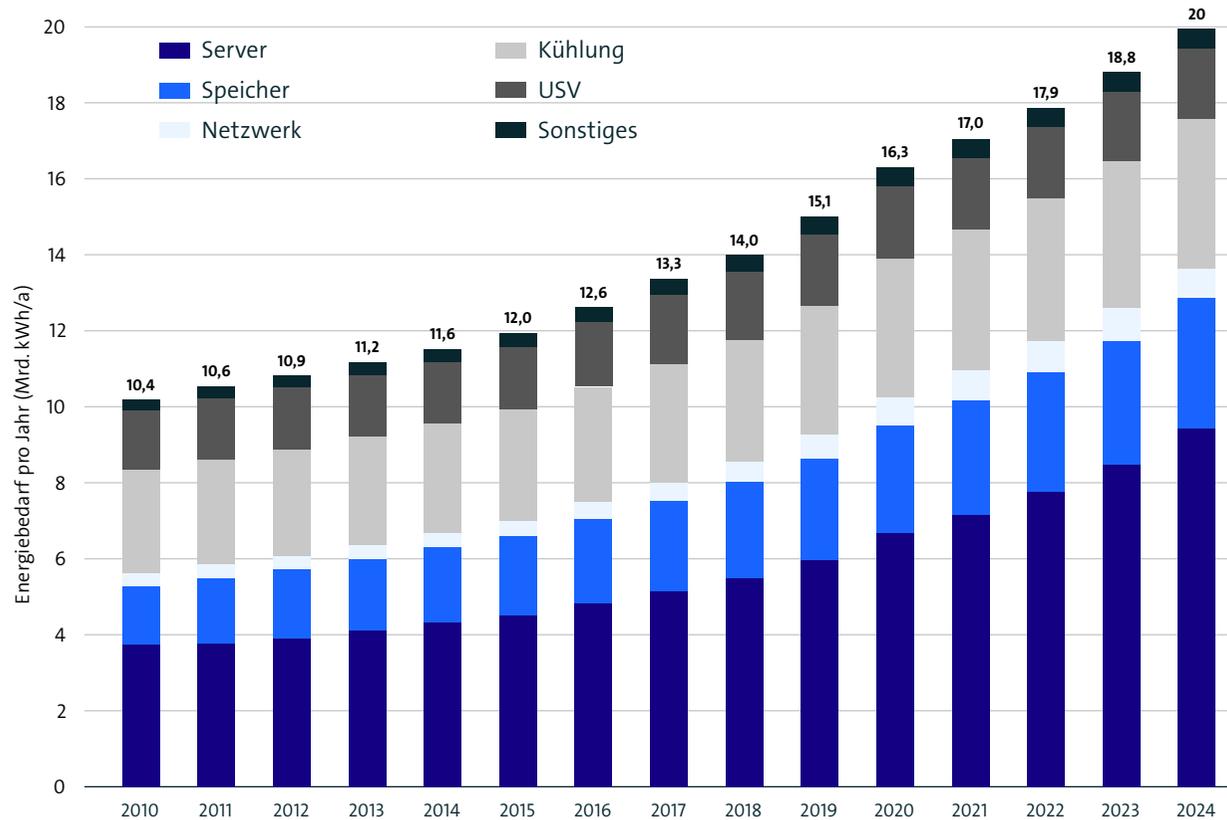
In der Expertenbefragung wurden insbesondere in der Klimatisierung erhebliche Potenziale für mehr Nachhaltigkeit in Rechenzentren identifiziert. Bestehende Rechenzentren weisen in diesem Bereich anscheinend teilweise noch deutlichen Nachholbedarf auf, während bei neuen Anlagen durch den Einsatz flüssigkeitsgekühlter Systeme eine höhere Energieeffizienz erzielt werden kann. Ein weiteres Potenzial zur Reduktion des Kühlbedarfs sehen die Befragten in der Erhöhung der Betriebstemperaturen innerhalb der Rechenzentren.

Zusätzlich wird der Einsatz energieeffizienter IT-Hardware als wichtiges Instrument zur Nachhaltigkeitssteigerung bewertet. Besonders hoch eingeschätzt wird auch das Potenzial der Abwärmenutzung aus Rechenzentren, die als wertvolle Energiequelle für andere Anwendungen nutzbar gemacht werden könnte.

Weitere Maßnahmen umfassen den Einsatz effizienter Softwarelösungen und Managementsysteme sowie die Verwendung umweltfreundlicher Kältemittel. Auch der Bezug von Ökostrom und die Nutzung von Green Power Purchase Agreements (PPAs) gelten als zentrale Schritte zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren.

6.2 Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

Energiebedarf der Rechenzentren



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 21: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2024

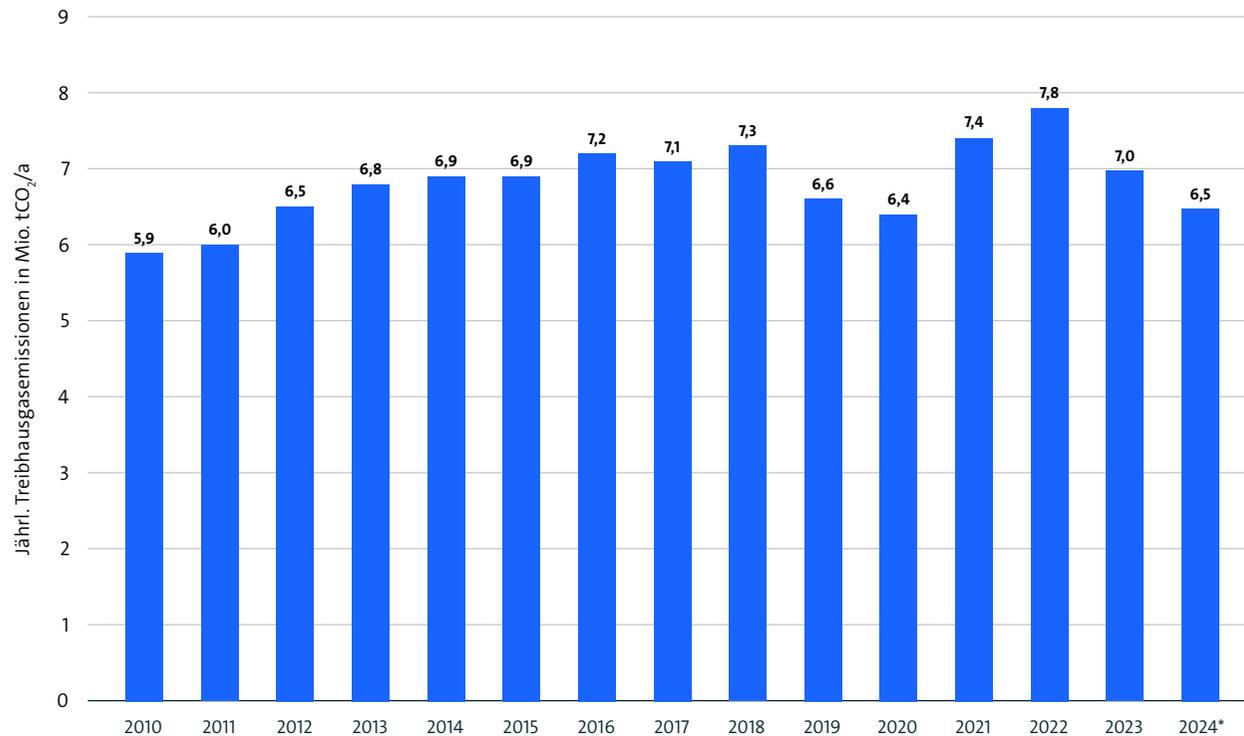
Steigender Energiebedarf und verbesserte Effizienz in deutschen Rechenzentren

Im Jahr 2024 wird der Energiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland voraussichtlich knapp 20 Milliarden kWh erreichen, was einen Anstieg von mehr als 90 % seit 2010 bedeutet.

Haupttreiber dieser Entwicklung ist das starke Wachstum des Bedarfs an Rechenleistung. Ein Maß für diese Rechenleistung ist die Zahl der insgesamt in den Rechenzentren installierten CPU-Kerne. Diese hat sich im Zeitraum von 2010 bis 2024 um den Faktor 16 auf über 160 Millionen erhöht. Die Effizienz pro CPU-Kern stieg damit im genannten Zeitraum um mehr als den Faktor 8.

Parallel dazu wurde auch die Effizienz der Gebäudetechnik verbessert. Zwischen 2010 und 2024 wurde eine Effizienzsteigerung von 25 % erreicht, und der durchschnittliche Power Usage Effectiveness (PUE)-Wert verbesserte sich im Jahr 2024 auf 1,46. Die Analyse der Befragungsergebnisse zeigt, dass sich die PUE je nach RZ-Typ etwas unterscheidet. Insgesamt sind die PUE-Werte der befragten Rechenzentren etwas besser als der nationale Durchschnitt. Besonders effizient sind die Forschungs-RZ mit einer durchschnittlichen PUE von 1,14, gefolgt von Hosting- und Cloud-RZ mit 1,37, Colocation-RZ mit 1,38 und On-Premise-RZ 1,46.

Treibhausgasemissionen von Rechenzentren



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 22: Entwicklung der durch den Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland verursachten Treibhausgasemissionen in den Jahren 2010 bis 2024

Rückgang der Klimawirkung: Treibhausgasemissionen in Rechenzentren stabilisiert

Trotz des steigenden Stromverbrauchs der Rechenzentren in Deutschland hat sich die Klimawirkung dieses Verbrauchs in den letzten Jahren reduziert. Die durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen verursachten Treibhausgasemissionen liegen heute nahezu wieder auf dem Niveau von 2010. Ein wesentlicher Faktor für diese Entwicklung ist die zunehmende Umstellung auf klimafreundlichere Energiequellen im Stromnetz.

