

Rechenzentren in Deutschland

Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022

www.bitkom.org

bitkom



Herausgeber

Bitkom e.V.

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.

Albrechtstraße 10 | 10117 Berlin

Autorenschaft

Dr. Ralph Hintemann | Borderstep Institut | hintemann@borderstep.de

Simon Hinterholzer | Borderstep Institut | hinterholzer@borderstep.de

Monika Graß | Grass Consulting | office@grass-cm.de

Tim Grothey | Borderstep Institut | grothey@borderstep.de

Konsortialführung

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Dr. Ralph Hintemann | Clayallee 323 | 14169 Berlin | +49 30 306 45 1000 | www.borderstep.de

Projektpartner

Bitkom Research | Albrechtstraße 10 | 10117 Berlin

Grass Consulting | Wolburgstraße 49 | 23669 Timmendorfer Strand

Zitiervorschlag

Hintemann, R., Hinterholzer, S., Graß, M. & Grothey, T. (2022). Bitkom-Studie: Rechenzentren in Deutschland 2021 – Aktuelle Marktentwicklungen.

Berlin: Borderstep Institut.

Gestaltung

Daniel Vandré

Bildnachweis

Titelbild © NTT

Copyright

Bitkom 2022

Diese Publikation stellt eine allgemeine unverbindliche Information dar. Die Inhalte spiegeln die Auffassung der Autorenschaft 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.

Inhaltsverzeichnis

Summary	7
1 Einleitung	10
2 Aktuelle Marktentwicklung bei Rechenzentren	13
2.1 Marktgröße	14
2.2 Marktstruktur	19
2.3 Internationaler Kontext und Standortfaktoren	25
2.4 Bedeutung von Rechenzentren für den Arbeitsmarkt	27
3 Markt- und Technologietrends bei Rechenzentren	28
3.1 Aktuelle Trends und Kriterien bei der Auswahl eines Anbieters	29
3.2 Bereitstellungsmodelle	30
3.3 Edge Datacenter	33
3.4 GAIA-X	35
3.5 Chancen und Risiken	36
4 Rechenzentren und Nachhaltigkeit	38
4.1 Überblick – Nachhaltigkeit von Rechenzentren	39
4.2 Energiebedarf und Treibhausgasemissionen	45
4.3 Abwärmennutzung	50
4.4 Kältemittel in Rechenzentren	52
5 Vertiefungsthemen	53
5.1 Management in Rechenzentren	54
5.2 Sicherheitsaspekte von Rechenzentren	55
5.3 Rechenzentren und Telekommunikationsinfrastrukturen	58
Quellen	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Cloud und Edge (IT-Leistung)	14
Abbildung 2 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Cloud und Edge (IT-Fläche)	15
Abbildung 3 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Colocation (IT-Leistung)	16
Abbildung 4 – Delphi-Befragung: Welche Auswirkungen hat die Covid19-Pandemie aus Ihrer Sicht auf den Rechenzentrumsmarkt?	17
Abbildung 5 – RZ-Betreibenden-Befragung: Planen Sie in den nächsten zwei Jahren Investitionen in Ihrem Rechenzentrum / Ihren Rechenzentren?	18
Abbildung 6 – Experten-Befragung: Wie entwickelt sich die Bedeutung der folgenden RZ-Konzepte / Bereitstellungsmodelle bis zum Jahr 2025 in Deutschland?	19
Abbildung 7 – Unternehmens-Befragung: Wie viele eigene Rechenzentren betreibt Ihr Unternehmen in Deutschland heute bzw. in 3 Jahren?	20
Abbildung 8 – RZ-Kapazitäten in Deutschland – Aufteilung RZ-Größen (IT-Leistung)	21
Abbildung 9 – RZ-Kapazitäten in Frankfurt/Rhein-Main (Angebot in Megawatt)	22
Abbildung 10 – Verteilung der RZ-Dichte in Deutschland (IT-Anschlussleistung/Einwohner)	23
Abbildung 11 – Experten-Befragung: Wie entwickeln sich aus Ihrer Sicht die folgenden Regionen als Rechenzentrumstandorte in Deutschland?	24
Abbildung 12 – Experten-Befragung: Wie wichtig sind aus ihrer Sicht die folgenden Standortfaktoren für Rechenzentren und wie bewerten Sie den Standort Deutschland bzgl. dieser Standortfaktoren?	25
Abbildung 13 – Delphi-Befragung: Wie bewerten Sie Deutschland bzw. Europa als Rechenzentrumsstandort im weltweiten Vergleich?	26
Abbildung 14 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie den Markt für Arbeitskräfte in Rechenzentren?	27
Abbildung 15 – Unternehmens-Befragung: Wie wichtig sind bzw. wären Ihnen die folgenden Kriterien bei der Auswahl eines Anbieters für Rechenzentrumsleistungen und rechenzentrumsnahe Dienstleistungen?	29
Abbildung 16 – Unternehmens-Befragung: Welche Bereitstellungsmodelle für zentrale IT-Dienste nutzen Sie?	30
Abbildung 17 – Unternehmens-Befragung: Wie wird sich die Nutzung von Cloud-Diensten in Ihrem Unternehmen in den nächsten drei Jahren voraussichtlich entwickeln?	31
Abbildung 18 – Verortung von Edge Datacentern – Zwischen zentraler Cloud und Endanwendungen	33
Abbildung 19 – Experten-Befragung: Welche Bedeutung hat Ihrer Meinung nach GAIA-X für den europäischen RZ-Markt?	35
Abbildung 20 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie folgende Chancen für die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Deutschland?	36
Abbildung 21 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie folgende Risiken für die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Deutschland?	37
Abbildung 22 – Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen	39
Abbildung 23 – Unternehmens-Befragung: Welche der folgenden Aspekte sind Ihnen in Bezug auf den IT-Betrieb und die IT-Nutzung in Ihrem Unternehmen am wichtigsten?	40

Abbildung 24 – Experten-Befragung: Welchen Einfluss werden politische Klimaschutzmaßnahmen auf den Bau und Betrieb von Rechenzentren haben? _____	41
Abbildung 25 – Experten-Befragung: Welchen Einfluss werden die Auswirkungen des Klimawandels (z. B. Hitze, Überschwemmung, Trockenheit) auf den Bau und Betrieb von Rechenzentren haben? _____	42
Abbildung 26 – Unternehmens-Befragung: Welche der folgenden Maßnahmen für eine nachhaltige IT haben Sie in Ihrem Unternehmen bereits umgesetzt? _____	43
Abbildung 27 – Experten-Befragung: Wie schätzen Sie die Wirksamkeit folgender politischer Maßnahmen ein, um den Rechenzentrumsbetrieb nachhaltiger zu gestalten? _____	44
Abbildung 28 – Energiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland (in Mrd. kWh/a) _____	45
Abbildung 29 – Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland (in Mio. t CO ₂ /a) _____	46
Abbildung 30 – Experten-Befragung: Wie sieht Ihr Rechenzentrum / sehen Ihre Rechenzentren im Jahr 2030 im Vergleich zu heute aus? _____	47
Abbildung 31 – Mögliche künftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland _____	48
Abbildung 32 – Experten-Befragung: Wie schätzen Sie die Potenziale für die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren durch folgende Maßnahmen? _____	49
Abbildung 33 – Experten-Befragung: Wenn Sie bisher keine Abwärme nutzen, warum? _____	50
Abbildung 34 – RZ-Betreibenden-Befragung: Nutzen Sie die Abwärme Ihres Rechenzentrums / Ihrer Rechenzentren? _____	51
Abbildung 35 – RZ-Betreibenden-Befragung: Welches Redundanzkonzept verfolgt Ihr Unternehmen bei der Standortwahl? _____	55
Abbildung 36 – RZ-Betreibenden-Befragung: Welche Redundanz (bezogen auf RZ-Infrastruktur) fordert Ihr Unternehmen? _____	56
Abbildung 37 – Delphi-Expertenbefragung: Wie entwickelt sich aus ihrer Sicht die Bedeutung folgender Themen in den nächsten 3 Jahren? _____	58

Mit freundlicher Unterstützung von

The logo for e-on, featuring the text "e-on" in a red, lowercase, sans-serif font.The logo for EnBW, featuring a horizontal orange line followed by the text "EnBW" in a blue, sans-serif font.The logo for EQUINIX, featuring a red icon of a building facade above the text "EQUINIX" in a black, uppercase, sans-serif font.The logo for interxion, featuring the text "interxion" in a blue, lowercase, sans-serif font.The logo for legrand, featuring a black icon of a plug followed by the text "legrand" in a red, lowercase, sans-serif font.The logo for noris network, featuring the text "noris" in white on a black rectangular background, followed by the text "network" in a black, lowercase, sans-serif font.The logo for NTT, featuring a blue circular icon with a white swirl inside, followed by the text "NTT" in a black, uppercase, sans-serif font.The logo for RITTAL, featuring a colorful icon of stacked rectangular blocks in shades of pink, blue, and green, above the text "RITTAL" in a black, uppercase, sans-serif font.The logo for Schneider Electric, featuring the text "Schneider" in green above the text "Electric" in a smaller green font, with a green circular icon to the right.The logo for SIEMENS, featuring the text "SIEMENS" in a teal, uppercase, sans-serif font on a light gray rectangular background.The logo for TELEHOUSE, featuring a blue icon of a house with a square window, followed by the text "TELEHOUSE" in a blue, uppercase, sans-serif font.The logo for VIAVI, featuring the text "VIAVI" in a purple, uppercase, sans-serif font above the text "VIAVI Solutions" in a smaller purple font.

Summary

Der Rechenzentrumsmarkt in Deutschland entwickelt sich dynamisch. Die zunehmende Digitalisierung aller Lebens- und Wirtschaftsbereiche erfordert immer mehr Rechenleistung in Rechenzentren. Rechenzentren sind gemeinsam mit den Telekommunikationsnetzen das Rückgrat der Digitalisierung. Nur mit leistungsfähigen Rechenzentren in Deutschland werden sich die politischen Ziele zur Digitalisierung von Wirtschaft, Bildungswesen und öffentlicher Verwaltung realisieren lassen.

Wie die vorliegende Studie zeigt, sind die Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland in den vergangenen fünf Jahren kontinuierlich und erheblich angestiegen. Gemessen an der maximalen Stromaufnahme der installierten Hardware sind die Kapazitäten zwischen 2016 und 2021 um 30 % gewachsen. Aktuell gibt es etwas mehr als 3.000 Rechenzentren mit mehr als 40 kW IT-Anschlussleistung in Deutschland. Insgesamt gibt es etwa 50.000 kleinere IT-Installationen und Rechenzentren in Deutschland. Begründet ist das Wachstum im Rechenzentrumsmarkt insbesondere durch den zunehmenden Ausbau von Cloud Computing Angeboten in Deutschland. Während sich die Kapazitäten in Cloud-Rechenzentren zwischen 2016 und 2021 um 150 % erhöht haben, stagnierten die traditionellen Rechenzentren auf konstantem Niveau. Das führt dazu, dass der Anteil der Cloud-Rechenzentren an den Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland zwischen 2016 und 2021 von 20 % auf 33 % angestiegen ist.

Auch zukünftig werden die Kapazitäten der Rechenzentren in Deutschland weiter zunehmen, bis zum Jahr 2025 werden

sie gegenüber 2021 voraussichtlich um über 20 % ansteigen. Cloud Computing wird sich bis dahin zum dominierenden Bereitstellungsmodell entwickeln und über 50 % der Rechenzentrumskapazitäten ausmachen. Diese Studie zeigt aber ebenfalls, dass künftig auch kleinere Rechenzentren am Rande des Internets – sogenannte Edge Datacenter – einen erheblichen Bedeutungszuwachs bekommen werden. Eng verbunden mit dem Ausbau der digitalen Infrastrukturen in Deutschland und Europa ist die Frage der digitalen Souveränität. Mit der Initiative GAIA-X besteht die Chance, in Europa gemeinsame Anforderungen an die Dateninfrastrukturen zu entwickeln und damit den Aufbau von leistungs- und wettbewerbsfähigen, sicheren und vertrauenswürdigen Infrastrukturen zu fördern.

Die Digitalisierung nimmt so schnell zu, dass trotz erheblicher Effizienzverbesserungen ein weiterer Ausbau der Rechenzentrumsinfrastruktur und ein Anstieg des damit verbundenen Energiebedarfs notwendig war und auch in Zukunft sein wird. Obwohl die Zahl der in Rechenzentren installierten Workloads pro verbrauchter Kilowattstunde Strom sich seit 2010 fast verfünffacht hat, benötigen Rechenzentren immer mehr Strom. Dass die mit dem zusätzlichen Energiebedarf verbundene Leistungssteigerung der Rechenzentren aber auch enorme Chancen für Umwelt und Nachhaltigkeit bietet, hat die Corona-Pandemie eindrucksvoll gezeigt. Der starke Anstieg der Nachfrage z.B. in den Bereichen Videokonferenzen, Video-streaming und E-Commerce konnte von den Rechenzentrums-Dienstleistern ohne große Schwierigkeiten abgefangen werden. Und – die durch Videokonferenzen und Homeoffice

ermöglichten Einsparungen von Treibhausgasemission im Verkehr wurden ohne merklichen zusätzlichen Anstieg der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren erreicht. Dieses plastische Beispiel dokumentiert gut die Wechselbeziehungen zwischen dem Betrieb von Rechenzentren und Nachhaltigkeit. Zwar erfordert der Betrieb von Rechenzentren Energie und Ressourcen – gleichzeitig sind Rechenzentren aber auch eine notwendige Voraussetzung dafür, dass viele Nachhaltigkeitsziele überhaupt erreicht werden können. Die in Rechenzentren laufenden digitalen Anwendungen ermöglichen nicht nur Einsparungen an Energie und Treibhausgasen in nahezu allen Lebens- und Arbeitsbereichen. Rechenzentren unterstützen auch eine ressourcenschonende Industrialisierung, fördern Innovationen und sind ein Teil einer nachhaltigen und widerstandsfähigen Infrastruktur.

Aufgrund der wachsenden Bedeutung von Rechenzentren ist es notwendig, ihre Errichtung und ihren Betrieb so energieeffizient und klimafreundlich wie möglich zu gestalten. Effizienzpotenziale müssen identifiziert und ausgeschöpft werden; der für den Betrieb von Rechenzentren notwendige Strom muss so klimafreundlich wie möglich produziert werden. Anforderungen an den klimaneutralen Betrieb von Rechenzentren müssen transparent und nachvollziehbar festgelegt werden. Hier ist zum einen die Rechenzentrumsbranche selbst gefordert, zum anderen braucht es aber auch geeignete Rahmenbedingungen und Rahmensetzungen. Dies zeigt deutlich das Beispiel der Abwärmenutzung aus Rechenzentren. Eine umfangreiche Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren ist nur möglich, wenn Wärmenetze

aus- und umgebaut werden sowie technische und wirtschaftliche Hemmnisse abgebaut werden. Erzeuger und Nutzer von Abwärme müssen zusammengebracht und Anreize zur Abwärmenutzung gesetzt werden.

Mit einer effizienten, klimafreundlichen, zuverlässigen und leistungsfähigen Rechenzentrumsinfrastruktur kann die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen und deutschen Wirtschaft gestärkt und gleichzeitig Nachhaltigkeits- und Klimaschutzziele erreicht werden.