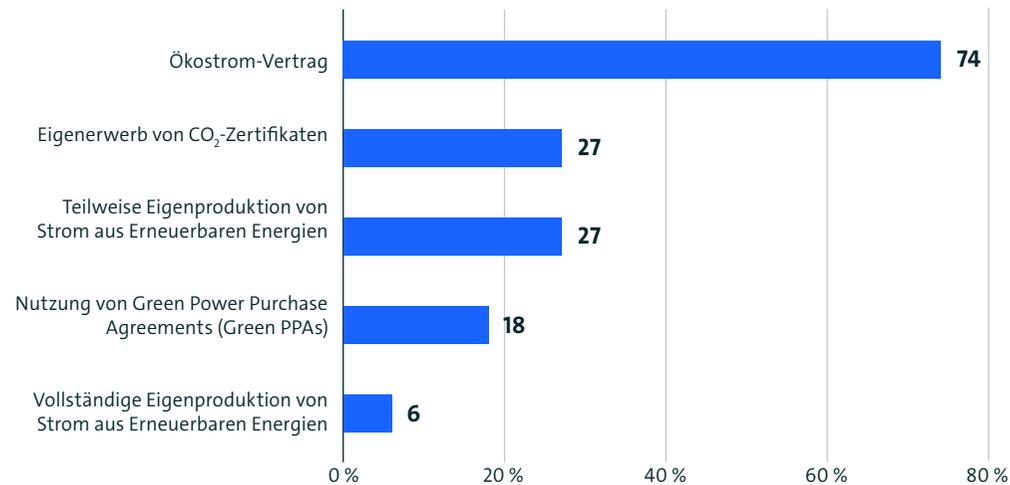
In Deutschland sind über 80 % der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren auf den Stromverbrauch zurückzuführen, wodurch die Wahl klimafreundlicher Energiequellen entscheidend zur Reduktion der Emissionen beiträgt.

Anmerkungen:

Bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen wird der deutsche Strommix (Inlandsstromverbrauch, Quelle: UBA 2024) herangezogen, individuelle Lieferverträge für Strom aus Erneuerbaren werden nicht berücksichtigt.

* Für 2024 wurde ein Schätzwert für den nationalen Strommix auf Basis des Zielszenarios der Bundesregierung für das Jahr 2030 ermittelt

Klimafreundliche Stromversorgung



Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 78

Abbildung 23: Expertenbefragung: Wenn Sie besondere Maßnahmen zu klimafreundlichen Stromversorgung Ihres Rechenzentrums/Ihrer Rechenzentren ergriffen haben, welche sind das? (Mehrfachantworten möglich)

Erneuerbare Energien: Schon heute nutzen zwei Drittel der RZ-Betreiber grünen Strom

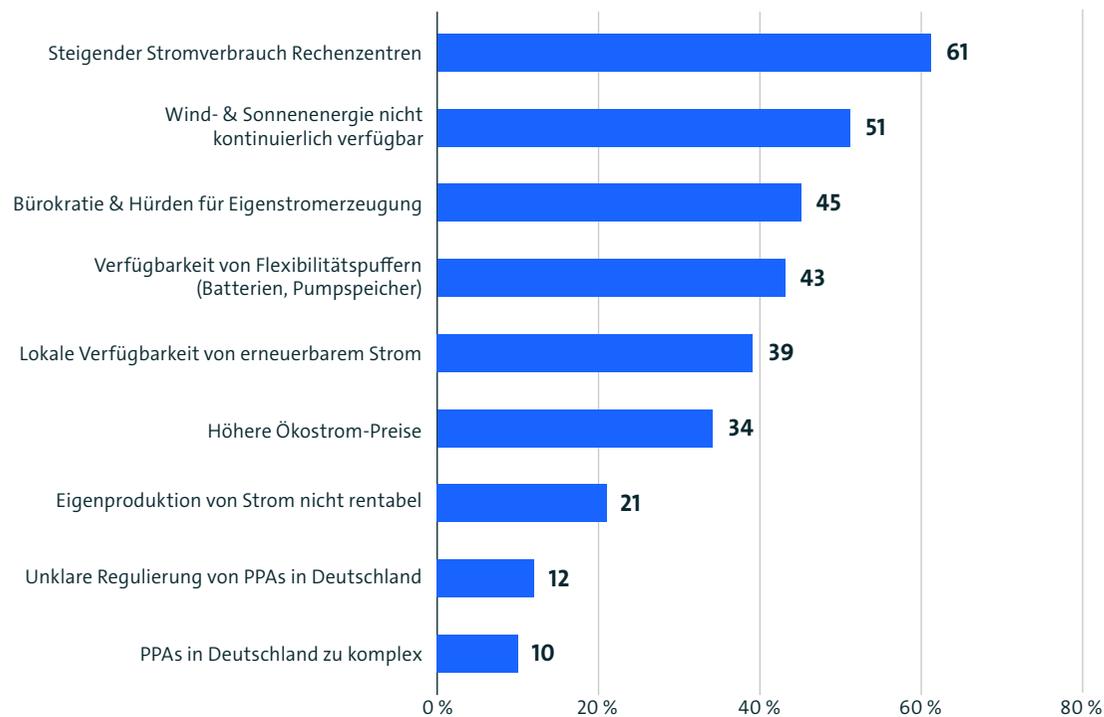
Um die Treibhausgasemissionen des Betriebs ihrer Rechenzentren zu verringern, betreiben nah eigenen Angaben bereits heute zwei Drittel der befragten RZ-Betreiber ihre Rechenzentren mit 100 % Strom aus Erneuerbaren Energien.

Auf die ergänzende Frage, durch welche Maßnahmen eine möglichst klimafreundliche Stromversorgung realisiert wird, gaben 74 % der RZ-Betreiber an, Ökostromverträge zu nutzen. Jeweils 27 % der Befragten erwerben selbst CO₂-Zertifikate oder produzieren teilweise selbst Strom aus Erneuerbaren Energien. 18 % der Befragten nutzen Green PPAs.

Bei den RZ-Betreibern mit mehr als 5 MW IT-Anschlussleistung liegen die Anteile der Erwerber von CO₂-Zertifikaten mit 50 % und der Nutzer von Green PPAs mit 27 % deutlich höher als im Durchschnitt.

Vier RZ-Betreiber gaben an, ihren Strom vollständig aus Erneuerbaren Energien selbst zu produzieren.

Klimafreundliche Stromversorgung



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 114

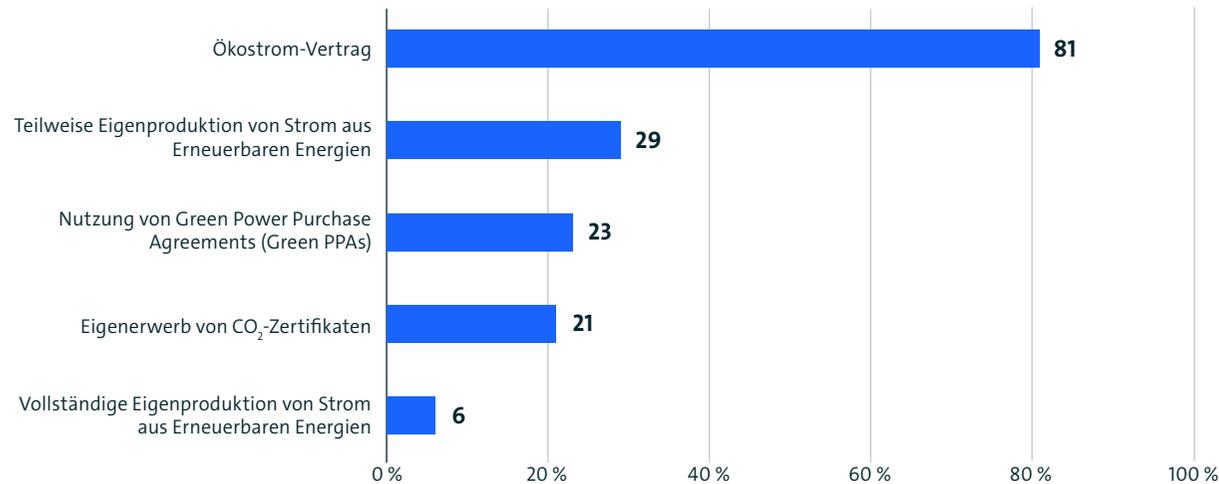
Abbildung 24: Expertenbefragung: Was sind aus Ihrer Sicht die fünf größten Herausforderungen, Rechenzentren in Deutschland mit Strom aus Erneuerbaren Energien zu betreiben? (Max. 5 Antworten möglich)

Herausforderungen bei der Nutzung von Ökostrom für Rechenzentren

Auf die Frage, wo die größten Herausforderungen gesehen werden, Rechenzentren in Deutschland mit Strom aus Erneuerbaren Energien zu betreiben, gaben 61 % der Expertinnen und Experten an, dass der steigende Stromverbrauch der Rechenzentren eine große Herausforderung ist. Rechenzentren benötigen 24 Stunden am Tag und 365 Tage im Jahr Strom, Wind und Sonnenenergie stehen aber nicht kontinuierlich zur Verfügung. In dieser Tatsache sehen 51 % der Befragten eine große Herausforderung. Weitere Herausforderungen werden in der Bürokratie und Hürden für die Eigenstromversorgung, der Verfügbarkeit von Stromspeichern und in der lokalen Verfügbarkeit von Strom aus Erneuerbaren Energien gesehen.

6.3 Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes

Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes



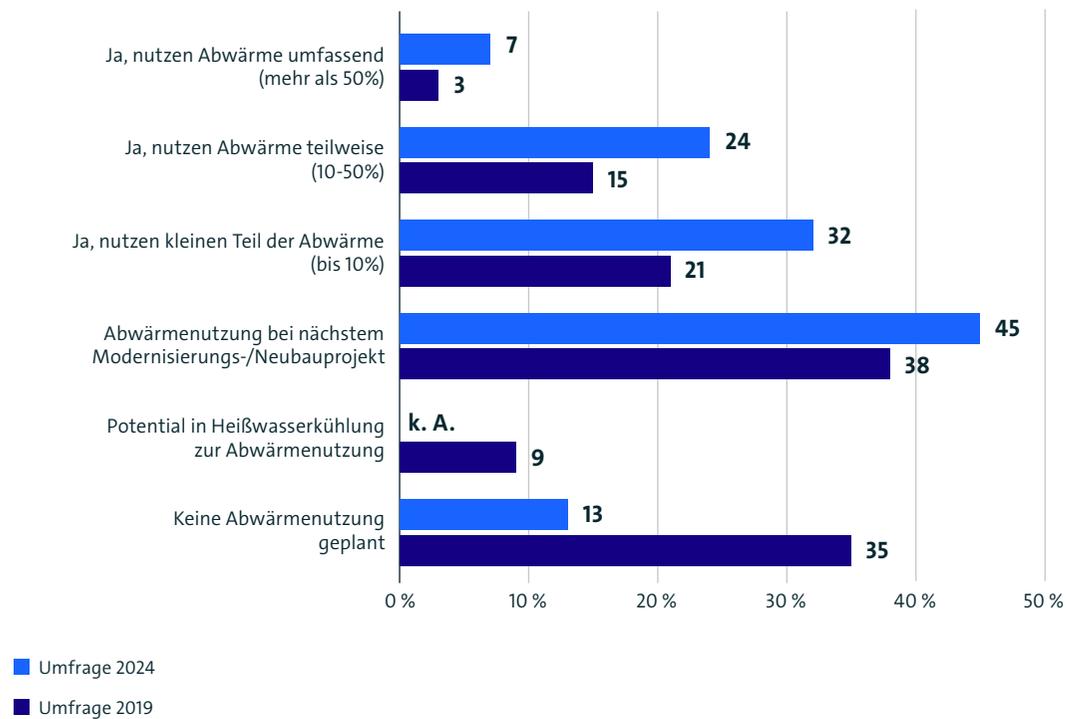
Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 80

Abbildung 25: Expertenbefragung: Wie planen Sie, den Anforderungen des EnEfG zum Bezug von Strom aus Erneuerbaren Energien nachzukommen?

Erneuerbare Energien: Ökostrom-Verträge und Eigenstromerzeugung im Fokus

Gemäß EnEfG sind Rechenzentren ab dem 1. Januar 2027 verpflichtet, ihren Stromverbrauch bilanziell zu 100 Prozent durch Strom aus erneuerbaren Energien zu decken. Auf die Frage, wie diese Anforderung erfüllt werden soll, antworteten 81 % der Befragten, dass dies über einen Ökostrom-Vertrag mit ihrem Stromanbieter geschehen soll. Weitere geplante Maßnahmen sind insbesondere die teilweise Eigenstromproduktion aus Erneuerbaren Energien, Green PPAs und der Eigenerwerb von CO₂-Zertifikaten. Vergleicht man die Planungen mit den bereits heute ergriffenen Maßnahmen (Abbildung 23) so ist festzustellen, dass die Nutzung von Ökostromverträgen und Green PPAs voraussichtlich leicht zunehmen wird.

Abwärmenutzung aus Rechenzentren



Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 75

Abbildung 26: Expertenbefragung: Nutzen Sie die Abwärme Ihres Rechenzentrums/Ihrer Rechenzentren? (Mehrfachauswahl möglich)

Zunehmende Abwärmenutzung in Rechenzentren

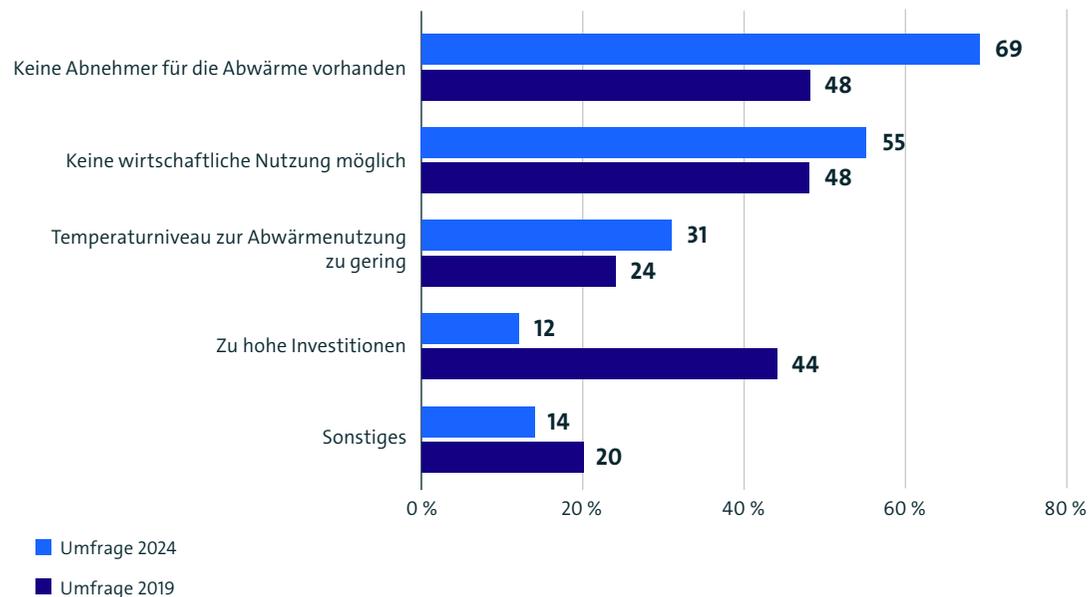
Das EnEFG schreibt für Rechenzentren, die nach dem 1. Juli 2026 in Betrieb gehen und über eine nicht redundanten elektrischen Nennanschlussleistung von 300 Kilowatt oder mehr verfügen vor, dass sie einen Teil ihrer Abwärme nutzen müssen. Diese Vorschrift wird, wie oben dargestellt, als große Herausforderung wahrgenommen.

Aktuell nutzen 63 % der befragten RZ-Betreiber zumindest Teile der Abwärme, wobei davon die Hälfte nur einen kleinen Teil der Abwärme zumeist für eigene Zwecke nutzt. Große Teile der Abwärme nutzen bisher vor allem die Forschungs-RZ.

Der Anteil der RZ-Betreiber, die Abwärme nutzen, ist damit deutlich angestiegen, in einer Befragung im Jahr 2019 lag er noch bei 39 %.

Nur noch 13 % der befragten RZ-Betreiber planen keine Abwärmenutzung in der Zukunft.

Abwärmenutzung aus Rechenzentren



Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 51

Abbildung 27: Expertenbefragung: Wenn Sie bisher keine Abwärme nutzen, warum? (Mehrfachantworten möglich)

Fehlende Abnehmer ist der wesentliche Grund, wenn keine Abwärme genutzt wird

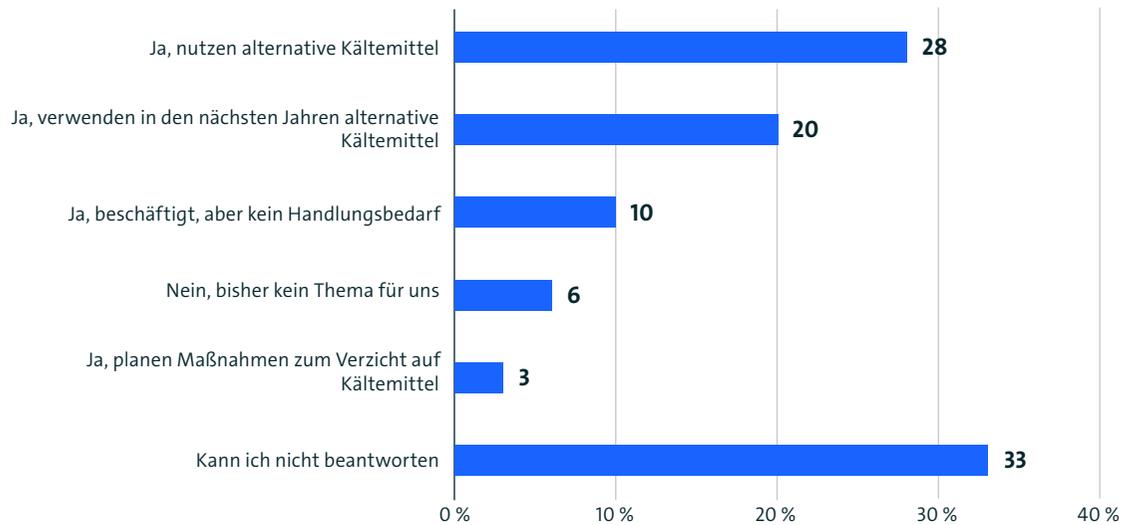
Wie die Befragung der RZ-Betreiber zeigt, wird das Hauptproblem bei der Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren darin gesehen, geeignete Abnehmer zu finden. 69 % nannten dies als Hindernis, was im Vergleich zu 2019 deutlich an Bedeutung gewonnen hat. Ein möglicher Grund hierfür könnte das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) sein, das Mindestanforderungen für die Abgabe von Abwärme festlegt, wodurch die Suche nach passenden Abnehmern erschwert wird. Bislang sind Fernwärmenetze in Deutschland an vielen Standorten kaum ausgebaut und kommen als Wärmeabnehmer daher nur selten in Betracht. Durch das Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung könnte dies ändern, allerdings erfordert der Aufbau von Wärmenetzen oft erhebliche Investitionen und Zeit.

Ein weiteres Problem ist die wirtschaftliche Nutzbarkeit der Abwärme, da diese oft nicht rentabel verwertbar ist. Ein Grund dafür ist auch das niedrige Temperaturniveau der Abwärme, das die direkte Nutzung der Abwärme erschwert. Bei den befragten RZ-Betreibern lag diese in einer Spannweite von 15°C bis 50°C und durchschnittlich bei 32°C. Hohe Abwärmemetemperaturen erreichen nur Rechenzentren mit direkter Flüssigkeitskühlung.

Bemerkenswert ist, dass hohe Investitionskosten im Vergleich zu 2019 kaum noch als Hindernis genannt werden.

Alternative Kältemittel in Rechenzentren

Alternative Kältemittel in Rechenzentren



Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 69

Abbildung 28: Expertenbefragung: Haben Sie sich bereits mit dem Einsatz alternativer Kältemittel oder Technologien beschäftigt?