1 Einleitung

Hintergrund

Rechenzentren (RZ) sind gemeinsam mit den Telekommunikationsnetzen die Basisinfrastruktur der Digitalisierung. Ihre Leistungsfähigkeit und ihre Bedeutung hat in den vergangenen Jahren immer mehr zugenommen. Die Corona-Pandemie hat diese hohe Bedeutung digitaler Infrastrukturen gerade in Krisenzeiten sehr deutlich gemacht. Gleichzeitig konnten die digitalen Infrastrukturen in Deutschland zeigen, dass auch auf massive Veränderungen z. B. im Datenvolumen und in den Nutzungsmustern der IT-Anwender flexibel reagiert werden konnte. Rechenzentren und Datennetze funktionierten mehr als zuverlässig und es kam zu keinen bekannten ernsthaften Problemen oder gar Ausfällen.

Trotz der enormen Bedeutung von Rechenzentren für die Digitalisierung ist allerdings das Wissen um die Strukturen und die Entwicklungen im Rechenzentrumsmarkt verhältnismäßig gering. Zur Anzahl und Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland gibt es beispielsweise aus dem letzten Jahrzehnt nur zwei Studien, die das Borderstep Institut für den Bitkom angefertigt hat (Hintemann, 2017b; Hintemann & Clausen, 2014). Die verhältnismäßig schlechte Informationslage zu Rechenzentren hat mehrere Gründe. Rechenzentren werden zu sehr unterschiedlichen Zwecken und von sehr unterschiedlichen Organisationen betrieben. Neben den Rechenzentren von IT-Dienstleistern gibt es eine Vielzahl von Rechenzentren, die z. B. von Unternehmen aller Branchen, wissenschaftlichen Einrichtungen und Hochschulen oder Behörden betrieben werden. Da die Daten und Anwendungen

in den Rechenzentren meist sehr wichtig, vertraulich und teilweise unternehmenskritisch sind, werden im Allgemeinen nur wenig Informationen über Rechenzentren kommuniziert. Offizielle Statistiken zu Rechenzentren gibt es bislang nicht. Insbesondere zur Entwicklung der Nutzung von Rechenzentrumsdiensten und -konzepten innerhalb des in Deutschland besonders bedeutenden Mittelstands gibt es kaum verlässliche Informationen.

Für eine Marktanalyse kommt erschwerend hinzu, dass die im Rechenzentrumsmarkt verwendeten Begriffe oft nicht eindeutig definiert sind und daher die vorhandenen Studien und Marktuntersuchungen teilweise zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen kommen. Selbst der Begriff Rechenzentrum wird in der unternehmerischen Praxis, in der Wissenschaft und auch im politischen Umfeld nicht einheitlich verwendet. Gleiches gilt für Begriffe wie Cloud Computing oder Edge Datacenter.

Ziele der Untersuchung

- Informationslage zu Rechenzentren in Deutschland weiter verbessern
- Aktuelle Daten zum Rechenzentrumsmarkt bereitstellen
- Chancen und Risiken für Rechenzentren identifizieren

Fokusthemen der Untersuchung

Die vorliegende Studie untersucht verschiedene Aspekte des Rechenzentrumsmarktes, von der Abschätzung der Entwick-

lung der Größe und Struktur des Marktes über die Analyse von aktuellen Markt- und Technologietrends, der Identifikation von Chancen und Risiken bis hin zur Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten von Rechenzentren. Außerdem werden die Themen Automatisierung, Ausfallsicherheit und Telekommunikationsnetze vertieft.

Zu Beginn wird erläutert, wie in der Untersuchung Rechenzentren von kleineren Installationen von IT-Hardware (IT-Installationen) abgegrenzt werden.

Die Fokusthemen der Untersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Begriffsverständnis Rechenzentrum
- Entwicklung Rechenzentrumsmarkt
- Struktur der Rechenzentren in Deutschland
- Entwicklung Rechenzentrumsstandort Deutschland und regionaler Teilmärkte
- Entwicklung unterschiedlicher Segmente (Cloud, On Premise, Colocation, Edge, etc.)
- Wesentliche Technologie- und Markttrends bei Rechenzentren
- Chancen und Risiken im Rechenzentrumsmarkt
- Rechenzentren und Nachhaltigkeit
- Automatisierung in Rechenzentren
- Konzepte zur Ausfallsicherheit
- Telekommunikationsnetze und Rechenzentren

Methodik

- Literaturrecherche
- Repräsentative Unternehmensbefragung in Deutschland (telefonisch, 554 befragte Unternehmen)
- Online-Experten- und Expertinnen-Befragung (130 befragte Personen, davon 70 Rechenzentrumsbetreibende), mit einer zweiten Befragungsrunde (Delphi, 90 Teilnehmende)
- Leitfadengestützte Experteninterviews (15 interviewte Personen)
- Analyse aktueller Markt- und Verkaufszahlen von Rechenzentrums-Hardware
- Modellierung von Marktentwicklungen mit Borderstep-Modell der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland

Allgemeine Definition »Rechenzentrum«

Rechenzentren können IT-Installationen in unterschiedlicher Größe sein

Unter einem Rechenzentrum verstehen wir in dieser Studie ein Gebäude – zumindest aber einen geschlossenen Raum – das neben dem IT-Betriebs-Bereich (Fläche für die IT-Infrastruktur) alle weiteren technischen Supportbereiche (Fläche für den Rechenzentrums-Infrastrukturbereich), umfasst.

Elemente eines Rechenzentrums sind:

- IT-Infrastruktur: alle Komponenten, die für den Betrieb der Software benötigt werden, wie z. B. Server, Storage, Netzwerktechnik, Sicherheitslösungen

- RZ-Infrastruktur: alle Komponenten, die dazu dienen, dass die IT-Infrastruktur betrieben werden kann, wie z. B. Stromversorgung und Verteilung, Kälte- und Klimatechnik, Sicherheitstechnik, Telekommunikationsverkabelung, Racks, Steuerungs- und Monitoringsysteme, Lager- und Verwaltungsräume

Diese allgemeine Definition legt keine Mindestgröße für Rechenzentren fest und umfasst auch kleine Serverräume mit wenigen Servern.

Abgrenzung von Rechenzentren zu kleineren IT-Installationen

Um Rechenzentren gegenüber kleinen IT-Installationen, einzelnen Serverracks und kleinen Serverräumen abzugrenzen, wird in dieser Studie erst von einem Rechenzentrum gesprochen, wenn mindestens eines dieser Kriterien erfüllt sind:

- Wenn 10 oder mehr Racks vorhanden sind
- Die IT-Anschlussleistung größer als 40 kW ist

Mit dieser Abgrenzung greifen wir eine Empfehlung des Bitkom-Arbeitskreises Rechenzentren auf.

Bei der Analyse des Rechenzentrumsmarktes werden im Folgenden auch die kleineren IT-Installationen einbezogen. Dies wird jeweils begrifflich kenntlich gemacht.

2 Aktuelle Marktentwicklung bei Rechenzentren

2.1 Marktgröße

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen

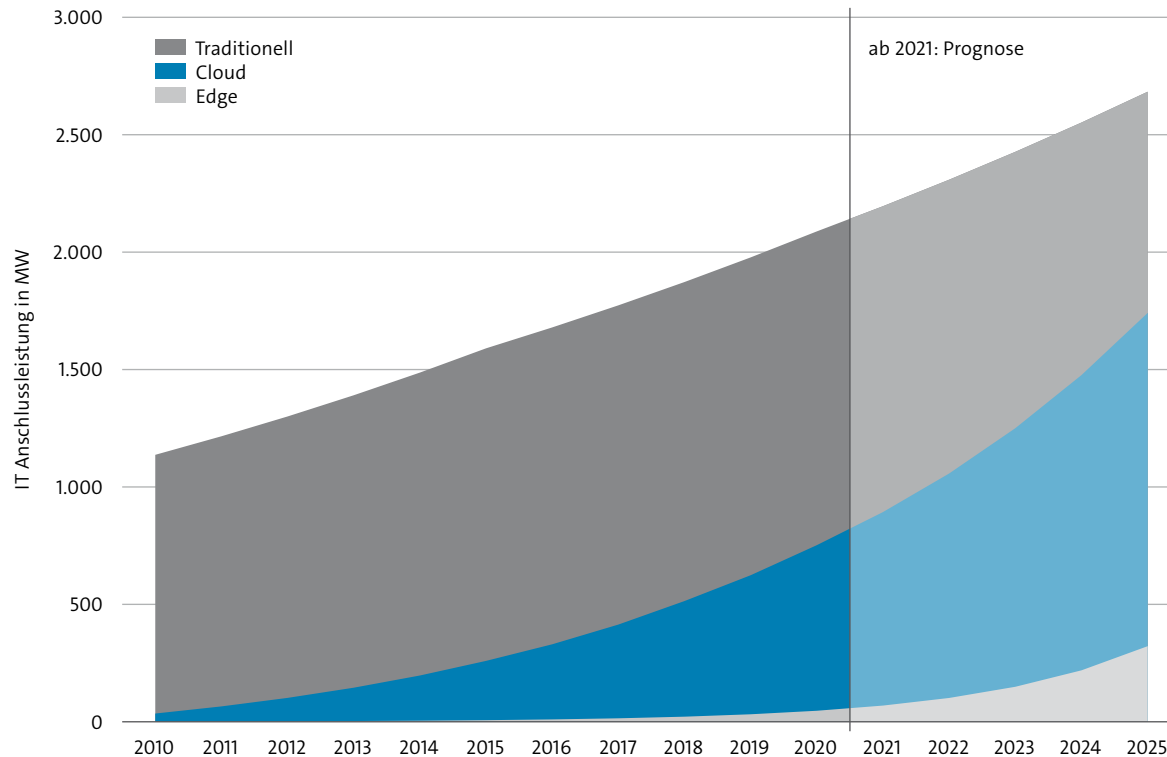


Abbildung 1 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Cloud und Edge (IT-Leistung)

Gesamte in Deutschland installierte IT-Leistung nimmt weiter zu

- Der Wachstumstrend bei Rechenzentren ist ungebrochen – zwischen 2016 und 2021 wuchsen die Kapazitäten gemessen in IT-Anschlussleistung um 30 %
- Die Cloud-Kapazitäten in Deutschland nehmen deutlich zu – zwischen 2016 und 2021 wuchsen sie um 150 %. Im Jahr 2021 machen sie 33 % der RZ-Kapazitäten aus (2016: 20 %)
- Im europäischen Vergleich hat Deutschland seit 2015 seine Position als Rechenzentrumsstandort etwas ausgebaut, liegt aber immer noch auf mittlerem Niveau
- Auch traditionelle Rechenzentren werden in Deutschland weiter betrieben, mit leicht abnehmendem Anteil
- Der Edge-Rechenzentrumsmarkt kommt erst langsam in Schwung

Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe eines umfangreichen Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland und Europa, das am Borderstep Institut entwickelt wurde und jährlich aktualisiert wird (Hintemann, 2021b; Hintemann, Fichter, & Stobbe, 2010). In dem Modell sind die Stückzahlen der in den Rechenzentren in Deutschland vorhandenen Server, Storage und Netzwerksysteme erfasst. Über Annahmen zur maximalen Leistungsaufnahme der Geräte wird die IT-Anschlussleistung abgeschätzt. In Abbildung 1 ist die IT-Anschlussleistung der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland dargestellt.

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen

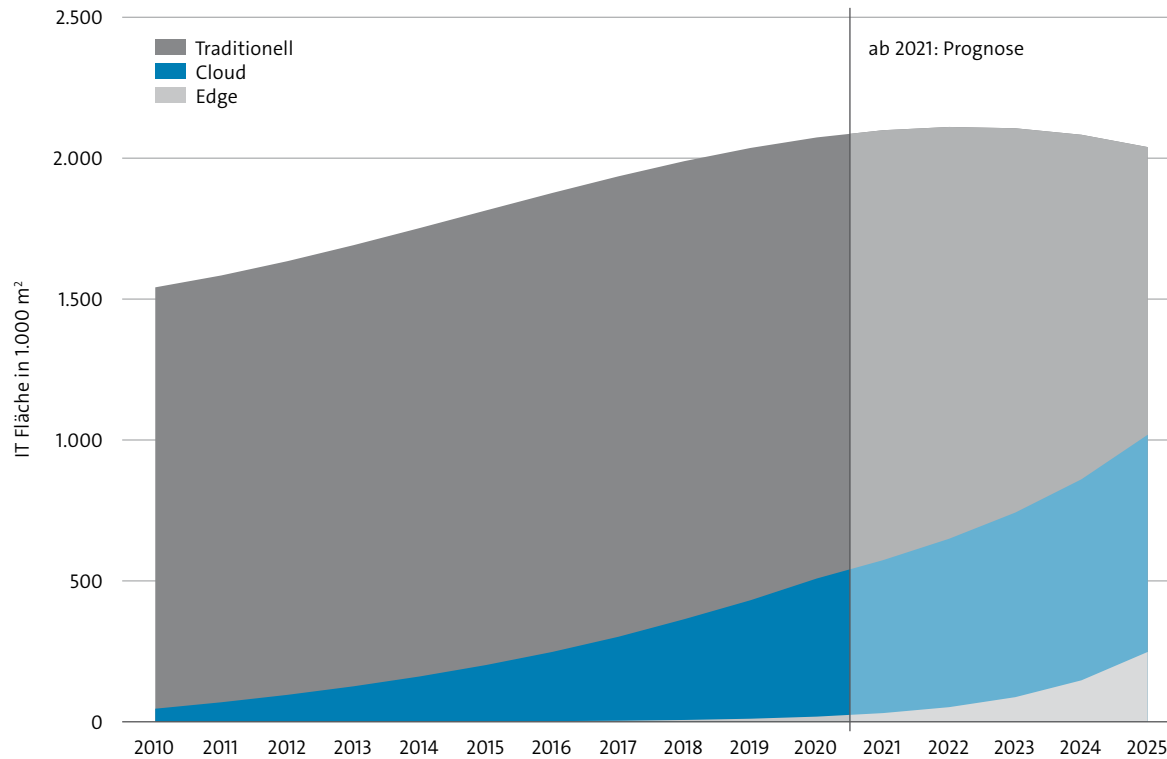


Abbildung 2 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Cloud und Edge (IT-Fläche)

Höhere Leistungsdichte führt zu stagnierender IT-Fläche

- Die Steigende Leistungsdichte in Rechenzentren führt dazu, dass die IT-Flächen in Summe nicht weiter ansteigen
- Die IT-Fläche als Maß zur Beschreibung der Entwicklung der RZ-Kapazitäten ist deshalb nur noch sehr bedingt geeignet

Die Berechnung der insgesamt in Deutschland vorhandenen IT-Fläche erfolgt – wie die Berechnung der IT-Leistung – mit Hilfe des Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland. In Abbildung 2 ist die IT-Fläche der Rechenzentren und der kleineren IT-Installationen in Deutschland dargestellt.

Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen

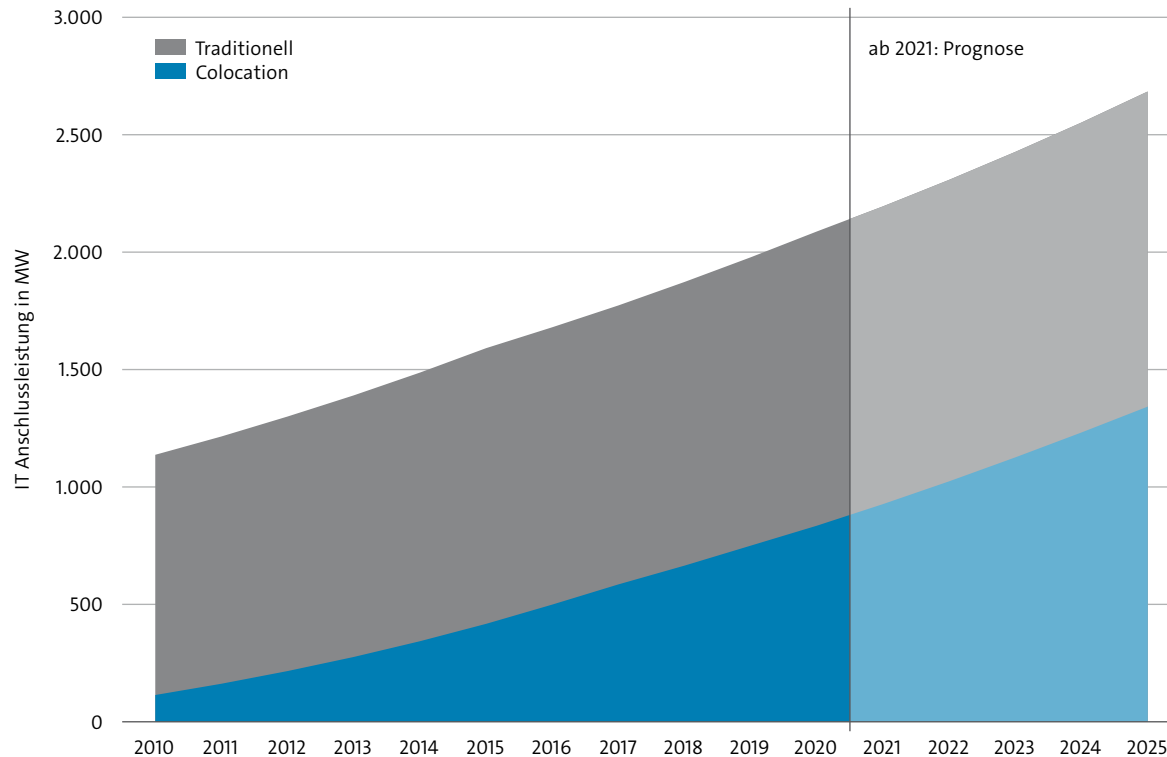


Abbildung 3 – RZ-Kapazitäten mit Anteil Colocation (IT-Leistung)

Anteil der Colocation-Rechenzentren an den IT-Kapazitäten nimmt deutlich zu

- Mindestens 10.000 Unternehmen in Deutschland nutzen Colocation-Services
- Im Jahr 2020 beträgt der Colocation-Anteil 40% der RZ-Kapazitäten in Deutschland
- Bis 2025 wird der Colocation-Anteil an den RZ-Kapazitäten auf 50% steigen
- Es scheint sich ein Trend abzuzeichnen, dass Hyperscale-Cloud-Anbieter künftig mehr auf Whole-Sale-Angebote setzen

Die Anzahl der Unternehmen in Deutschland (ab 20 Beschäftigte), die Colocation-Services nutzen, konnte mit Hilfe der repräsentativen Unternehmensbefragung ermittelt werden. Die Ermittlung des aktuellen und zukünftigen Anteils von Colocation-Rechenzentren an den RZ-Kapazitäten in Deutschland erfolgte über eine Auswertung vorhandener Untersuchungen zu dieser Thematik (CBRE, 2021; Hintemann & Clausen, 2018b; Howard-Healy, 2018) und durch Auswertung der Ergebnisse der Expertenbefragungen und -interviews. In Abbildung 3 ist die IT-Anschlussleistung der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland dargestellt.

Auswirkungen der Covid19-Pandemie auf den RZ-Markt



Abbildung 4 – Delphi-Befragung: Welche Auswirkungen hat die Covid19-Pandemie aus Ihrer Sicht auf den Rechenzentrumsmarkt?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 85) | RZ = Rechenzentrum

Cloud-Rechenzentren profitieren, in traditionelle Rechenzentren wurde 2020 weniger investiert

Auf Basis der im Vorhaben durchgeführten Befragungen und unter Berücksichtigung der Entwicklung der Verkaufszahlen für IT-Hardware in Deutschland sowie vorhandener Untersuchungen zu den Auswirkungen der Corona-Krise auf Rechenzentren (eco & Arthur D. Little, 2020; Hintemann, 2021b; IDC, 2020) können folgende Schlussfolgerungen für Deutschland gezogen werden:

- Erhöhte Nachfrage nach Cloud-Diensten und Online-Business führt weltweit zu deutlichem Wachstum bei Cloud-RZ-Kapazitäten
- Der starke Anstieg der Nachfrage z. B. in den Bereichen Videokonferenzen, Videostreaming und E-Commerce konnte von den Rechenzentrums-Dienstleistern abgefangen werden
- Videokonferenzen und Homeoffice sparten viele Treibhausgasemissionen im Verkehr, führten aber nicht zu einem merklichen Anstieg der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren
- In Deutschland konnten die RZ-Kapazitäten aufgrund von Lieferengpässen, etc. nicht so wie geplant ausgeweitet werden. Die Marktnachfrage hätte ein größeres Wachstum ermöglicht
- Investitionen in traditionelle Rechenzentren stockten 2020
- Die Menge der im Internet übertragenen Daten stieg 2020 deutlich stärker als vorhergesehen an
- Covid-19 hat das Bewusstsein für die Bedeutung regionaler/nationaler Lieferketten gestärkt

Investitionen in Rechenzentren

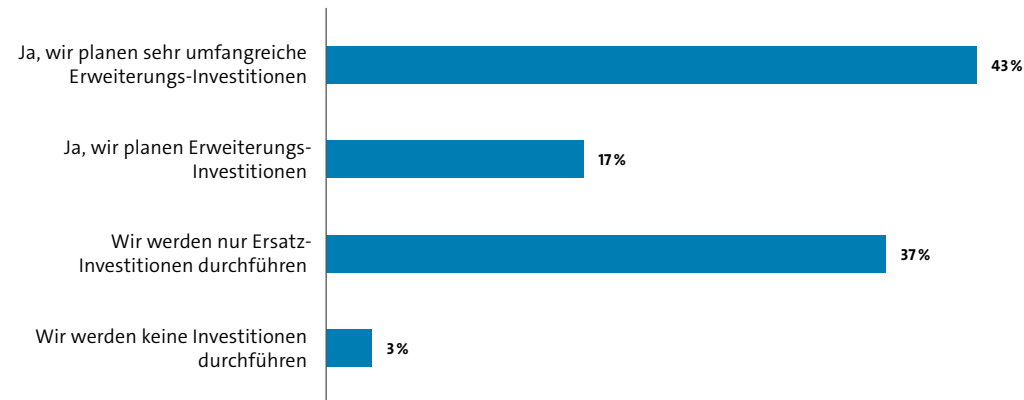


Abbildung 5 – RZ-Betreibenden-Befragung: Planen Sie in den nächsten zwei Jahren Investitionen in Ihrem Rechenzentrum / Ihren Rechenzentren?

Befragung von RZ-Betreibenden durch Borderstep (30.08.–06.10.2021: n = 63) | RZ = Rechenzentrum

Ungebrochener Trend, in Rechenzentren zu investieren

- Die Investitionen in RZ-Infrastrukturen in Deutschland steigen weiter an
- Aktuell werden jährlich schätzungsweise ca. 2,5 Mrd. € in RZ-Infrastrukturen (Gebäude und technische Gebäudeausrüstung) investiert. Damit haben sich die Investitionen in den letzten fünf Jahren um mehr als 150 % erhöht.
- Die Investitionen in IT-Hardware (Server, Storage, Netzwerk) in Rechenzentren und IT-Infrastrukturen in Deutschland belaufen sich aktuell auf ca. 7 Mrd. €
- Auch deutsche Zulieferer profitieren vom Rechenzentrumsboom, aber es ist eine Tendenz zu Internationalisierung festzustellen

Die Abschätzungen zu den Entwicklungen der Investitionen in Rechenzentren erfolgen auf Basis des Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Befragung von RZ-Betreibenden sowie einer zusammenfassenden Betrachtung der aktuell in den Fachmedien dargestellten Neubau-RZ-Projekten.

2.2 Marktstruktur

Bedeutung von RZ-Konzepten und Bereitstellungsmodellen

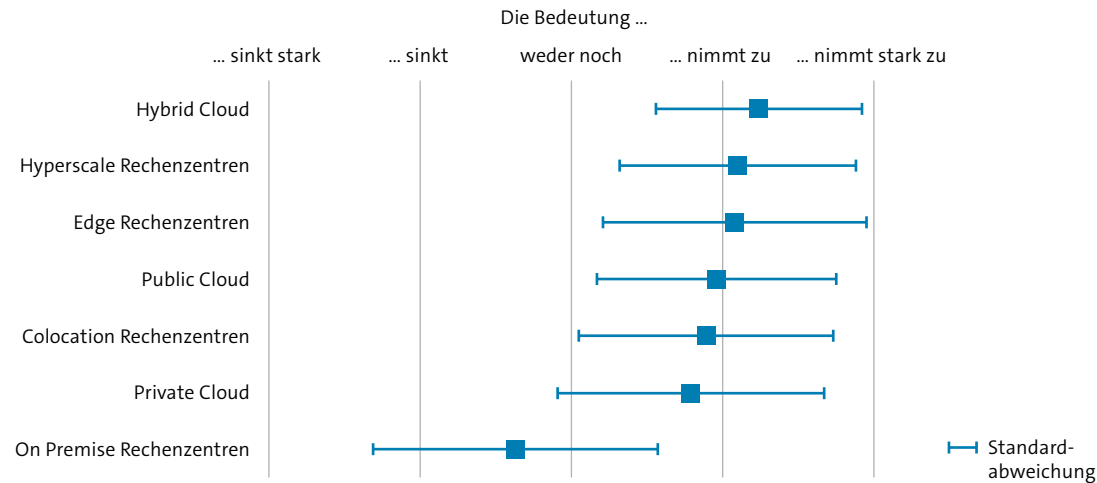


Abbildung 6 – Experten-Befragung: Wie entwickelt sich die Bedeutung der folgenden RZ-Konzepte / Bereitstellungsmodelle bis zum Jahr 2025 in Deutschland?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 131)

Experten: Deutliche Zunahme der Bedeutung von Cloud-Lösungen

Aus Sicht der befragten RZ-Experten nimmt die Bedeutung von Cloud-Bereitstellungsmodellen in Deutschland auch in Zukunft zu. Auch für Colocation Rechenzentren und für Edge Rechenzentren wird eine Zunahme der Bedeutung angenommen. Dahingegen geht die Mehrheit der Experten davon aus, dass die Bedeutung von On Premise Rechenzentren abnimmt. Im Mittel wird allerdings nur ein geringer Rückgang bei On Premise Rechenzentren erwartet.

Diese Experteneinschätzung wird durch die verfügbaren Marktprognosen für Verkäufe von IT-Hardware bestätigt.

Anzahl der Rechenzentren in Unternehmen

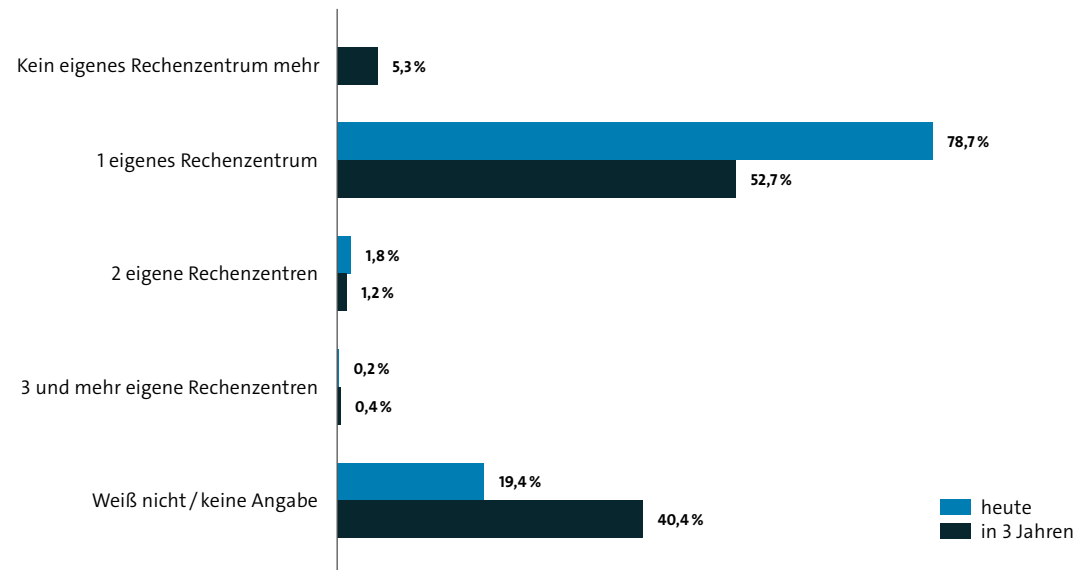


Abbildung 7 – Unternehmens-Befragung: Wie viele eigene Rechenzentren betreibt Ihr Unternehmen in Deutschland heute bzw. in 3 Jahren?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research
Nur Antworten von Unternehmen mit Rechenzentren (n = 109) | Gewichtung Unternehmensgröße und Branche

Nur wenige Unternehmen planen fest den Abbau eigener Rechenzentren

Auch die repräsentative Unternehmensbefragung zeigt, dass trotz des starken Wachstums von public- und private Cloud Angeboten, sowie des Collocation-Angebots, bislang nur wenige Unternehmen planen, ihre eigenen Rechenzentren abzubauen. 5,3% der Unternehmen, die aktuell ein Rechenzentrum betreiben, gehen davon aus, dass sie in drei Jahren kein eigenes Rechenzentrum mehr betreiben. Auffällig ist allerdings, dass die Zahl derjenigen, die keine Angabe über den zukünftigen Betrieb von Rechenzentren machen können bzw. wollen, bei über 40% liegt. Dieser Anteil ist mehr als doppelt so hoch wie der Anteil der Unternehmen, die keine Angaben zum aktuellen Betrieb von Rechenzentren machen können/wollen.

Dieser Sachverhalt kann so interpretiert werden, dass ein hoher Anteil der Unternehmen bislang noch keine Entscheidung über den zukünftigen Betrieb von Rechenzentren gefällt haben. Auch die Experteninterviews bestätigen, dass insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen sich hinsichtlich dieser Frage aktuell noch in der Entscheidungsphase befinden.

Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland

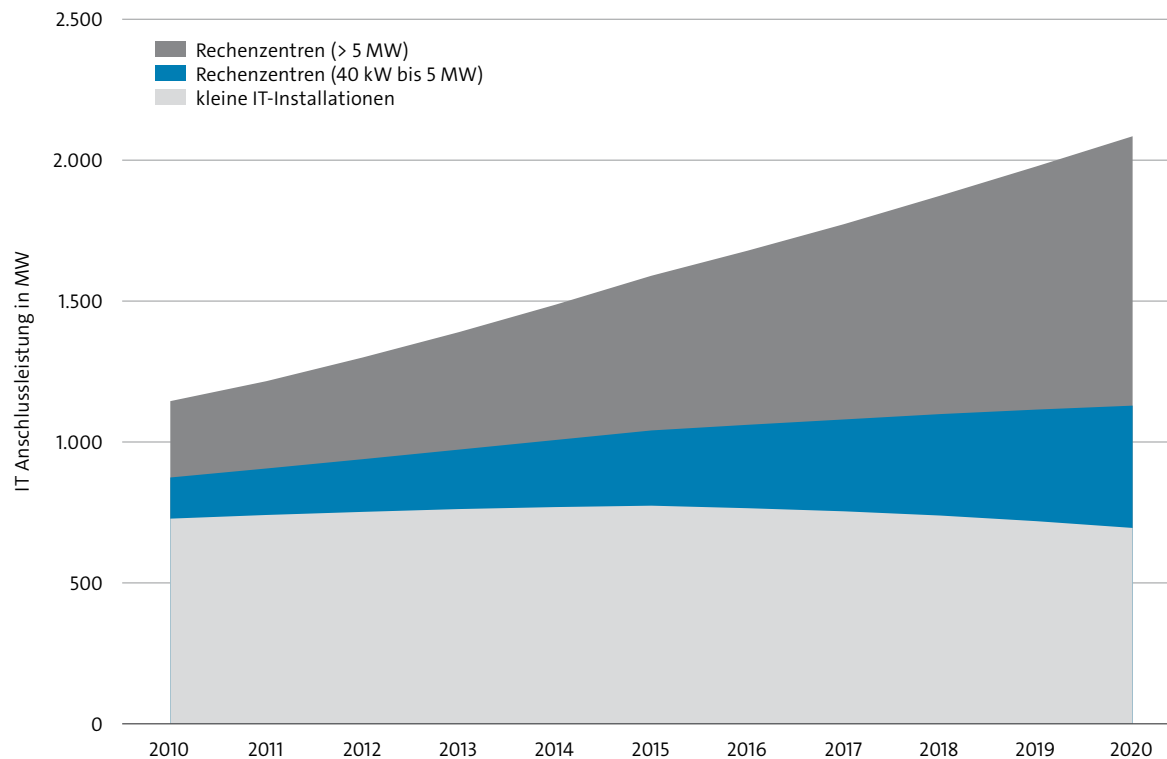


Abbildung 8 – RZ-Kapazitäten in Deutschland – Aufteilung RZ-Größen (IT-Leistung)

Große Rechenzentren für Wachstum der Kapazitäten verantwortlich

- Die Unternehmensbefragung bestätigt die Zahl von ca. 50.000 Rechenzentren, Serverräumen und einzelnen Serverschränken in Deutschland (Hintemann, 2017b)
- Die Zahl der Rechenzentren mit mindestens 40 kW IT-Anschlussleistung liegt bei ca. 3.000, davon 90 mit mehr als 5 MW
- Das Wachstum der RZ-Kapazitäten ist insbesondere auf die großen Rechenzentren (> 5 MW) zurückzuführen
- Die RZ-Kapazitäten bei kleinen IT-Installationen sind bisher rückläufig – künftig ist in diesem Segment aber wieder ein Wachstum durch den Edge-Trend möglich

Die Auswertung der repräsentativen Unternehmensbefragung zeigt, dass die Zahl der Unternehmen in Deutschland, die Rechenzentren oder kleine IT-Installationen betreiben, bei ca. 35.000 liegt. Hinzu kommen Rechenzentren aus Kommunen, Behörden, Bildungseinrichtungen sowie die Rechenzentren von IT-Dienstleistern. Damit kann die bisher oft genannte Größenordnung von ca. 50.000 Rechenzentren und kleinen IT-Installationen in Deutschland als plausibel bestätigt werden.

Die Zahl der Rechenzentren gemäß der in dieser Studie verwendeten Größenabgrenzung (mehr als 40 kW IT-Anschlussleistung) liegt nach Auswertung der Unternehmensbefragung bei ca. 3.000, die Zahl der im Rahmen der Recherche ermittelten Rechenzentren mit mehr als 5 MW IT-Anschlussleistung bei 90.

Rechenzentrumsstandorte in Deutschland

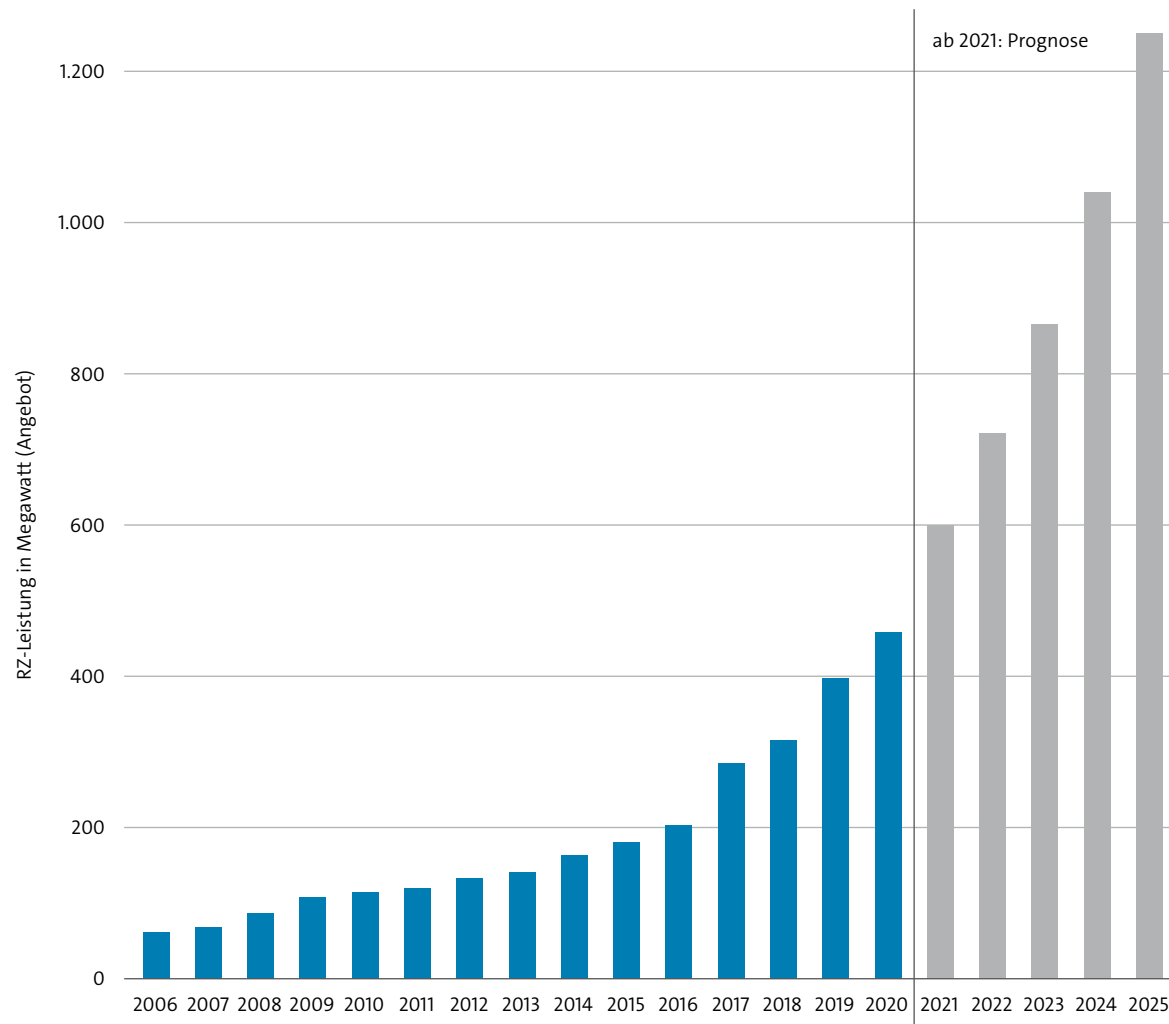


Abbildung 9 – RZ-Kapazitäten in Frankfurt/Rhein-Main (Angebot in Megawatt)

Wachstum der RZ-Kapazitäten im Raum Frankfurt/Rhein-Main

- Die Region Frankfurt/Rhein-Main baut die Top-Position in Deutschland und Europa aus
- Die RZ-Kapazitäten im Raum Frankfurt/Rhein-Main werden sich bis 2025 voraussichtlich verdoppeln
- Aktuell werden pro Jahr so viel RZ-Kapazitäten zusätzlich aufgebaut, wie im Jahr 2010 insgesamt in der Region vorhanden waren
- Frankfurt/Rhein-Main-Gebiet bleibt neben London der mit Abstand größte RZ-Hotspot in Europa

Die Region Frankfurt/Rhein-Main gehört neben London zu den Top-Rechenzentrumsstandorten in Europa. Durch den DE-CIX, einem der größten Internetknoten der Welt, aufgrund der zentralen Lage in Deutschland und Europa und auch wegen des Brexits wächst der Standort weiter (CBRE, 2020; Digital HUB, 2017; Hintemann, 2021a; Zachmann, 2020). Eine Analyse aktueller Projekte zum Bau von Rechenzentren in der Region (CloudHQ, 2020; Heunemann & Frankfurt, 2020; Iding, 2019; Schlegl, 2020; Stadt Offenbach, 2020) zeigt, dass die relative Bedeutung der Region im europäischen Vergleich in Zukunft noch weiter zunehmen wird.

Hinweis: Die in Abbildung 9 dargestellte *angebotene* RZ-Leistung ist höher als die in dieser Studie an anderer Stelle ermittelte tatsächliche IT-Anschlussleistung der *installierten Hardware*.

Rechenzentrumsstandorte in Deutschland



Abbildung 10 – Verteilung der RZ-Dichte in Deutschland (IT-Anschlussleistung/Einwohner)

Quelle: Hintemann, Hinterholzer, Grothey (2021)

RZ-Kapazitäten in Deutschland ungleich verteilt: Starke Konzentration im Rhein-Main-Gebiet

Die sehr hohe nationale Bedeutung der Region Frankfurt/Rhein-Main als Standort für Rechenzentren wird auch darin dokumentiert, dass das Bundesland Hessen mit Abstand die höchste Dichte an Rechenzentren in Deutschland aufweist. Gemessen an der IT-Leistung pro Einwohner weist Hessen einen mehr als dreimal höheren Wert auf als die Stadtstaaten Hamburg und Berlin. Im Vergleich zu anderen Flächenstaaten wie Bayern, Nordrhein-Westfalen oder Baden-Württemberg ist die Rechenzentrumsdichte in Hessen sogar etwa fünfmal so hoch (Hintemann et al., 2021).

Neben Frankfurt/Rhein-Main sind vor allem die Regionen um die Städte Berlin, München, Hamburg, Köln/Düsseldorf, Leipzig/Dresden, Stuttgart und Nürnberg weitere bedeutende RZ-Standorte in Deutschland.

Bedeutung von Rechenzentrumsstandorten in Deutschland

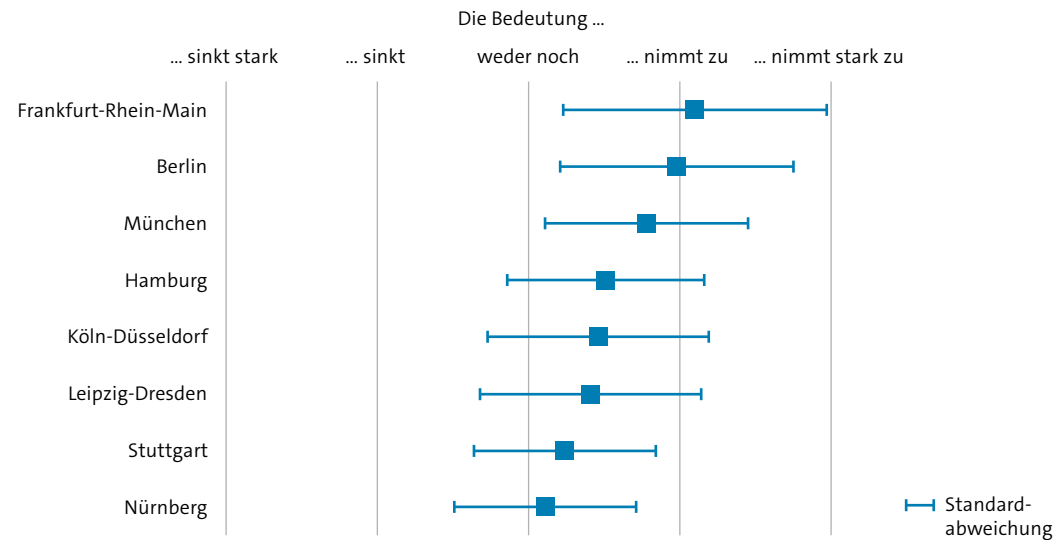


Abbildung 11 – Experten-Befragung: Wie entwickeln sich aus Ihrer Sicht die folgenden Regionen als Rechenzentrumstandorte in Deutschland?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n=103)

Experten: Berlin ist attraktiver Standort für neue Rechenzentren

Im Rahmen der Expertenbefragung und der Experteninterviews wurde mit großer Mehrheit die Meinung vertreten, dass alle größeren deutschen Rechenzentrumsstandorte in Deutschland in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen werden, wobei insbesondere Frankfurt/Rhein-Main und Berlin aus aktueller Sicht besonders stark wachsen (Abbildung 11).

- Die Bedeutung aller größeren deutschen Rechenzentrumsstandorte wird weiter zunehmen
- Experten sind sich einig, dass Frankfurt/Rhein-Main seine Position als Top-Standort weiter ausbaut
- Auch die Bedeutung von Berlin als Standort wird nach Meinung der Experten zunehmen – aktuell gibt es Projekte in Berlin mit Kapazitäten von mehr als 200 MW
- Der deutsche Rechenzentrumsmarkt wird vielfältiger durch neue Akteure wie Stadtwerke, Energieversorger, Immobilien-Investoren/Real-Estate-Investment-Trusts (REITS)

2.3 Internationaler Kontext und Standortfaktoren

Bewertung von Standortfaktoren in Deutschland

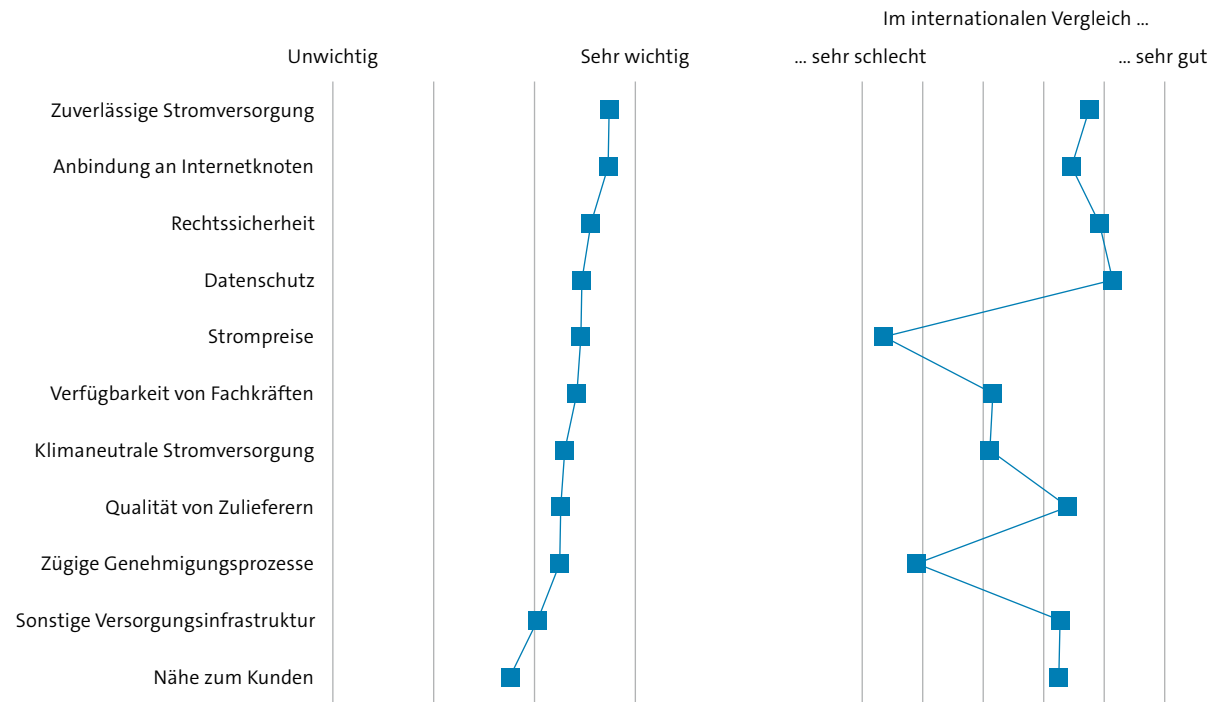


Abbildung 12 – Experten-Befragung: Wie wichtig sind aus ihrer Sicht die folgenden Standortfaktoren für Rechenzentren und wie bewerten Sie den Standort Deutschland bzgl. dieser Standortfaktoren?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n=115)

Experten: Deutschland ist top bei wichtigen Standortfaktoren

Als Standortfaktoren für Rechenzentren sind gemäß der Experten-Befragung die zuverlässige Stromversorgung, die gute Anbindung an Internetknoten, Rechtssicherheit und Datenschutz besonders bedeutsam. Der Standort Deutschland wird bei diesen vier Standortfaktoren gut bis sehr gut bewertet. Allerdings ist anzumerken, dass auch die Strompreise, die Verfügbarkeit von Fachkräften, klimaneutrale Stromversorgung und zügige Genehmigungsprozesse als wichtige Standortfaktoren bewertet werden. Hier schneidet Deutschland im internationalen Vergleich verhältnismäßig schlecht ab, bei den Strompreisen und den Genehmigungsprozessen sogar sehr schlecht.