Wachsender Einsatz alternativer Kältemittel in Rechenzentren

Im Zuge der von der EU eingeführten schrittweisen Begrenzung des Verkaufs von teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFKW) wird der Einsatz dieser Kältemittel auch in Rechenzentren zunehmend eingeschränkt. Diese Verknappung führt dazu, dass alternative Kältemittel ohne HFKW wie Propan, Ammoniak oder Kohlendioxid in der RZ-Branche an Bedeutung gewinnen. Derzeit setzen 28 % der befragten Rechenzentrumsbetreiber bereits alternative Kältemittel ein, und weitere 20 % planen, in den kommenden Jahren auf solche umzustellen.

7 Prognose der zukünftigen Entwicklung

In diesem Kapitel

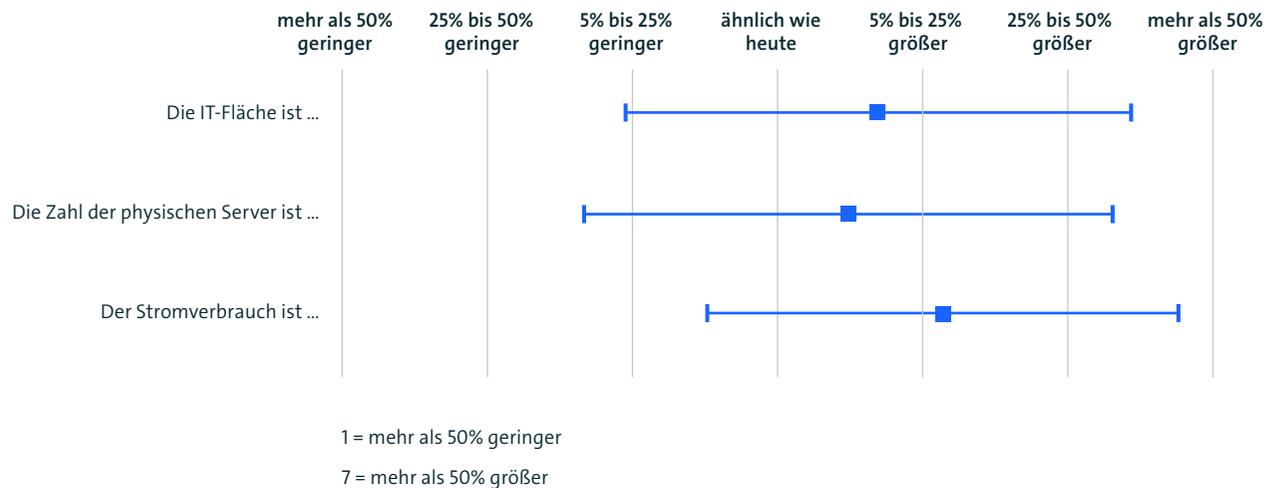
- Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren in Deutschland bis 2030
- Entwicklung von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Deutschland bis 2030

Das Wichtigste in Kürze

- Mindestens bis zum Ende des laufenden Jahrzehnts ist mit einem deutlichen weiteren Wachstum der RZ-Branche in Deutschland zu rechnen. Aktuell werden die Prognosen der Marktforscherinnen und Analysten regelmäßig nach oben korrigiert.
- Treiber des weiteren Wachstums sind insbesondere Cloud Computing und KI-Anwendungen. Auch Edge-Rechenzentren werden in den kommenden Jahren voraussichtlich deutlich zunehmen.
- Bis 2030 wird die Leistungsdichte in Racks für KI-Anwendungen voraussichtlich über 100 kW pro Rack liegen, die Leistungsdichte bei Cloud-Computing bei 20 bis 50 kW pro Rack und die Leistungsdichte für traditionelle Anwendungen zwischen 2 und 10 kW pro Rack.
- Bis zum Jahr 2030 wird für Deutschland ein Wachstum der RZ-Kapazitäten auf 4.850 MW prognostiziert. Das wäre mehr als eine Verdoppelung der Kapazitäten gegenüber 2022.
- Voraussichtlich wird das Wachstum des Marktes hauptsächlich in großen Colocation- und Hyperscale-Rechenzentren realisiert.
- Bedingt durch die starken Ausweitungen der Kapazitäten wird auch der Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland weiter ansteigen. Im Jahr 2033 werden voraussichtlich mehr als 30 Mrd. kWh Strom für ihren Betrieb benötigt. Das wäre ein Anstieg von über 50 % gegenüber 2024.
- Die durch den Stromverbrauch der Rechenzentren erzeugten Treibhausgasemissionen werden in Deutschland deutlich abnehmen, weil die Stromversorgung zunehmend auf Erneuerbare Energien umgebaut wird. Bis zum Jahr 2030 werden sie voraussichtlich um 30 % sinken.

7.1 Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren in Deutschland bis 2030

Erwartungen zur Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren



Quelle: Expertenbefragung (nur RZ-Betreiber) durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 78

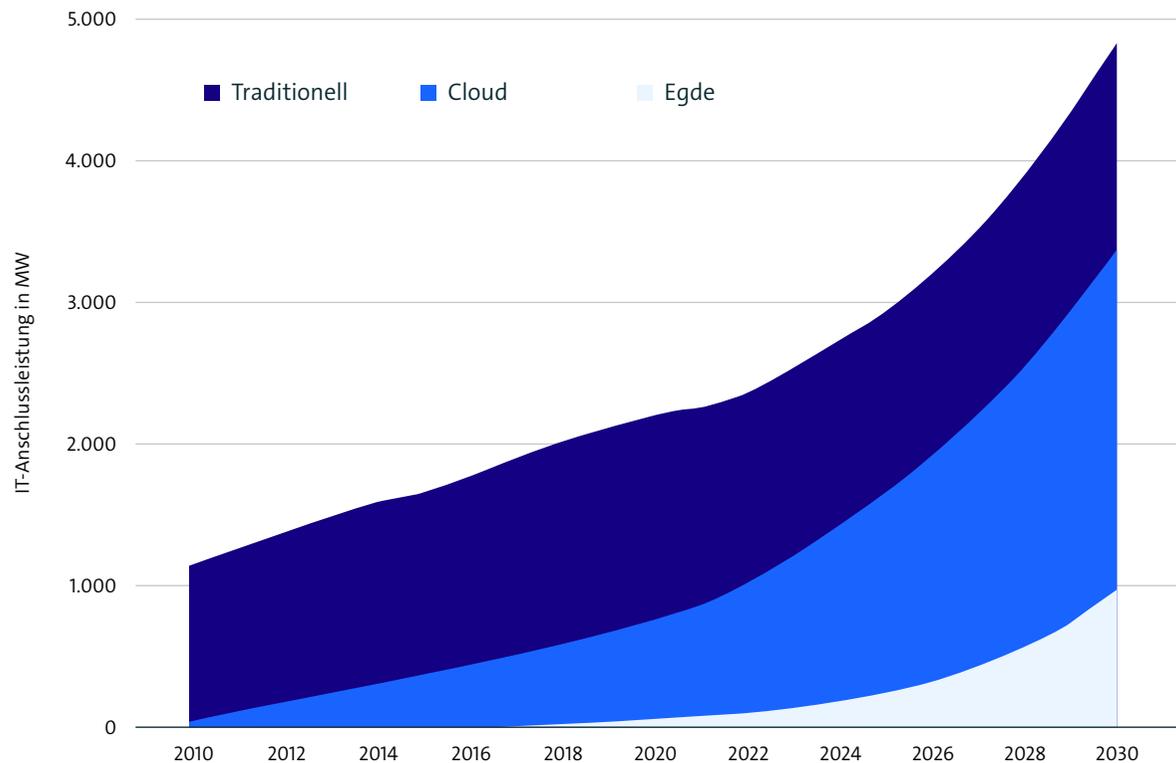
Abbildung 29: Expertenbefragung: Wie sieht Ihr Rechenzentrum/sehen Ihre Rechenzentren im Jahr 2030 aus?

Erwartungen: IT-Fläche, Serverzahl und Stromverbrauch steigt

Die Befragung der RZ-Betreiber zur erwarteten Entwicklung bis 2030 zeigt, dass eine Mehrheit der Befragten von einem weiteren Wachstum ihrer Rechenzentren ausgeht. Insbesondere wird ein Anstieg des Stromverbrauchs prognostiziert. Neben dem steigenden Energiebedarf wird zudem eine Erweiterung der IT-Fläche und eine Zunahme der Serveranzahl erwartet, allerdings in etwas geringerem Umfang.

Die Ergebnisse deuten ebenfalls darauf hin, dass die Leistungsdichte, also der Stromverbrauch pro Rack und pro Fläche, in den kommenden Jahren weiter ansteigen wird. Nach Expertenschätzungen werden die Leistungsdichten der Racks sich bis 2030 je nach Anwendung deutlich unterscheiden. Bis 2030 wird die Leistungsdichte bei KI-Anwendungen voraussichtlich über 100 kW pro Rack liegen, die Leistungsdichte bei Cloud-Computing bei 20 bis 50 kW pro Rack und die Leistungsdichte für traditionelle Anwendungen zwischen 2 und 10 kW pro Rack.

Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren bis 2030



Quelle: Borderstep (2024)

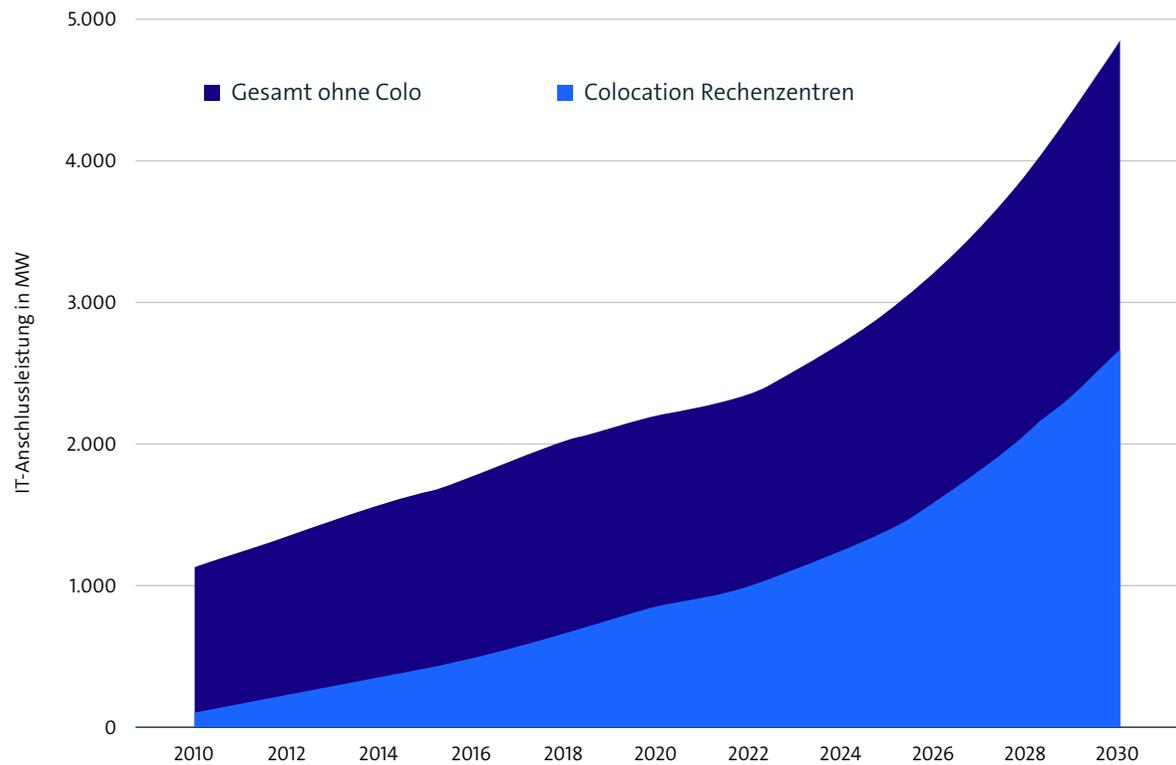
Abbildung 30: Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland (gemessen in IT-Anschlussleistung) mit Anteil Cloud und Edge

Zukünftiges Wachstum der Rechenzentren in Deutschland: Verdopplung der IT-Leistung bis 2030

Das Wachstum der RZ-Branche wird sich voraussichtlich weiter beschleunigen. Prognosen werden aktuell regelmäßig nach oben korrigiert. Auf Grundlage der Analyse durchgeführter Befragungen, existierender Studien, aktueller Marktdaten und Prognosen (z. B. CBRE, 2024b, 2024a; German Datacenter Association, 2024; Miller, 2024a; Statista, 2024; Williams & Kemper, 2024) sowie Berechnungen mit dem Borderstep Strukturmodell lässt sich ableiten, dass das Wachstum der Rechenzentren in Deutschland in den kommenden Jahren voraussichtlich an Dynamik gewinnen wird. Sollte die Umsetzung geplanter Projekte erfolgen, wird die IT-Anschlussleistung der Rechenzentren bis 2030 auf 4.850 MW ansteigen – dies entspricht mehr als einer Verdoppelung im Vergleich zu 2022. Haupttreiber dieses Wachstums ist die Expansion der Cloud-Rechenzentren, aus denen künftig zunehmend auch KI-Leistungen angeboten werden. Auch Edge-Rechenzentren werden voraussichtlich verstärkt an Bedeutung gewinnen und die dezentrale Verarbeitung und Speicherung von Daten vorantreiben.

Hinweis: Aufgrund der aktuell sehr hohen Marktdynamik in der RZ-Branche ist diese Prognose mit Unsicherheiten behaftet (siehe Methodik).

Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren bis 2030



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 31: Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland (gemessen in IT-Anschlussleistung) mit Anteil Colocation

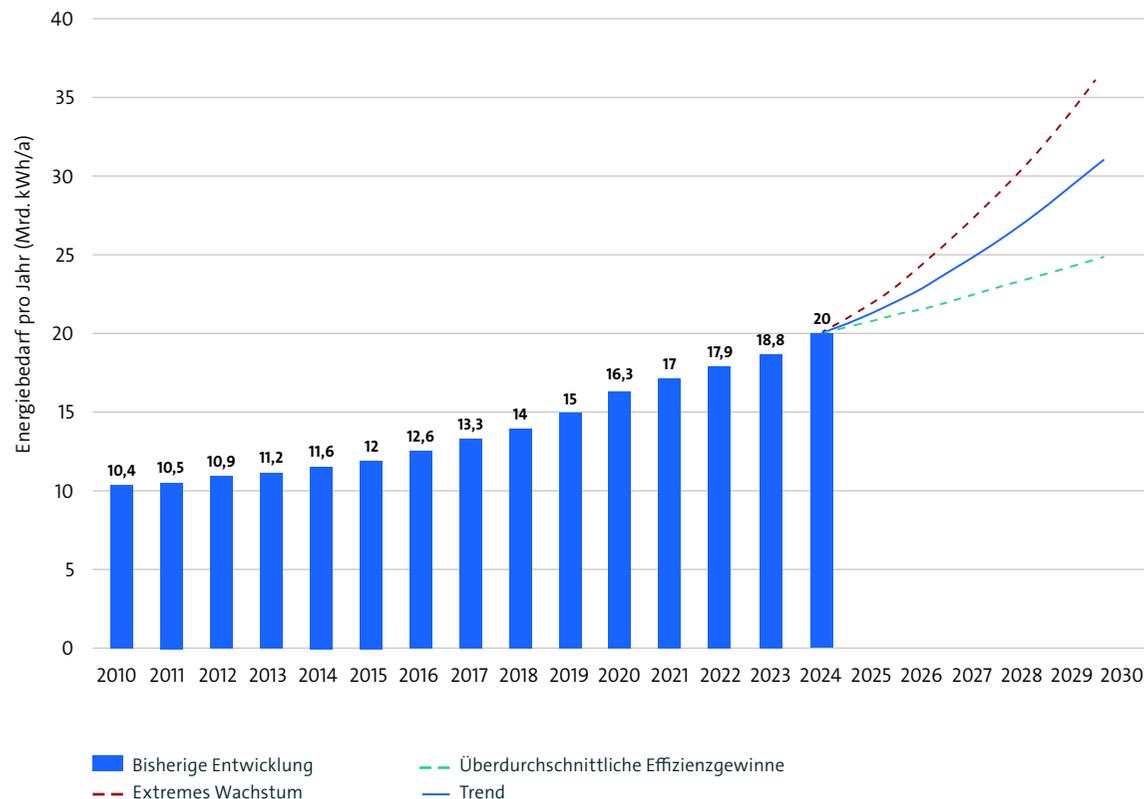
Colocation-RZ: Treiber des Wachstums der RZ-Kapazitäten bis 2030

Die zukünftige Bedeutung von Colocation-RZ in Deutschland wird stark zunehmen. Das Wachstum der RZ-Kapazitäten im Land wird überwiegend in Colocation-Einrichtungen realisiert, wobei sowohl das Retail- als auch das Wholesale-Geschäft wächst. Besonders deutlich werden voraussichtlich die Kapazitäten wachsen, die von Colocation-RZ für Hyperscaler bereitgestellt werden. Für die Betreiber von Colocation-Rechenzentren besteht hier allerdings das Marktrisiko, dass Hyperscaler in Deutschland wie auch in anderen Ländern dazu übergehen, ihre Gebäude selbst zu betreiben.

Auf Basis der durchgeführten Befragungen und der Analyse verschiedener Berichte zur zukünftigen Marktentwicklung (z. B. CBRE, 2024a; Cushman & Wakefield, 2024; Datacentermap.com, 2024; German Datacenter Association, 2024; Janson, 2023; Williams & Kemper, 2024) wird prognostiziert, dass bis zum Jahr 2030 in Deutschland mehr als zwei Drittel der gesamten RZ-Kapazitäten in Colocation-RZ angesiedelt sein werden.

7.2 Entwicklung von Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Deutschland bis 2030

Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren bis 2030



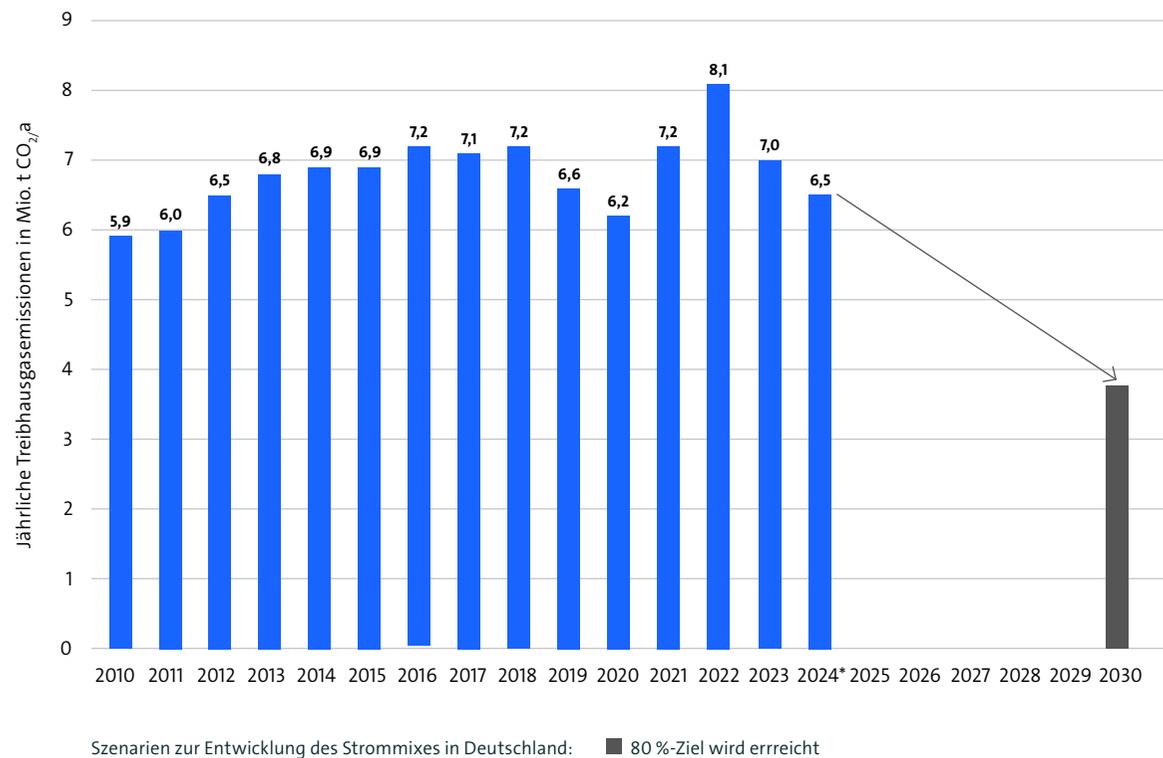
Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 32: Szenarien für die künftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland bis 2030

Steigender Energiebedarf der Rechenzentren: Über 30 Mrd. kWh bis 2030

Das beschleunigte Wachstum der RZ-Branche wird zwangsläufig zu einem weiteren Anstieg des Energiebedarfs führen. Bis zum Jahr 2030 wird erwartet, dass Rechenzentren in Deutschland etwas mehr als 30 Milliarden Kilowattstunden Strom pro Jahr verbrauchen. Diese Prognose berücksichtigt die Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes und geht von einer erheblichen Verbesserung der Effizienz der Gebäudetechnik aus. Das Szenario der »überdurchschnittlichen« Effizienzgewinne nimmt an, dass insbesondere in der IT-Hardware und Software deutlich größere Effizienzsteigerungen erzielt werden können als in der Vergangenheit. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen zu Hardware für KI-Anwendungen mit sehr hohem Stromverbrauch scheint dieses Szenario allerdings sehr unwahrscheinlich.

Zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren



Quelle: Borderstep (2024)

Abbildung 33: Prognose der Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland bis 2030

Reduzierte Klimawirkung: 30 % weniger Treibhausgasemissionen bis 2030

Gemäß den Anforderungen des Energieeffizienzgesetzes werden künftig alle neuen Rechenzentren bilanziell mit 100 % Strom aus erneuerbaren Energien betrieben. Wie bereits erläutert, liegt auch bei bestehenden Rechenzentren der Anteil der Betreiber, die auf 100 % Ökostrom setzten, derzeit bei 66 %. Durch diese Entwicklungen werden Rechenzentren im Jahr 2030 bilanziell kaum noch Treibhausgasemissionen aufgrund ihres Stromverbrauchs verursachen.

Tatsächlich nutzen in Deutschland betriebene Rechenzentren jedoch hauptsächlich den Strom aus dem deutschen Stromnetz. Auch wenn der deutsche Strommix bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen zugrunde gelegt wird, wird sich die Klimawirkung dieser Rechenzentren voraussichtlich erheblich verringern. Sofern die Bundesregierung ihre Ziele zum Ausbau erneuerbarer Energien erreicht, könnten die Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren bis 2030 im Vergleich zu 2024 um 30 % sinken. Da aktuell mehr als 80 % der insgesamt durch Rechenzentren verursachten Treibhausgasemissionen durch ihren Stromverbrauch bedingt sind, wird damit ihre Klimafreundlichkeit deutlich verbessert.

8 Studiendesign

In diesem Kapitel

- Hintergrund und Ausgangslage
- Ziele der Studie
- Methodisches Vorgehen

8.1 Methodik der Untersuchung

Methodik

Methodenmix aus Recherche, Online-Befragung, Interviews und Modellierung

Die geplante Studie nutzt den folgenden Methoden-Mix, um neue Erkenntnisse zur Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes zu gewinnen:

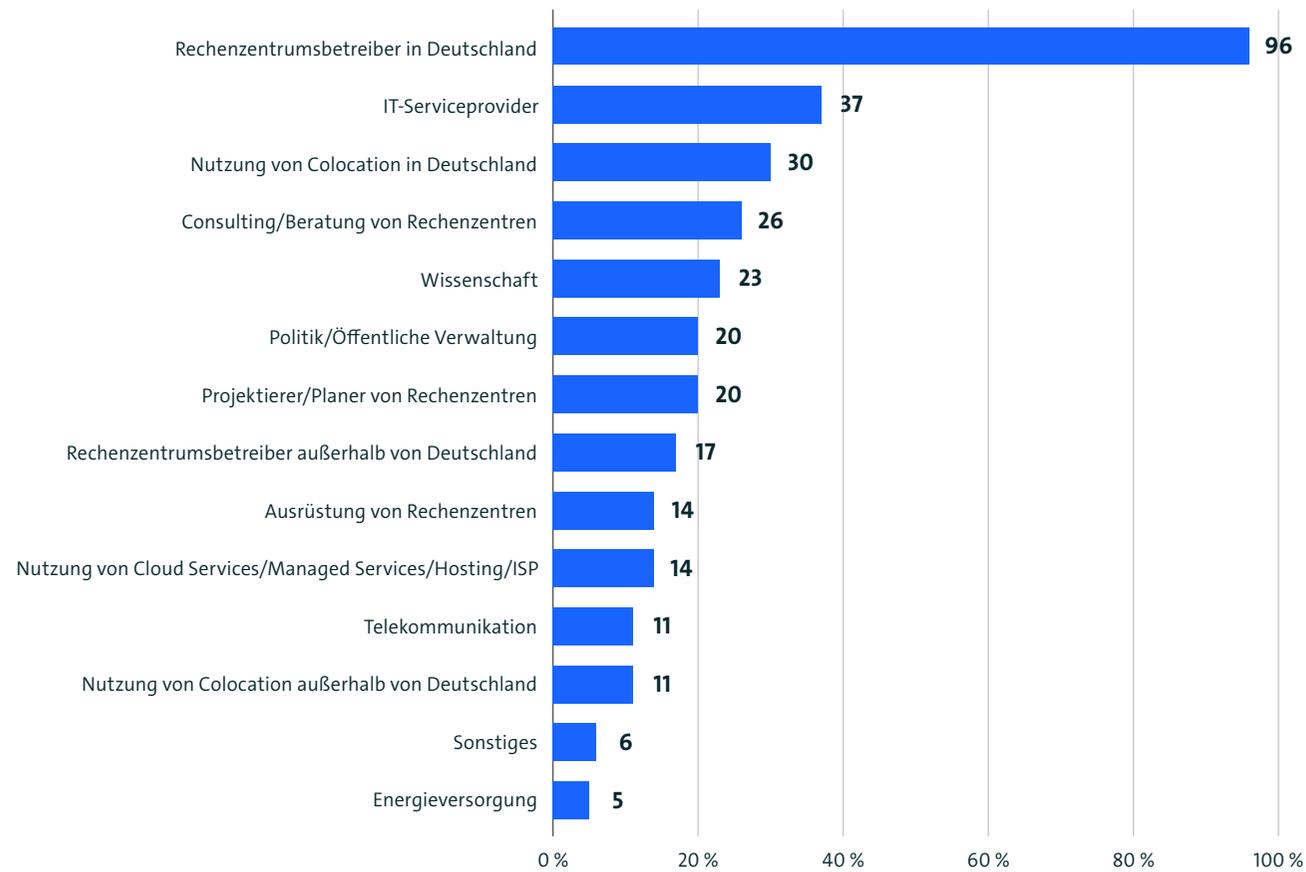
- Es wurde eine systematische und umfassende Quellen- und Literaturrecherche zu aktuellen Entwicklungen bei Rechenzentren durchgeführt.
- Zusätzlich wurden bei einem renommierten Marktforschungsunternehmen Daten erworben (Serverkäufe, IT-Investitionen, internationale Vergleiche).
- Im Zeitraum Juli bis September 2024 wurde eine Online-Befragung von Rechenzentren und RZ-expertinnen und -experten durchgeführt (139 befragte Personen, davon 100 Betreiber von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen, siehe auch Abbildung 34 und Abbildung 35). Mit der Befragung wurden 289 Rechenzentren an 215 Standorten erreicht. Diese Rechenzentren verfügen über eine Nenn-IT-Anschlussleistung von 1.150 MW. Damit wird mehr als ein Drittel des deutschen Rechenzentrumsmarktes abgedeckt. Die Teilnehmenden der Befragung

beschäftigen mehr als 47.000 Beschäftigten in ihren Rechenzentren

- Ergänzend zur Onlinebefragung wurden zu Markt- und Technologieentwicklungen 15 Experteninterviews mit Vertreterinnen und Vertretern von Rechenzentren und Expertinnen sowie Experten von Zulieferern, Dienstleistern, Planern durchgeführt.
- Die wirtschaftlichen Kennzahlen für Deutschland wurden mit Hilfe des Borderstep-Strukturmodells für Rechenzentren in Deutschland berechnet. Das Modell wurde am Borderstep Institut entwickelt und wird jährlich aktualisiert (Fichter & Hintemann, 2014; Hintemann, 2017a, 2020; Hintemann, Clausen, Beucker, & Hinterholzer, 2021; Hintemann, Fichter, & Stobbe, 2010; Hintemann et al., 2022; Hintemann, Hinterholzer, Montevecchi, & Stickler, 2020; Hintemann et al., 2020; Hintemann & Hinterholzer, 2019, 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.

Hinweis: Die in der Studie vorgenommenen Prognosen der zukünftigen Entwicklungen mit einer Unsicherheit behaftet, da zum einen nicht sicher vorhergesagt werden kann, wie schnell die bereits angekündigten Projekte auch realisiert werden und zum anderen noch unklar ist, wie stark sich die Nachfrage insbesondere nach Cloud-Kapazitäten und KI-Anwendungen entwickelt. Die Prognosen unterstellen einen deutlichen Anstieg der Nachfrage nach RZ-Leistung, berücksichtigen aber auch, dass es aktuell eine größere Anzahl von spekulativen RZ-Projekten gibt, die potenziell nicht umgesetzt werden.