Bewertung von Deutschland und Europa als RZ-Standort

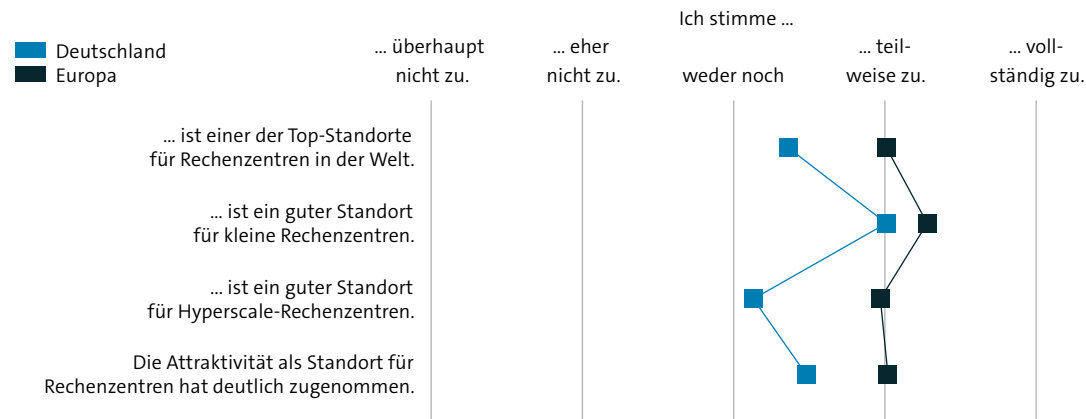


Abbildung 13 – Delphi-Befragung: Wie bewerten Sie Deutschland bzw. Europa als Rechenzentrumsstandort im weltweiten Vergleich?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 90)

Experten: Deutschland punktet im Vergleich zu Europa weniger

Im weltweiten Vergleich erhält der Rechenzentrumsstandort Deutschland in der bei den Experten durchgeführten Delphi-Befragung eine mittlere Bewertung. Innerhalb von Europa wird Deutschland schlechter als der Durchschnitt bewertet.

Nach Meinung der Experten ist Deutschland am ehesten für kleine Rechenzentren ein guter Standort – als Standort für Hyperscale-Rechenzentren schneidet Deutschland nicht gut ab – deutlich schlechter als der europäische Durchschnitt.

Die Attraktivität des Standortes Deutschland hat nach Meinung der Experten in den letzten Jahren zugenommen, allerdings weniger deutlich als im europäischen Vergleich.

2.4 Bedeutung von Rechenzentren für den Arbeitsmarkt

Arbeitsplatzwirkungen von Rechenzentren

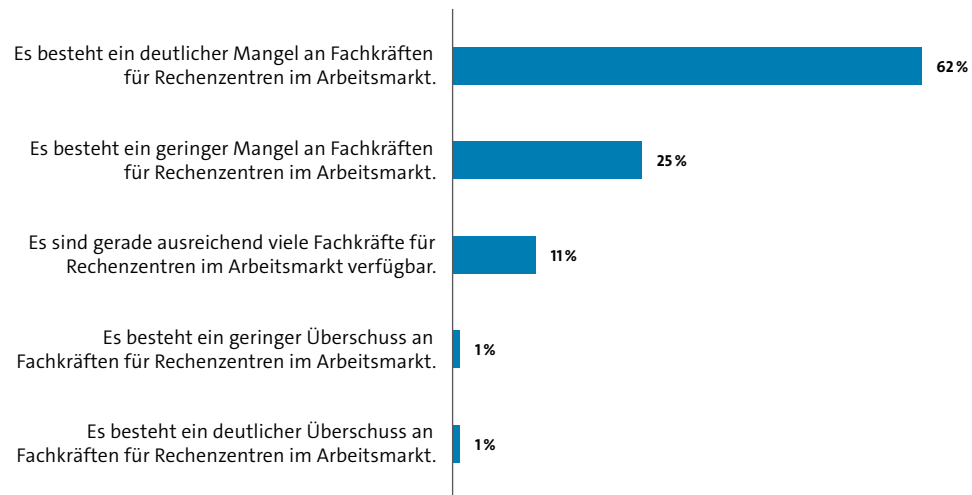


Abbildung 14 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie den Markt für Arbeitskräfte in Rechenzentren?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 81)

Experten: Fachkräftemangel für Arbeitskräfte in Rechenzentren

Die Bedeutung der Rechenzentrumsbranche als Arbeitgeber nimmt ständig zu. In Deutschland sind etwa 130.000 Arbeitskräfte (Vollzeit) in RZ beschäftigt, 80.000 weitere Arbeitsplätze sind direkt von der Branche abhängig (Hintemann & Clausen, 2018a). In Europa gibt es etwa 600.000 Vollzeitbeschäftigte in RZ, weltweit ca. 2.000.000. Bis zum Jahr 2025 wird mit einem Anstieg des Bedarfs an Arbeitskräften für Rechenzentren in Europa von 14% gerechnet (Uptime Institute Intelligence, 2021). Für Deutschland ist schon heute ein Fachkräftemangel festzustellen (Abbildung 14).

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»Rechenzentren schaffen Arbeitsplätze durch Ansiedlung anderer Unternehmen im Umfeld – Wirkungen wie bei Silicon Valley«

»Große Cloud-Anbieter ziehen andere Unternehmen an«

»Was früher Bahnhöfe und Flughäfen waren, könnten künftig Rechenzentren werden«

»Die Zahl der Arbeitsplätze bei großen RZ-Betreibern nimmt deutlich zu«

»Im RZ-Umfeld entwickelt sich ein Ökosystem, da die RZ aus der Region versorgt werden«

»Pro Arbeitsplatz im RZ werden mindestens drei Arbeitsplätze im Umfeld geschaffen«

3 Markt- und Technologietrends bei Rechenzentren

3.1 Aktuelle Trends und Kriterien bei der Auswahl eines Anbieters

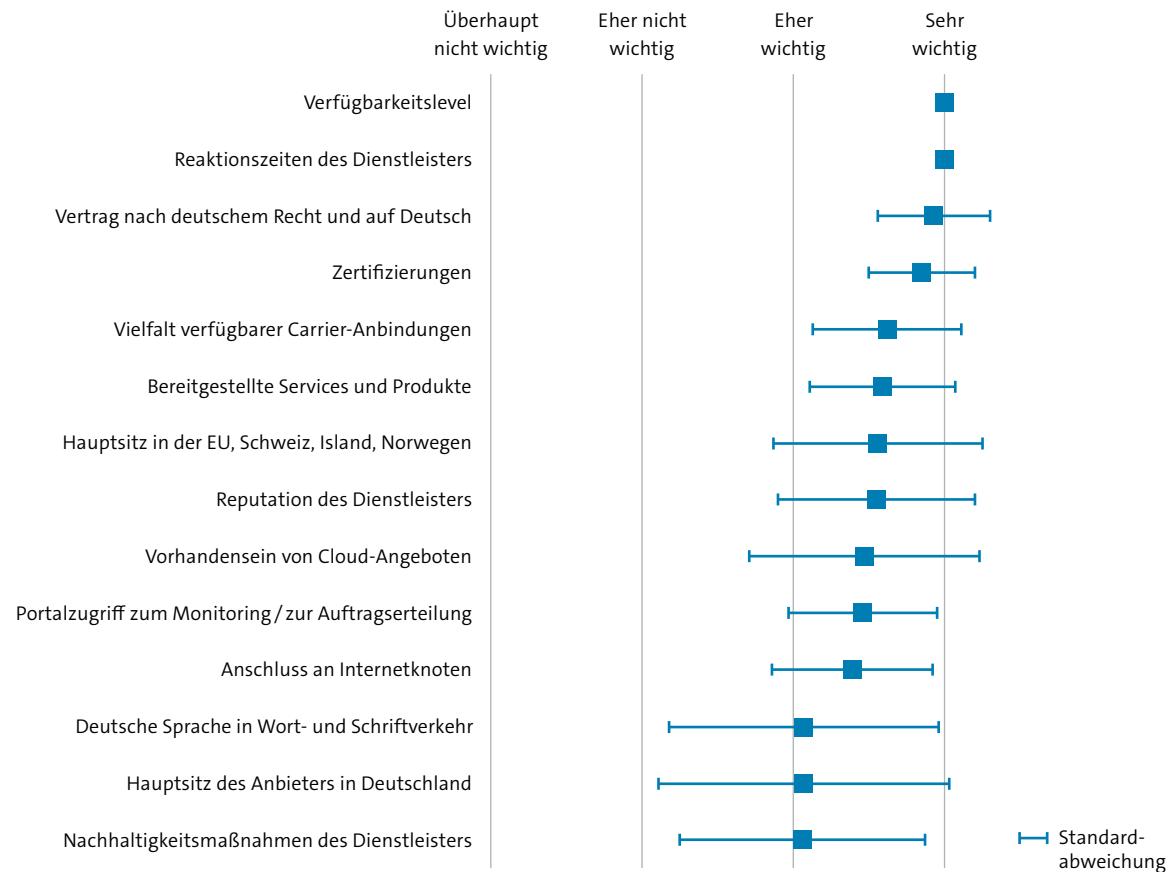


Abbildung 15 – Unternehmens-Befragung: Wie wichtig sind bzw. wären Ihnen die folgenden Kriterien bei der Auswahl eines Anbieters für Rechenzentrumsleistungen und rechenzentrumsnahen Dienstleistungen?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research (n = 554)
 Gewichtung Unternehmensgröße und Branche

Wesentliche Markt- und Technologietrends

- Cloud, ISP-Dienste, Hosting und Managed Services als Top-Bereitstellungsmodelle
- Wachstum an beiden Enden des Marktes erwartet: Hyperscale und Edge Datacenter
- Steigende Leistungsdichte im Rechenzentrum
- Zunehmende Bedeutung digitaler Souveränität und Sicherheit mit GAIA-X
- Nachhaltigkeit – insbesondere klimafreundlicher RZ-Betrieb und Abwärmenutzung

Kriterien für die Auswahl von RZ-Dienstleistungen

Unternehmen fordern insbesondere hohe Verfügbarkeit und schnelle Reaktionszeiten

- In Abbildung 15 sind nur Kriterien dargestellt, die von den Unternehmen in Deutschland durchschnittlich mindestens mit »eher wichtig« bewertet wurden
- Unter den Befragten herrscht Einigkeit, dass das Verfügbarkeitslevel und Reaktionszeiten des Dienstleisters sehr wichtige Kriterien darstellen
- Bei den Fragen, ob ein Anbieter seinen Hauptsitz in Deutschland hat, die deutsche Sprache spricht und inwiefern er Nachhaltigkeitsmaßnahmen ergreift, geht das Spektrum der Antworten relativ weit auseinander. Sie werden durchschnittlich als »eher wichtig« bewertet

3.2 Bereitstellungsmodelle

Bereitstellungsmodelle: Welche Modelle werden aktuell genutzt

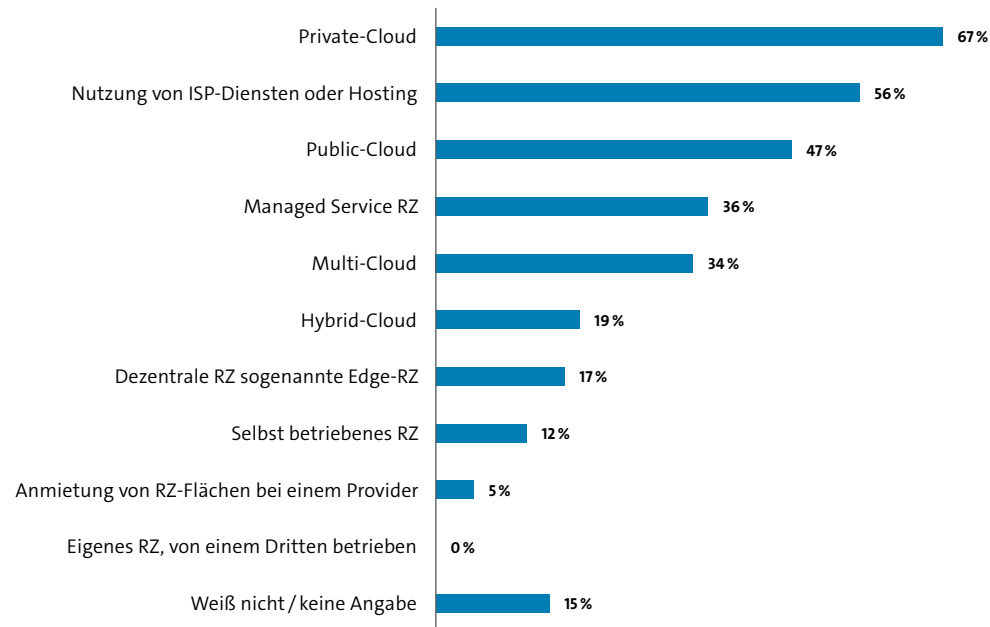


Abbildung 16 – Unternehmens-Befragung: Welche Bereitstellungsmodelle für zentrale IT-Dienste nutzen Sie?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research (n = 554)
 Gewichtung Unternehmensgröße und Branche | ISP = Internet Service Provider, RZ = Rechenzentrum

Einschätzungen und Prognosen

- Mehr als jedes zweite Unternehmen nutzt die Private Cloud sowie ISP-Dienste und Hosting
- Auch die Public Cloud ist mit mittlerweile 47% sehr beliebt in deutschen Unternehmen
- Managed Service Rechenzentren nutzen ca. 36% der Unternehmen
- Ca. 19% der Unternehmen nutzen Dienste, die über Hybrid-Cloud Umgebungen bereitgestellt werden
- Dienste, die Edge Rechenzentren bereitstellen werden von 17% der Unternehmen genutzt
- Ca. 12% der Unternehmen in Deutschland betreiben selbst ein Rechenzentrum

Die Nutzung von Cloud-Diensten nimmt weiter zu. Gegenüber der erst im Februar/März 2021 durchgeführten Erhebungen des Cloud Monitors 2021 (KPMG & Bitkom, 2021) ergibt sich bereits eine leichte Steigerung der Nutzung von Cloud Modellen (Public Cloud +1%, Private Cloud +4%), was dem langfristigen Trend entspricht.