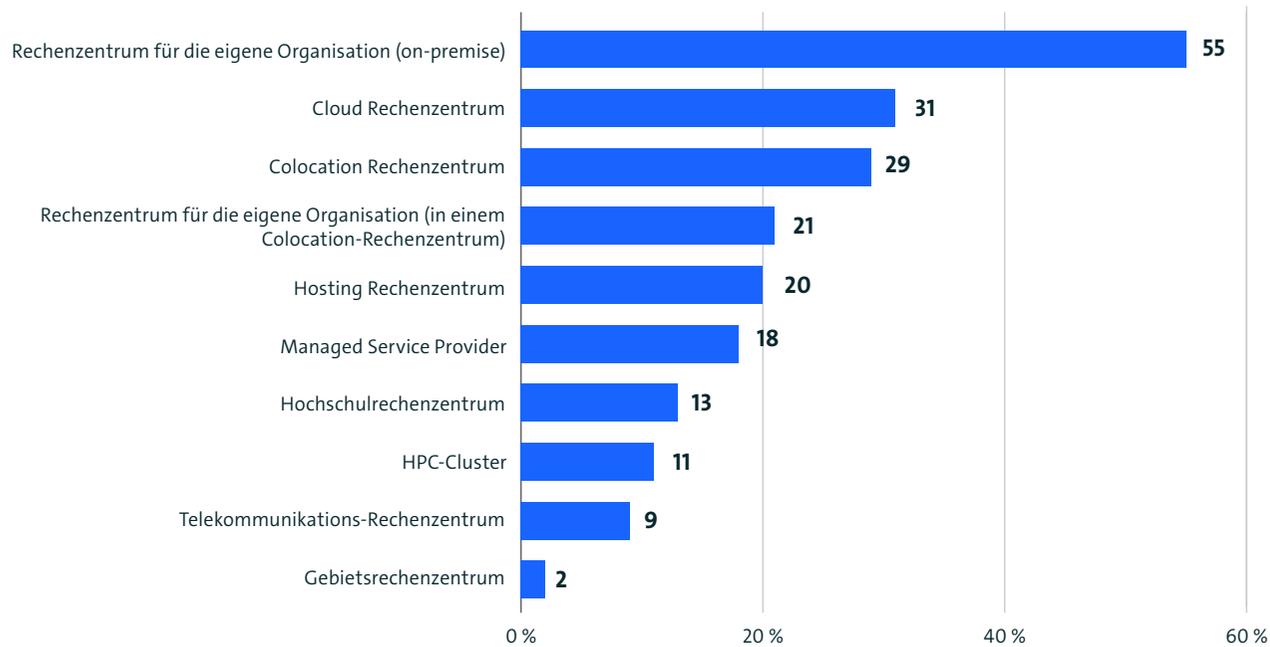
Teilnehmende der Online-Befragung



Quelle: Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 139

Abbildung 34: Expertenbefragung: Welcher Kategorie/Gruppe ordnen Sie sich zu? (Mehrfachauswahl möglich)

Alle Typen von Rechenzentren befragt



Quelle:Expertenbefragung durch Borderstep (17.07. – 11.09.2024); n = 85

Abbildung 35: Expertenbefragung: Was für eine Art Rechenzentrum/Rechenzentren betreiben Sie? (Mehrfachauswahl möglich)

9 Quellen

Amazon. (2024, Mai 15). AWS plant langfristige Investitionen in Höhe von 7,8 Milliarden Euro in die AWS European Sovereign Cloud in Brandenburg. Abgerufen 8. Juli 2024, von DE Press Center website: ↗ <https://press.aboutamazon.com/de/arbeitsplaetze-und-investitionen/2024/5/aws-plant-langfristige-investitionen-in-hoehe-von-7-8-milliarden-euro-in-die-aws-european-sovereign-cloud-in-brandenburg>

Batson, A. (2024, August 27). U.S. Data Center Report – Midyear 2024. Abgerufen 31. Oktober 2024, von ↗ <https://www.us.jll.com/en/trends-and-insights/research/na-data-center-report>

CBRE. (2023). Europe Data Centres: Frankfurt, London, Amsterdam, Paris and Dublin. Abgerufen von ↗ <https://www.cbre.com/insights/figures/europe-data-centres-figures-q4-2022>

CBRE. (2024a). Europe Data Centres Q1 2024. Abgerufen von ↗ <https://mktgdocs.cbre.com/2299/b287f590-4c28-4208-b1d4-0240db8a47e0-2046017529/v032024/europea-data-centres-figures-q1-2024.pdf>

CBRE. (2024b). Market Outlook Deutschland 2024. Abgerufen von ↗ https://mediaassets.cbre.com/-/media/cbre/country-germany/insights/2024_cbre_real_estate_market_outlook_de.pdf?rev=b45a1d9a0750458cbd5e53e0d0245f2f

Copenhagen Economics. (2018). European data centres How Google's digital infrastructure investment is supporting sustainable growth in Europe Country case: Netherlands. Abgerufen von ↗ https://www.copenhageneconomics.com/dyn/resources/Filelibrary/file/2/102/1521103442/copenhagen-economics-european-data-centres-case-study-the-netherlands_final.pdf

CSO. (2024, Juli 23). Data Centres Metered Electricity Consumption 2023 – Central Statistics Office. Abgerufen 30. Oktober 2024, von ↗ <https://www.cso.ie/en/releasesandpublications/ep/p-dcmec/datacentresmeteredelectricityconsumption2023/>

Cushman & Wakefield. (2024). Global Data Center Market Comparison 2024. Abgerufen 23. Mai 2024, von ↗ <https://cushwake.cld.bz/2024-Global-Data-Center-Market-Comparison>

Datacenter Insider. (2023, September 5). 3 Milliarden Euro, 300 Megawatt für ein Datacenter in der Wustermark. Abgerufen 8. Juli 2024, von DataCenter-Insider website: ↗ <https://www.datacenter-insider.de/3-milliarden-euro-300-megawatt-fuer-ein-datacenter-in-der-wustermark-a-313264510a26dc5016e8bdce4b695a2e/>

datacenterHawk. (2024). 1Q 2024 Data Center Market Recap – datacenterHawk. Abgerufen 31. Oktober 2024, von

↗ <https://datacenterhawk.com/resources/market-insights/1q-2024-data-center-market-recap>

Datacentermap.com. (2024). Datenbank für Colocation-Rechenzentren. Abgerufen 10. Juli 2014, von ↗ <https://www.datacentermap.com/>

Dauer, U. (2021, August 31). Google investiert 1 Milliarde Euro in Deutschland bis 2030. Abgerufen 31. Mai 2022, von Finanz-Nachrichten.de website: ↗ <https://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2021-08/53818458-google-investiert-1-milliarde-euro-in-deutschland-bis-2030-015.htm>

Dutch Data Center Association. (2023). What is the economic impact of data centers? Abgerufen von ↗ <https://www.dutchdatacenters.nl/en/data-centers/what-is-the-economic-impact-of-data-centers/>

Eurostat. (2024). Cloud computing – Statistics on the use by enterprises. Abgerufen 11. Oktober 2024, von ↗ https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises#Types_of_cloud_computing:_public_and_private_cloud

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>

German Datacenter Association. (2024). Data Center Impact Report Deutschland 2024. Frankfurt am Main. Abgerufen von ↗ <https://www.germandatacenters.com/dcird-24/>

Gerrard, N. (2024, September 13). Oracle plans to build 1GW data centre powered by nuclear SMRs. Abgerufen 31. Oktober 2024, von Construction Briefing website: ↗ <https://www.constructionbriefing.com/news/oracle-plans-to-build-1gw-data-centre-powered-by-nuclear-smrs/8039153.article>

Goecke, H., Kempermann, H., Kestermann, C., Ewald, J., & van Baal, S. (2024). Studie: Spillover-Effekte von Rechenzentren – Rückgrat der KI-Revolution in Deutschland. Abgerufen 31. Oktober 2024, von Eco website: ↗ https://www.eco.de/studie_spillover-effekte-von-rechenzentren/

Greenpeace & Ceprei Calibrations&Testing Center. (2021). China 5G and Data Center Carbon Emissions Outlook 2035. online: Greenpeace. Abgerufen von Greenpeace website: ↗ <https://www.greenpeace.org/static/planet4-eastasia-sta-teless/2021/05/a5886d59-china-5g-and-data-center-carbon-emissions-outlook-2035-english.pdf>

Hermann, C. (2024, April 12). KI belastet Stromversorgung: Amazon zahlt 650 Millionen Dollar an ein AKW – n-tv.de. Abgerufen 31. Oktober 2024, von ↗ <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Amazon-zahlt-650-Millionen-Dollar-an-ein-AKW-article24853002.html>

Hintemann, R. (2017a). Rechenzentren 2016. Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf der deutschen Rechenzentren im Jahr 2016. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: ↗ https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016_Stand_07_03_2017_finaln-1.pdf

Hintemann, R. (2017b). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Update 2017. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: ↗ <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Studien/2017/Kurzstudie-RZ-Markt-Bitkom-final-20-11-2017.pdf>

Hintemann, R. (2020). Rechenzentren 2018. Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich an. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Borderstep Institut website: ↗ <https://www.borderstep.de/>

[wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf)

Hintemann, R., & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wettbewerbssituation. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM). Berlin. Abgerufen von ↗ <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-Wirtschaftliche-Bedeutung-und-Wettbewerbssituation.html>

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.

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, Stand 2022. Berlin: Bitkom. Abgerufen von Bitkom website: ↗ <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. Lappeenranta, Finland. Abgerufen von ↗ 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. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: ↗ <https://digitaleinfrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>

Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Konrat, F. (2024, Juni 18). Server stock data – A basis for determining the energy and resource requirements of data centres. Gehalten auf der Electronic Goes Green 2024+, Berlin. Berlin. Abgerufen von ↗ <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2024/06/Server-stock-data-EGG2024.pdf>

Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). Energyefficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Ecofriendly 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>

Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Seibel, H. (2023). Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen (Update 2023). Berlin: Bitkom e.V. Abgerufen von Bitkom e.V. website: ↗ <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Studie-Rechenzentren-in-Deutschland>

IEA. (2024). Electricity 2024 – Analysis and forecast to 2026. Abgerufen von ↗ <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6b2fd954-2017-408e-bf08-952fdd62118a/Electricity2024-Analysisandforecastto2026.pdf>

Janson, M. (2023, September 26). USA und China dominieren Markt für Rechenzentren. Abgerufen 20. Januar 2024, von Statista Daily Data website: ↗ <https://de.statista.com/infografik/30905/umsaetze-im-markt-fuer-rechenzentren>

Judge, P. (2023, Juli 21). Microsoft granted permission to run its Dublin data center on gas. Abgerufen 17. Januar 2024, von ↗ <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/micro->

[soft-granted-permission-to-run-its-dublin-data-center-on-gas/](https://www.datacenterdynamics.com/en/news/microsoft-granted-permission-to-run-its-dublin-data-center-on-gas/)

Land NRW. (2024, Februar 15). Microsoft investiert Milliarden im Rheinischen Revier | Land.NRW. Abgerufen 6. März 2024, von ↗ <https://www.land.nrw/startseite/microsoft-investiert-milliarden-im-rheinischen-revier>

Mantel, M. (2024, September 4). Colossus ist fertig: Womöglich schnellster Supercomputer der Welt. Abgerufen 30. Oktober 2024, von Heise online website: ↗ <https://www.heise.de/news/xAI-hat-offenbar-den-schnellsten-Supercomputer-der-Welt-fertiggestellt-9857511.html>

Miller, R. (2024a, April). DOE Study: AI Boom Breeds Localized Energy Constraints, But Grid Can Meet Long-Term Demand. Abgerufen 30. Oktober 2024, von Data Center Frontier website: ↗ <https://www.datacenterfrontier.com/energy/article/55019791/doe-study-ai-boom-breeds-localized-energy-constraints-but-grid-can-meet-long-term-demand>

Miller, R. (2024b, April). The Gigawatt Data Center Campus is Coming. Abgerufen 31. Oktober 2024, von Data Center Frontier website: ↗ <https://www.datacenterfrontier.com/hyperscale/article/55021675/the-gigawatt-data-center-campus-is-coming>

Nierhaus, D. (2022, September 10). Neues Rechenzentrum in Neuenhagen: Milliardeninvestition von Google, Amazon und Co.? Viel Hoffnung und offene Fragen. Abgerufen 6. Januar 2024, von Moz.de website: ↗ https://www.moz.de/lokales/strausberg/neues-rechenzentrum-in-neuenhagen-milliarden-investition-von-google_-amazon-und-co._-viel-hoffnung-und-offene-fragen-66407549.html

Oxford Economics. (2022). The economic impact of Google data centers. Abgerufen von ↗ https://www.oxfordeconomics.com/wp-content/uploads/2023/01/Google_Europe_Nov_2022.pdf?utm_source=Recent-release&utm_medium=Webinar&utm_campaign=El-Google-Data-Centers

RP online. (2024, Februar 15). Ansiedlung im Rheinischen Revier: Was Microsofts neue Super-Rechenzentren können. Abgerufen 6. März 2024, von RP ONLINE website: ↗ https://rp-online.de/wirtschaft/unternehmen/microsoft-expandiert-in-nrw-was-die-rechenzentren-koennen_aid-107140669

Spiegel. (2024, Oktober 17). Amazon steckt halbe Milliarde Dollar in Entwicklung von Atomenergie wegen Strombedarf von KI. Der Spiegel. Abgerufen von ↗ <https://www.spiegel.de/netzwelt/amazon-steckt-halbe-milliarde-dollar-in-entwicklung-von-atomenergie-wegen-strombedarf-von-ki-a-223ae965-f38b-4e9c-8376-975d6a93286c>

State Council of the People's Republic of China. (2021). Green data centers in focus. Abgerufen 31. Oktober 2024, von ↗ https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202112/09/content_WS61b13edac6d09c94e48a1f81.html#:~:text=According%20to%20a%20report%20from%20China%27s%20State%20Grid,for%202.7%20percent%20of%20the%20country%27s%20electricity%20consumption

Statista. (2024). Servers—Europe. Abgerufen von ↗ <https://de.statista.com/prognosen/970140/prognose-zum-umsatz-mit-serversystemen-in-europa>

Steele, K. (2024, Januar 31). Growth of AI creates unprecedented demand for global data centers. Abgerufen 30. Oktober 2024, von ↗ <https://www.usjll.com/en/newsroom/growth-of-ai-creates-unprecedented-demand-for-global-data-centers>

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>

Tagesschau. (2024, Juni 19). Amazon investiert weitere 10 Milliarden Euro in Deutschland. Abgerufen 8. Juli 2024, von Tagesschau.de website: ↗ <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/digitales/amazon-10-milliarden-deutschland-investition-100.html>

Tagesschau.de. (2024, September 20). Störfall-AKW in den USA soll für Microsoft wieder in Betrieb gehen. Abgerufen 31. Oktober 2024, von Tagesschau.de website: ↗ <https://www.tagesschau.de/ausland/amerika/usa-atomkraftwerk-microsoft-100.html>

Uptime Institute Intelligence. (2021). The people challenge: Global data center staffing forecast 2021-2025. Abgerufen von ↗ <https://uptimeinstitute.com/global-data-center-staffing-forecast-2021-2025>

U.S. Chamber of Commerce. (2017). Data Centers: Jobs & Opportunities in Communities Nationwide. Abgerufen von ↗ <https://www.uschamber.com/technology/data-centers-jobs-opportunities-communities-nationwide>

VDE. (2024, Oktober 15). Rekordhoch bei erneuerbarer Energie: Deutschlands Stromversorgung bleibt 2023 sehr stabil. Abgerufen 8. November 2024, von ↗ <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-fnn-2023-stoerungstastik>

Vincent, M. (2024, Oktober). ECL Debuts 1 GW Off-Grid Hydrogen-Powered »AI Factory« Data Center On 600 Acres Near Houston. Abgerufen 31. Oktober 2024, von Data Center Frontier website: ↗ <https://www.datacenterfrontier.com/sustainability/article/55233745/ecl-debuts-1-gw-off-grid-hydrogen-powered-ai-factory-data-center-on-600-acres-near-houston>

Wegener, J. (2024, August 25). Havelland wird zum Rechenzentrums-Mekka: Ansiedlungen in Wustermark, Nauen und Brieselang. Abgerufen 31. Oktober 2024, von ↗ <https://www.maz-online.de/lokales/havelland/wustermark/arbeitsplaetze-im-havelland-in-wustermark-nauen-und-brieselang-entstehen-moderne-rechenzentren-FRT3N4KAZFCD-BLG5MWAPLXGCVY.html>

Williams, M., & Kemper, R. (2024). Marktüberblick 2024: Rechenzentren in Deutschland | JLL. Abgerufen von ↗ <https://www.jll.de/de/trends-and-insights/research/rechenzentren-in-deutschland>

Zhang, S. (2022). A Study of the Economic Impact of Data Centres on the Nation's Growth and Development. Abgerufen von ↗ <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/115811>



Partner

Herausgeber

Bitkom e.V.
Albrechtstraße 10
10117 Berlin

Autorinnen und Autoren

Dr. Ralph Hintemann | Borderstep Institut |
E-Mail: hintemann@borderstep.de

Simon Hinterholzer | Borderstep Institut |
E-Mail: hinterholzer@borderstep.de

Kejsi Progni | Borderstep Institut |
E-Mail: progni@borderstep.de

Projektdurchführung



BORDERSTEP INSTITUT
für Innovation und Nachhaltigkeit
Wissen, das bewegt

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit
gemeinnützige GmbH | Dr. Ralph Hintemann |
Clayallee 323 | 14169 Berlin | +49 30 306 45 1000 |
www.borderstep.de

Projektpartner

Nick Kriegeskotte | Leiter Infrastruktur &
Regulierung | Bitkom e.V.

Zitiervorschlag

Hintemann, R., Hinterholzer, S. & Progni, K.
(2024). Bitkom-Studie Rechenzentren in
Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen
– Stand 2024. Berlin: Borderstep Institut.

Gestaltung

Anna Stolz | Bitkom e.V.

Bildnachweis

Titelbild © Equinix

Copyright

Bitkom 2024

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung im Bitkom zum Zeitpunkt der Veröffentlichung wider. Obwohl die Informationen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt wurden, besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität, insbesondere kann diese Publikation nicht den besonderen Umständen des Einzelfalles Rechnung tragen. Eine Verwendung liegt daher in der eigenen Verantwortung des Lesers. Jegliche Haftung wird ausgeschlossen. Alle Rechte, auch der auszugsweisen Vervielfältigung, liegen beim Bitkom.

Bitkom vertritt mehr als 2.000 Mitgliedsunternehmen aus der digitalen Wirtschaft. Sie erzielen allein mit IT- und Telekommunikationsleistungen jährlich Umsätze von 190 Milliarden Euro, darunter Exporte in Höhe von 50 Milliarden Euro. Die Bitkom-Mitglieder beschäftigen in Deutschland mehr als 2 Millionen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Zu den Mitgliedern zählen mehr als 1.000 Mittelständler, über 500 Startups und nahezu alle Global Player. Sie bieten Software, IT-Services, Telekommunikations- oder Internetdienste an, stellen Geräte und Bauteile her, sind im Bereich der digitalen Medien tätig oder in anderer Weise Teil der digitalen Wirtschaft. 80 Prozent der Unternehmen haben ihren Hauptsitz in Deutschland, jeweils 8 Prozent kommen aus Europa und den USA, 4 Prozent aus anderen Regionen. Bitkom fördert und treibt die digitale Transformation der deutschen Wirtschaft und setzt sich für eine breite gesellschaftliche Teilhabe an den digitalen Entwicklungen ein. Ziel ist es, Deutschland zu einem weltweit führenden Digitalstandort zu machen.

Bitkom e.V.

Albrechtstraße 10

10117 Berlin

T 030 27576-0

bitkom@bitkom.org

[bitkom.org](https://www.bitkom.org)

bitkom