Bereitstellungsmodelle von Cloud Diensten: Prognosen für die Zukunft

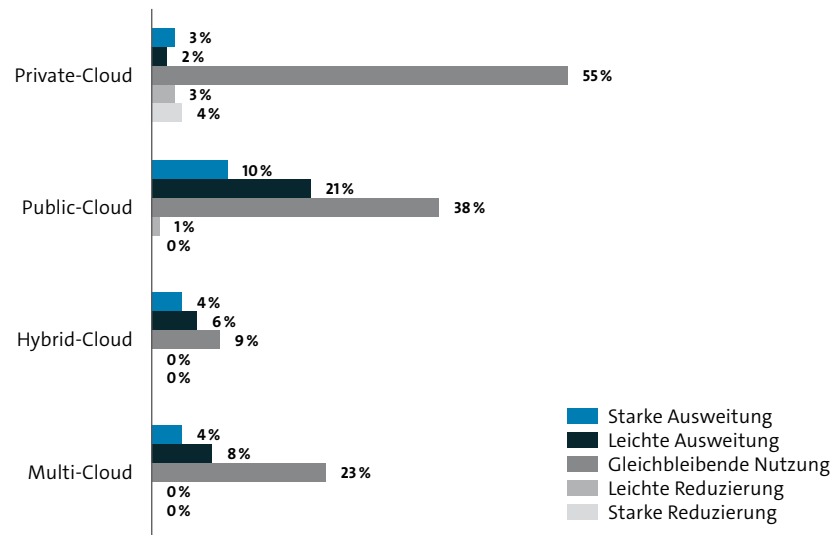


Abbildung 17 – Unternehmensbefragung: Wie wird sich die Nutzung von Cloud-Diensten in Ihrem Unternehmen in den nächsten drei Jahren voraussichtlich entwickeln?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research (n = 554)
Gewichtung Unternehmensgröße und Branche

Unternehmen werden zukünftig vermehrt Cloud Modellen nutzen

Die Mehrheit der Befragten geht von einer relativ gleichbleibenden Nutzung der gewählten Cloud Dienste aus. Im Bereich Public Cloud erwarten über 20% der Befragten allerdings eine leichte Ausweitung ihrer Nutzung, knapp 10% der Befragten geben an, dass sie eine starke Ausweitung erwarten. Auch für den Bereich der Hybrid- und Multi-Cloud Bereitstellungsmodelle wird eine intensivere Nutzung erwartet.

Bei der Private Cloud gehen die meisten Befragten von einer weiterhin gleichbleibenden Nutzung aus. Diejenigen, die diese intensiver nutzen wollen, gleichen in etwa diejenigen aus, die ihre Nutzung reduzieren werden.

RZ-Bereitstellungsmodelle – Perspektiven

Einschätzungen und Prognosen: Der Markt sortiert sich

Im Bereich der Cloud wird von Experten weiterhin ein starkes Wachstum prognostiziert. Insbesondere bei den Hybrid Cloud Modellen wird ein starkes Wachstum gesehen. Auch für Public und Private Cloud Bereitstellungsmodelle wird von Experten eine Zunahme der Bedeutung prognostiziert. Nur für eigene »On Premise Rechenzentren« geht die Mehrheit der Befragten mittlerweile von einer sinkenden Bedeutung aus (Abbildung 6).

Bei der Größe und Art von Rechenzentren wird sowohl bei den Hyperscale Rechenzentren als auch bei den Edge Rechenzentren ein starkes Wachstum prognostiziert, weshalb man darauf schließen kann, dass sich diese Rechenzentrums-Typen nicht in Konkurrenz zueinander befinden, sondern gegenseitig verstärken.

Colocation stellt nach wie vor den Türöffner für internationale Investoren zu neuen Märkten dar. Zugleich können Colocation-Rechenzentren für lokale Nutzer lukrativ sein, die ihre IT nicht komplett aus der Hand geben wollen und gleichzeitig den professionellen Betrieb der Infrastruktur eines großen Rechenzentrums genießen wollen. Daneben befeuert das zunehmende Interesse aus Immobilien- und Energiebranche den Betrieb von Colocation-Rechenzentren.

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»Colocation Markt wird steigen, sowohl bezogen auf Fläche als auch Anbieter. Edge-DC werden für Enterprise Unternehmen wichtiger, eigene DC bei großen Firmen werden rückläufig«

»Immer höhere Stromdichte wirkt sich auf die Gebäude aus; zunehmend Flüssigkeitskühlung im Rechenzentrum«

»Dezentralisierung, Miniaturisierung, Virtualisierung (Cloud als Trend, aber auch dezentrale Datenverarbeitung)«

»Konsolidierung im Cabinet (Rack) mit der Folge höherer Stromdichte (von 8,6 KW über 10 KW)«

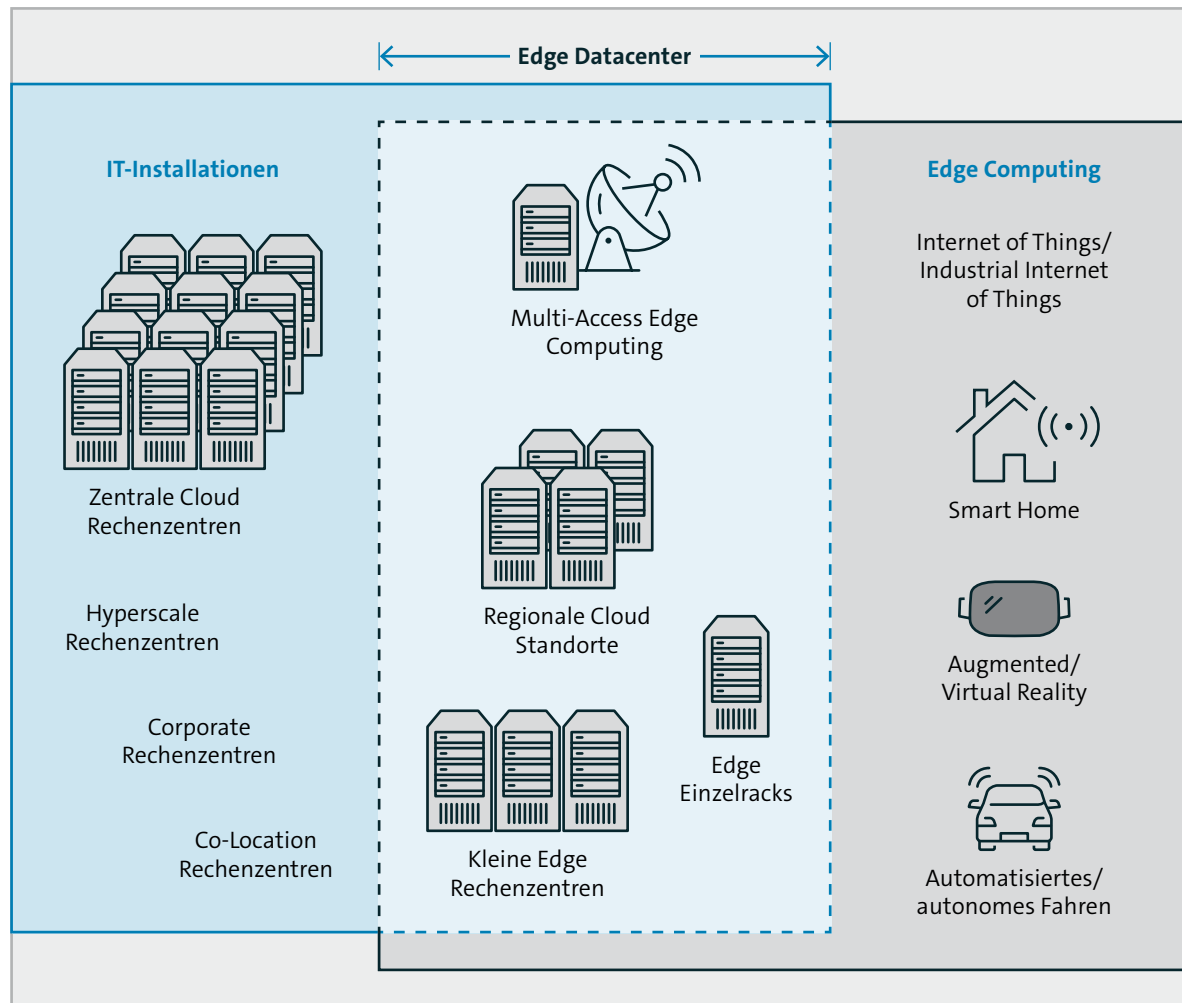
»Spreizung zwischen Edge + Mega-Datacenter – Cloud first – eigene RZs werden mittelfristig abgegeben«

»Die Kunden wünschen noch eine Rest-autarke IT, daher grundsätzlich keine gesamte Auslagerung in die Cloud; bei Managed Services wird das u. Umständen entspannter gesehen«

»Zunehmende Standardisierung und Harmonisierung der Konzepte, Cloud Optimization«

3.3 Edge Datacenter

Edge Datacenter – Eine Definition



Eine umfassende Beschreibung und Klassifizierung nach Größe

Edge-Datacenter sind IT-Installationen, die sich am Edge (am Rand bzw. dezentral) eines Netzwerkes befinden. Sie nutzen die gleichen Geräte wie Rechenzentren, sind meist kleiner als konventionelle Rechenzentren, befinden sich näher am »Endkunden/Client« und bieten damit geringe Latenzzeiten und eine lokale Datenverarbeitung. Üblicherweise sind sie mit weiteren Edge-Datacenter und/oder einem größeren, zentralen Rechenzentrum verbunden und werden remote gesteuert.

Unter dem Begriff Edge-Datacenter werden unterschiedliche Kategorien von IT-Installationen verstanden. Typische Ausprägungen sind:

- ein oder zwei Server an einer Mobilfunk-Basisstation
- ein »Serrack« (bis zu 10 Server, weniger als 100 virtuelle Maschinen, mit integrierten Sicherheits- und Kühlsystemen)
- mehrere Serverracks (bis zu 10) in traditioneller, modul- oder container-Bauweise
- ein Rechenzentrum (ab 10 Racks), dass z. B. von einem Cloud-Anbieter zur regionalen Versorgung der Kunden genutzt wird

Abbildung 18 – Verortung von Edge Datacentern – Zwischen zentraler Cloud und Endanwendungen

Edge Datacenter – Experteneinschätzungen und Prognosen

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»Neue Anwendungen wie beispielsweise Automatisiertes/ Autonomes Fahren sowie Augmented Reality werden verteilte Rechenkapazität benötigen, um niedrige Latenzzeiten zur ermöglichen«

»Gerade an Standorten mit hohen Datenmengen und möglichst lokaler Datenverarbeitung werden Edge-Datacenter an Bedeutung gewinnen«

»Ausbau der Edge Datacenter sowohl im Rahmen des Rollouts des 5G-Mobilfunks sowie von verteilten Klein-Rechenzentren von Unternehmen und IT-Dienstleistern«

»Edge Datacenter werden für Enterprise Unternehmen wichtiger«

»Edge Datacenter sind vor allem in Campus-Netzen relevant, signifikante Teile der Datenverarbeitung werden an den Rand ausgelagert«

»Edge Datacenter werden vor allem auch im Telekommunikationsumfeld aufgebaut, insbesondere für 5G Mobilfunk«

»Edge Datacenter werden sich stark entwickeln, insbesondere für autonomes Fahren und Energieversorgungsmanagement«

»Einzelracks werden zunehmen, Standorte mit bis zu 10 Racks werden sich eher moderat entwickeln«

»Speziell im Zusammenhang mit hybriden Cloud Modellen ist hier ein Wachstum zu erwarten«

»Aus Latenzgründen werden Edge Datacenter stark wachsen, speziell an neuralgischen Punkten«

»Mittel- bis langfristig wird das Thema Edge zunehmen – wenn die entsprechenden Anwendungen kommen«

Die Breite Mehrheit der Befragten geht von einem Wachstum der Edge Datacenter aus

- 75% der im Rahmen der Studie befragten Experten gehen von einer steigenden Bedeutung von Edge Datacentern aus, mehr als die Hälfte davon sogar von einer stark steigenden Bedeutung
- Nur 5% der Befragten geht von einer sinkenden Bedeutung von Edge Datacentern aus¹

¹ Befragung von Expertinnen und Experten im Zeitraum September – Oktober 2021, n = 131

3.4 GAIA-X

Expertenmeinungen zu GAIA-X

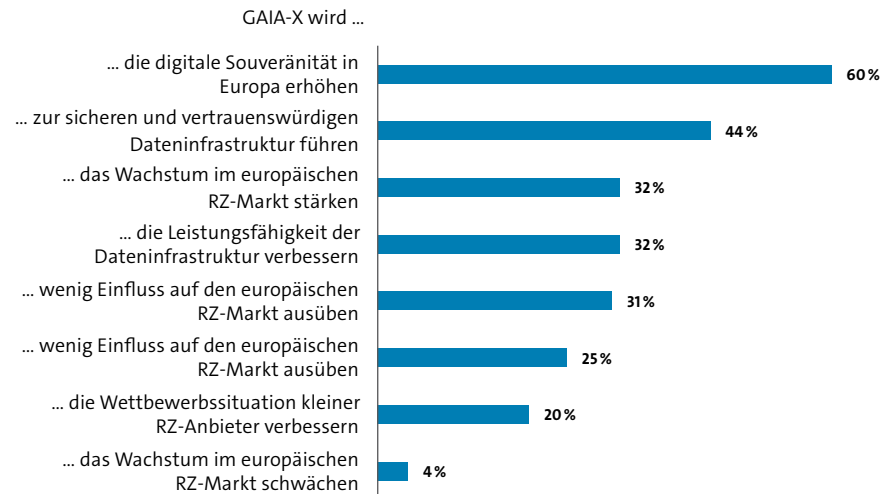


Abbildung 19 – Experten-Befragung: Welche Bedeutung hat Ihrer Meinung nach GAIA-X für den europäischen RZ-Markt? (Mehrfachauswahl möglich)

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 102) | RZ = Rechenzentrum

GAIA-X erhöht die digitale Souveränität und führt zu einer sicheren und vertrauensvollen Dateninfrastruktur in Europa

- GAIA-X spielt bei der Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Deutschland nach Expertenmeinung nur eine nachgeordnete Rolle
- GAIA-X als Framework wird im Rahmen der durchgeführten Interviews von den Experten befürwortet, eine eigenständige Infrastruktur wird nicht als erforderlich angesehen

3.5 Chancen und Risiken

Chancen für den Rechenzentrumsmarkt – Expertenmeinungen

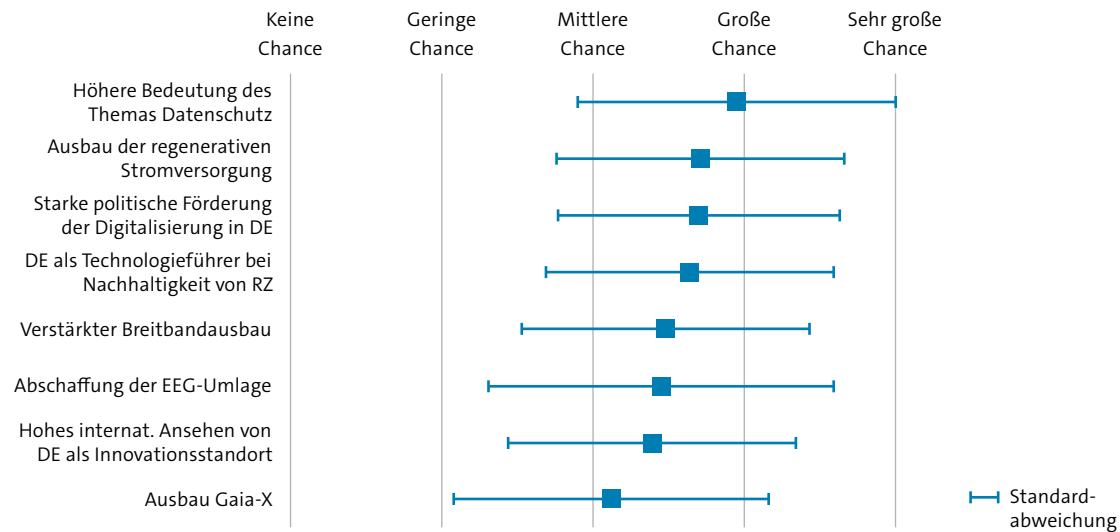


Abbildung 20 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie folgende Chancen für die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Deutschland?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 85)

Große Chancen: Datenschutz, Ausbau regenerativer Stromversorgung und Digitalpolitik

- Die Experten sehen große Chancen für die Entwicklung des deutschen Rechenzentrumsmarktes aufgrund der höheren Bedeutung des Themas Datenschutz hierzulande
- Mit dem Ausbau der regenerativen Stromversorgung sowie einer Technologieführerschaft im Bereich nachhaltige Rechenzentren gehen entsprechend der Expertenmeinungen auch große Chancen für den Markt einher
- Ebenso kann die zunehmende politische Förderung der Digitalisierung sowie der verstärkte Breitbandausbau zu großen Chancen für den Rechenzentrumsmarkt führen
- Die Abschaffung der EEG-Umlage wird im Mittel auch noch als mittlere bis große Chance für den Markt gesehen, jedoch liegen die Meinungen der Experten hierzu bereits etwas weiter auseinander
- Auch beim internationalen Ansehen Deutschlands als Innovationsstandort sowie beim Ausbau von GAIA-X werden die Chancen eher im mittleren Bereich gesehen

Hinweis: Abbildung 20 beschränkt sich auf Chancen, die im Rahmen der Befragungen mehrfach genannt wurden.

Risiken für den Rechenzentrumsmarkt – Expertenmeinungen

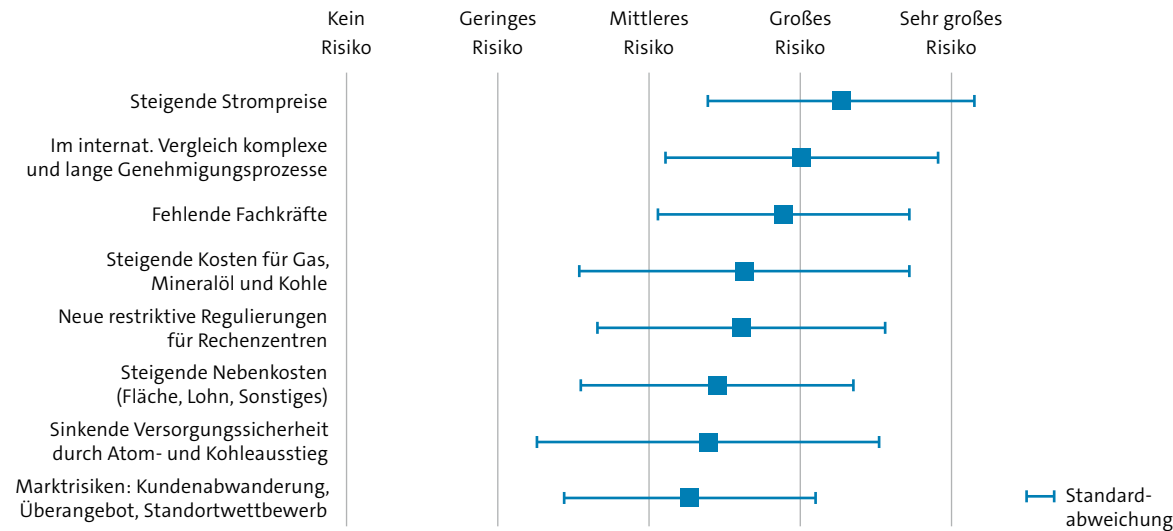


Abbildung 21 – Delphi-Befragung: Wie beurteilen Sie folgende Risiken für die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes in Deutschland?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 84)

Große Risiken: Strompreise, Genehmigungsprozesse und Fachkräftemangel

- Die größten Risiken für die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes sehen Experten in steigenden Strompreisen sowie komplexen und langen Genehmigungsprozessen
- Auch in fehlenden Fachkräften sehen Experten recht einheitlich ein verhältnismäßig großes Risiko für den Rechenzentrumsmarkt in Deutschland
- Sehr unterschiedlich, aber dennoch als mittleres bis großes Risiko werden steigende Kosten für fossile Energieträger wahrgenommen
- Auch in einer restriktiven Regulierung und in steigenden Nebenkosten werden mittlere bis große Risiken gesehen
- Das Risiko einer sinkenden Versorgungssicherheit wird von den Experten sehr unterschiedlich wahrgenommen, jedoch auch als mittleres Risiko wahrgenommen
- Allgemeine Marktrisiken werden ebenfalls als mittlere Risiken empfunden

Hinweis: Abbildung 21 beschränkt sich auf Risiken, die im Rahmen der Befragungen mehrfach genannt wurden.

4 Rechenzentren und Nachhaltigkeit

4.1 Überblick – Nachhaltigkeit von Rechenzentren

Nachhaltigkeit von Rechenzentren – viel mehr als nur Energieeffizienz



Abbildung 22 – Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen

Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen

Die Digitalisierung hat vielfältige Bezüge zu allen Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (WBGU, 2019). Als Basisinfrastruktur der Digitalisierung adressieren Rechenzentren daher auch alle Nachhaltigkeitsziele. In den aktuellen Diskussionen werden allerdings vor allem die Themen Energiebedarf und Klimaschutz in den Fokus gestellt.

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»Klimaneutralität – es wird erwartet, dass zwischen 2025 und 2030 der Druck erhöht wird und die ›Plakette‹ alleine nicht ausreicht«

»Smart-Grid und alternative Energiequellen werden eine größere Rolle spielen«

»Mehr nachhaltiger Betrieb, nachhaltige Energie, Energieeffizienz – Erzeugung Strom, Abwärme – zusätzlich Herausforderung, eine unterbrechungsfreie Stromversorgung sicherzustellen – vom Netz entkoppeln«

»Nachhaltigkeit ist mehr als nur Grünstrom. Z. B: Abwärmenutzung, Eigenstromerzeugung, Energiespeicherung«

»Hochverfügbarkeit wird reduziert« – »Standortredundanz wird an Bedeutung gewinnen«

»Große Potentiale in der Abwärmenutzung; ggf. Kombination von Rechenzentren mit unterschiedlichen Anwendungen«

Nachhaltigkeitsthemen haben hohe Priorität bei Unternehmen

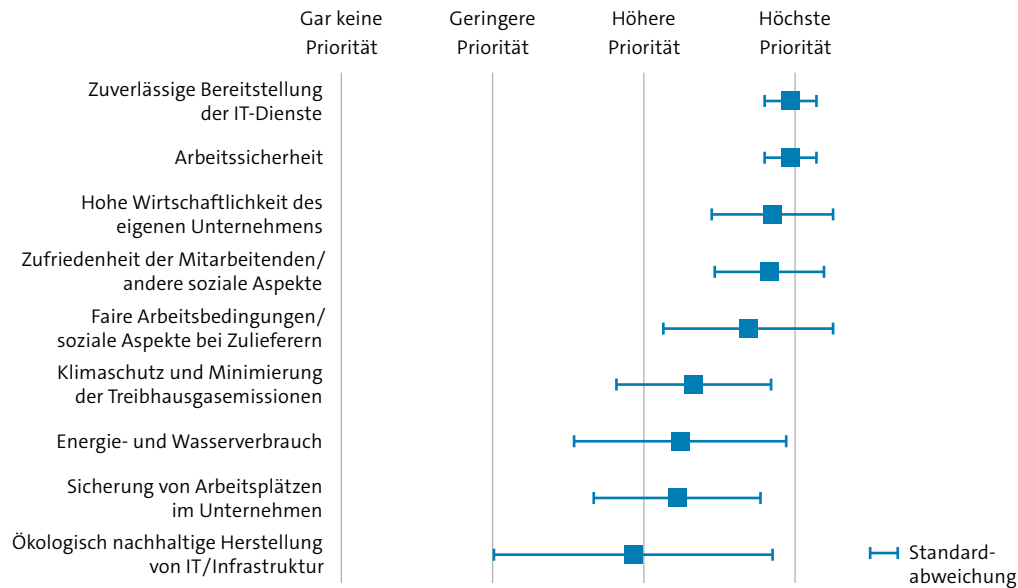


Abbildung 23 – Unternehmens-Befragung: Welche der folgenden Aspekte sind Ihnen in Bezug auf den IT-Betrieb und die IT-Nutzung in Ihrem Unternehmen am wichtigsten?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research (n = 554)
Gewichtung Unternehmensgröße und Branche

Nachhaltigkeitsthemen haben hohe Priorität bei Unternehmen

Die repräsentative Unternehmensbefragung zeigt, dass vielfältige Nachhaltigkeitsaspekte eine hohe Priorität bei den Unternehmen in Deutschland haben. Mit der zuverlässigen Bereitstellung der IT-Dienste wird das Nachhaltigkeitsziel 9 »Widerstandsfähige Infrastruktur und nachhaltige Industrialisierung« als besonders bedeutend angesehen. Auch Aspekte, die Gesundheit (Ziel 3) und menschenwürdige Arbeit (Ziel 8) betreffen, werden für den IT-Betrieb mit einer hohen Priorität gesehen.

Rechenzentren als Enabler für Klimaschutz und als Adressat von Klimaschutzmaßnahmen

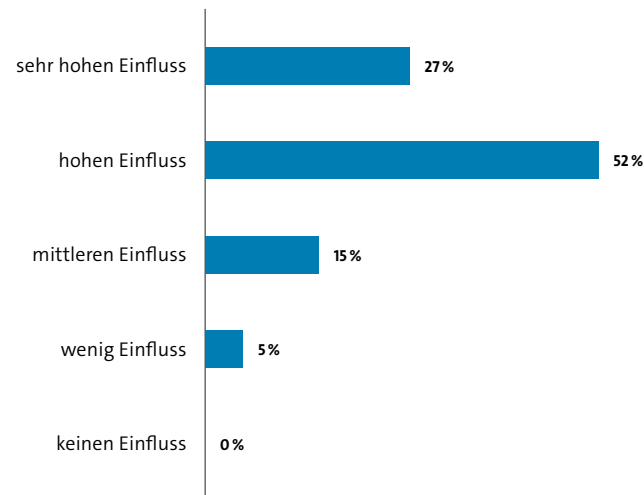


Abbildung 24 – Experten-Befragung: Welchen Einfluss werden politische Klimaschutzmaßnahmen auf den Bau und Betrieb von Rechenzentren haben?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 123)

Experten: Klimaschutz wird Bau & Betrieb von Rechenzentren sehr beeinflussen

Gerade im Bereich des Klimaschutzes bietet die Digitalisierung sehr hohe Potenziale. In allen Wirtschafts- und Lebensbereichen wie z. B. Industrie, Verkehr, Energie, Wohnen & Arbeiten bietet die Digitalisierung große Chancen, Treibhausgasemissionen im großen Umfang einzusparen (z. B. Bieser, Hintemann, Beucker, Schramm, & Hilty, 2020; BMU, 2020; GeSI & Deloitte, 2019). Für Deutschland zeigt eine Bitkom-Studie, dass die Digitalisierung zu 34 % zum deutschen Klimaziel 2030 beitragen kann (Bitkom, 2021). Um diese Potenziale heben zu können, sind leistungsfähige digitale Infrastrukturen wie Rechenzentren und Breitbandnetze notwendig.

Der Bau & Betrieb von Rechenzentren kann also den Klimaschutz fördern. Dennoch ist es notwendig, dass die durch Rechenzentren verursachten Treibhausgasemissionen selbst so gering wie möglich ausfallen. Die aktuell diskutierte und sich in der Umsetzung befindlichen Klimaschutzmaßnahmen werden nach mehrheitlicher Ansicht der befragten Experten bereits einen hohen oder sogar sehr hohen Einfluss auf den Bau & Betrieb von Rechenzentren haben (Abbildung 24).

Rechenzentren im Einfluss des Klimawandels

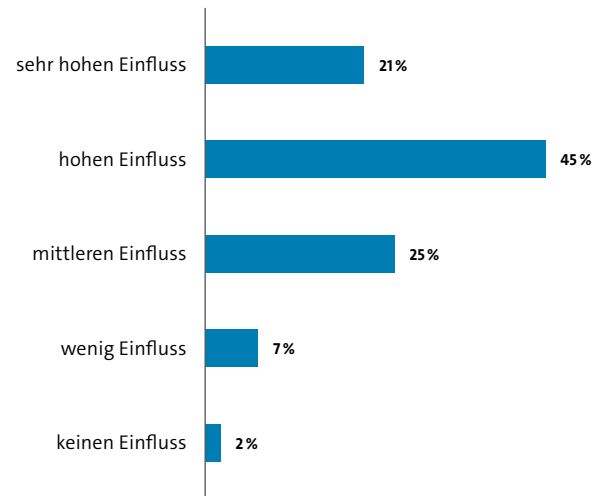


Abbildung 25 – Experten-Befragung: Welchen Einfluss werden die Auswirkungen des Klimawandels (z. B. Hitze, Überschwemmung, Trockenheit) auf den Bau und Betrieb von Rechenzentren haben?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 124)

Experten: Klimawandel hat hohen Einfluss auf Bau & Betrieb von Rechenzentren

Die schon heute festzustellenden Auswirkungen des Klimawandels (IPCC, 2021) haben auch deutliche Auswirkungen auf den Bau und den Betrieb von Rechenzentren. Zunehmende Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen und höhere Temperaturen erfordern Anpassungsmaßnahmen bei Rechenzentren. Zwei Drittel der befragten Experten sehen einen hohen oder sehr hohen Einfluss der Auswirkungen des Klimawandels auf den Betrieb von Rechenzentren (Abbildung 25).

IT-Nachhaltigkeit in Unternehmen

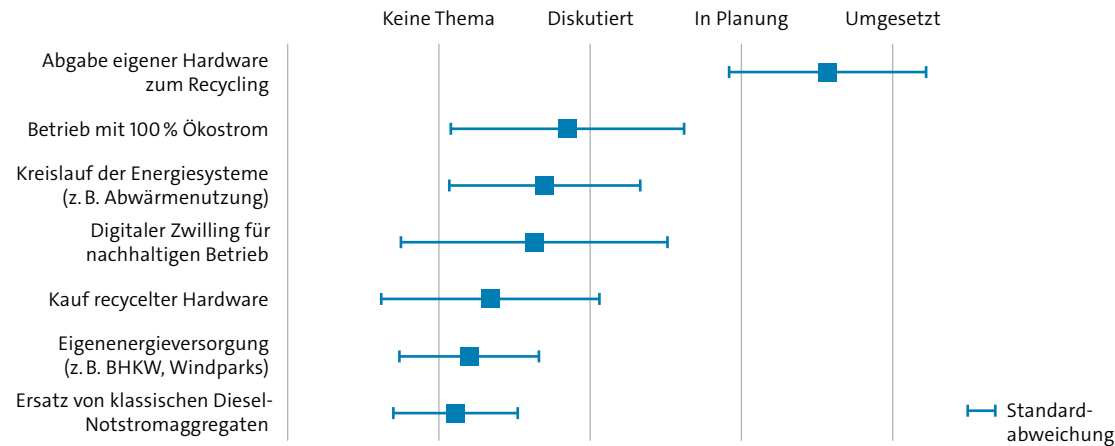


Abbildung 26 – Unternehmensbefragung: Welche der folgenden Maßnahmen für eine nachhaltige IT haben Sie in Ihrem Unternehmen bereits umgesetzt?

Repräsentative Telefonbefragung von 554 Unternehmen (August – Oktober 2021) | Borderstep & Bitkom Research (n = 554)
Gewichtung Unternehmensgröße und Branche

Noch hohe Potenziale zur Verbesserung der IT-Nachhaltigkeit

In der Breite aller deutschen Unternehmen bestehen noch deutliche Potenziale zur Steigerung der Nachhaltigkeit ihrer Rechenzentren. Anspruchsvolle Maßnahmen zur Erhöhung der Nachhaltigkeit wie der Betrieb mit 100 % Ökostrom, Abwärmenutzung oder der Ersatz von klassischen Notstromaggregaten sind bisher nur wenig in der Planung und Umsetzung. Die Abgabe der nicht mehr genutzten IT-Hardware aus den Rechenzentren zum Recycling ist dagegen schon sehr weit verbreitet.

Hinweis: Abbildung 26 stellt den Durchschnitt der deutschen Unternehmen dar – die Ergebnisse der Befragung der RZ-Betreibenden zeigt, dass bei IT-Dienstleistern bereits deutlich mehr Nachhaltigkeitsmaßnahmen ergriffen werden. So nutzen 40 % der befragten RZ-Betreibenden bereits heute kleinere Teile der Abwärme aus ihren RZ (Abbildung 34). Schon 2017 nutzten 27 % der RZ-Betreibenden ausschließlich regenerativ erzeugten Strom (Hintemann, 2017a)

IT-Nachhaltigkeit in Unternehmen

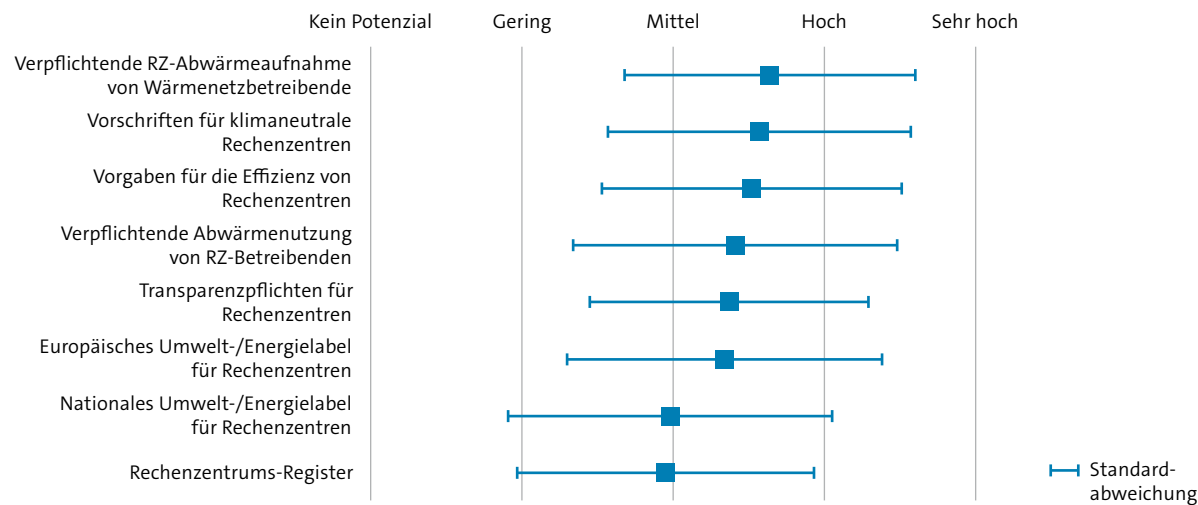


Abbildung 27 – Experten-Befragung: Wie schätzen Sie die Wirksamkeit folgender politischer Maßnahmen ein, um den Rechenzentrumsbetrieb nachhaltiger zu gestalten?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 107)

Experten: Vorschriften und Vorgaben haben hohe Wirksamkeit

Gemäß der Expertenmeinungen sind klare Vorschriften und Vorgaben besonders wirksam, um den Rechenzentrumsbetrieb nachhaltig zu machen. Bei der Ausgestaltung solcher Vorgaben sollten gemäß Experteninterviews internationale oder zumindest europäische Lösungen gefunden werden, um keine unerwünschten Verlagerungseffekte an Standorte mit niedrigeren Nachhaltigkeitsstandards auszulösen.

Insbesondere bei Maßnahmen zur Verpflichtung zur Aufnahme von Abwärme sowie bei Vorgaben für den klimaneutralen und energieeffizienten Betrieb von Rechenzentren wird eine hohe Wirksamkeit erwartet. Allerdings ist bis dato noch nicht geklärt, was genau unter einem »klimaneutralen« oder »klimafreundlichen« Betrieb von Rechenzentren verstanden werden soll.

4.2 Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

Energiebedarf von Rechenzentren in Deutschland

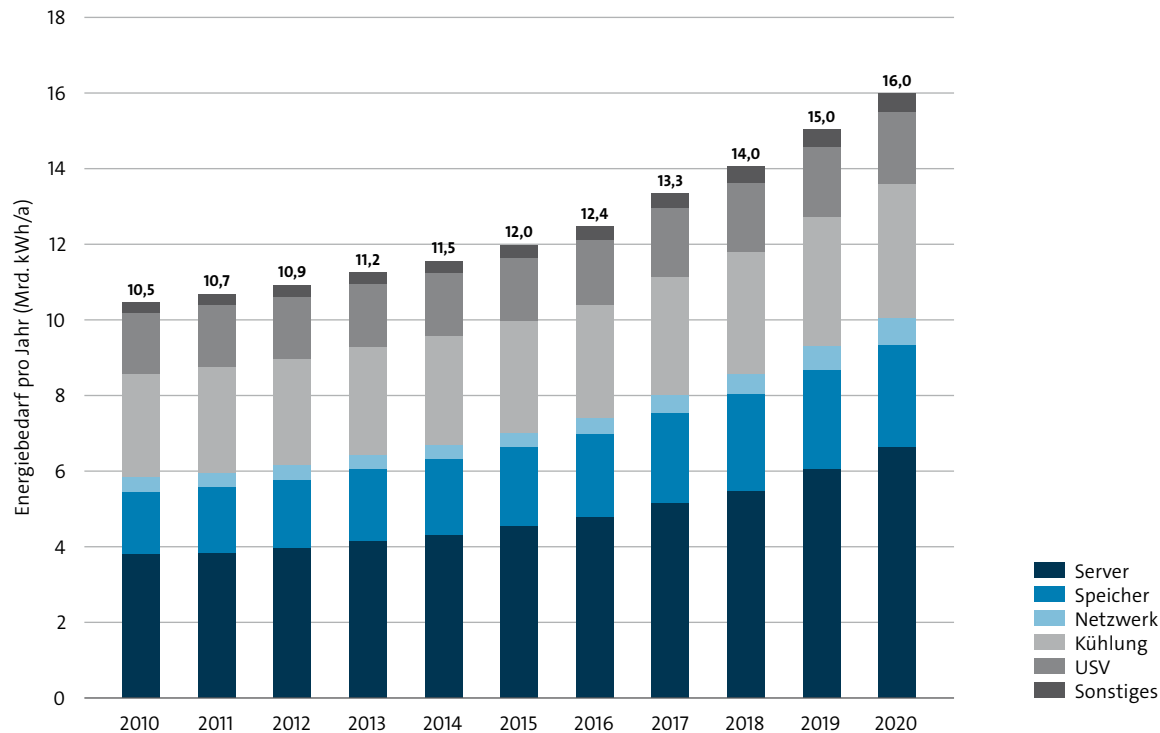


Abbildung 28 – Energiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland (in Mrd. kWh/a)

Quelle: Borderstep 2020

Energiebedarf der Rechenzentren steigt kontinuierlich – RZ-Infrastruktur wird immer effizienter

Der Energiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland ist von 2010 bis 2020 von 10,5 Mrd. kWh/a auf 16 Mrd. kWh/a gestiegen (Abbildung 28). Die Steigerung des Energiebedarfs ging allerdings auch mit einer deutlichen Steigerung der Effizienz der Rechenzentren einher. Die Zahl der installierten Workloads in den deutschen Rechenzentren hat sich im gleichen Zeitraum mehr als verachtacht. Damit ist die Energieeffizienz der IT-Bereitstellung (gemessen in Workloads) um fast den Faktor 5 gestiegen.

Auch die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur konnte im genannten Zeitraum deutlich gesteigert werden. Der durchschnittliche PUE-Wert sank zwischen 2010 und 2020 von 1,98 auf 1,63. Damit steigerte sich die Effizienz der RZ-Infrastrukturen um 21%.

Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Deutschland

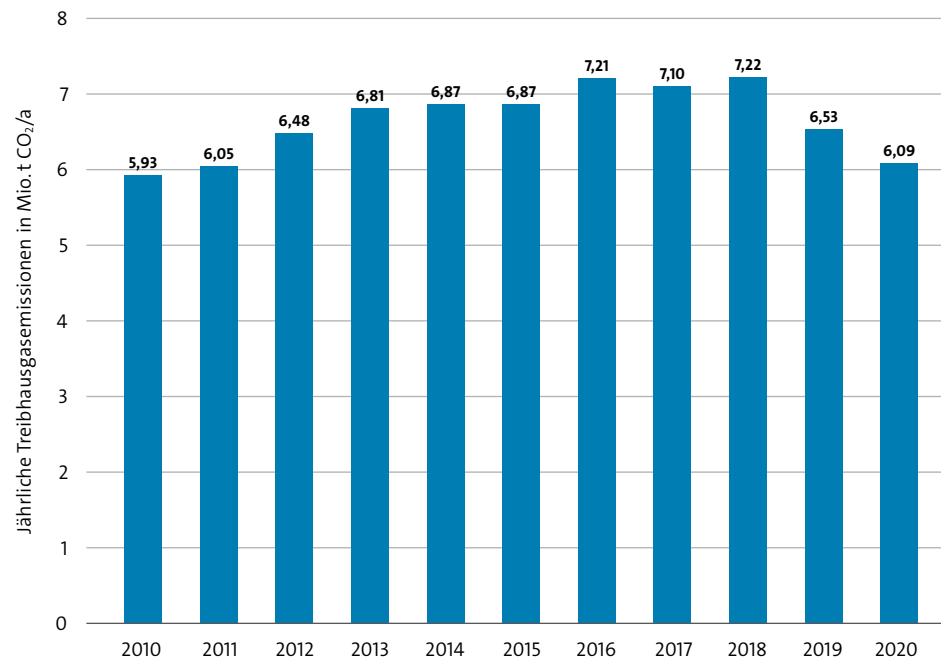


Abbildung 29 – Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland (in Mio. t CO₂/a)

Treibhausgasemissionen rückläufig – zunehmende regenerative Stromerzeugung verbessert Klimabilanz der Rechenzentren

Die durch Rechenzentren in Deutschland verursachten Treibhausgasemissionen sind zu einem Anteil von mehr als 80 % auf den Strombedarf zum Betrieb der Rechenzentren zurückzuführen (Belkhir & Elmeligi, 2018; Bieser et al., 2020; Pehlken et al., 2020; Schödwell, Zarnekow, Gröger, Liu, & Wilkens, 2018). Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Stromerzeugung ist daher ein sehr wirksames Instrument, um Rechenzentren klimafreundlicher zu machen. Aus diesem Grunde nutzen heute sehr viele Rechenzentren den Bezug von regenerativ erzeugten Strom als Instrument des Klimaschutzes (z. B. Cook et al., 2017; Hintemann & Hinterholzer, 2020; Hintemann, Hinterholzer, & Clausen, 2020). Dennoch ist es in einer systemischen Sichtweise notwendig, für die Bewertung Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Deutschland den deutschen Strommix heranzuziehen. Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der jährlichen Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch der Rechenzentren in Deutschland, die auf Basis der vom Umweltbundesamt veröffentlichten Daten zu den spezifischen Kohlendioxidemissionen im deutschen Strommix (UBA, 2021) berechnet wurde. Die Zunahme des Anteils regenerativer Stromerzeugung in Deutschland hat dazu geführt, dass diese Treibhausgasemissionen seit 2018 trotz steigendem Strombedarf deutlich rückläufig sind und sich wieder auf dem Niveau von 2010 bewegen.

Entwicklung der Rechenzentrumslandschaft bis 2030

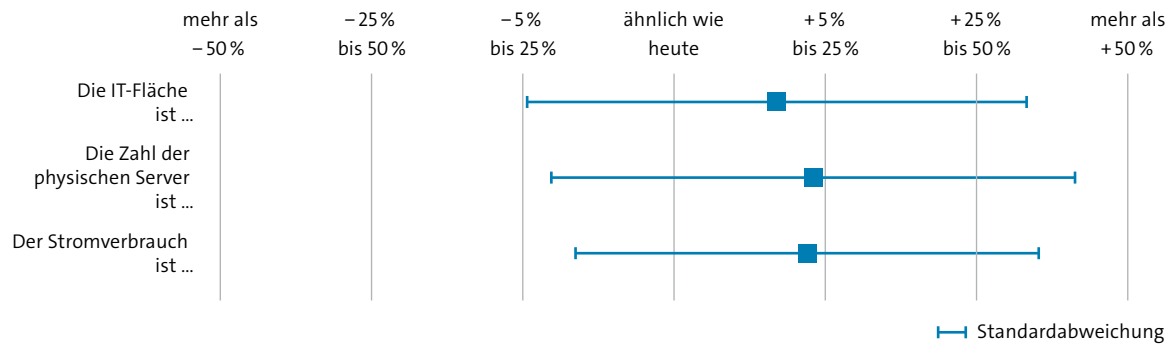


Abbildung 30 – Experten-Befragung: Wie sieht Ihr Rechenzentrum / sehen Ihre Rechenzentren im Jahr 2030 im Vergleich zu heute aus?

Befragung von Rechenzentrums-Betreibenden durch Borderstep (30.08.–06.10.2021: n = 65)

Erwartungen: IT-Fläche, Serverzahl und Stromverbrauch steigt

Wie die Befragung von RZ-Betreibenden zeigt, gehen diese mehrheitlich davon aus, dass ihre Rechenzentren weiterhin wachsen. Dies gilt sowohl für die IT-Fläche, als auch für die Zahl der Server und den Stromverbrauch. Bei der Interpretation dieser Zahlen ist allerdings zu beachten, dass in der Befragung vornehmlich große RZ-Dienstleister befragt wurden. Die erwartete Reduktion von eigenbetriebenen RZ-Kapazitäten von insbesondere kleineren Unternehmen und Organisationen, die oben bereits angesprochen wurde, wird durch die Befragung nicht abgebildet.

Zukünftiger Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland

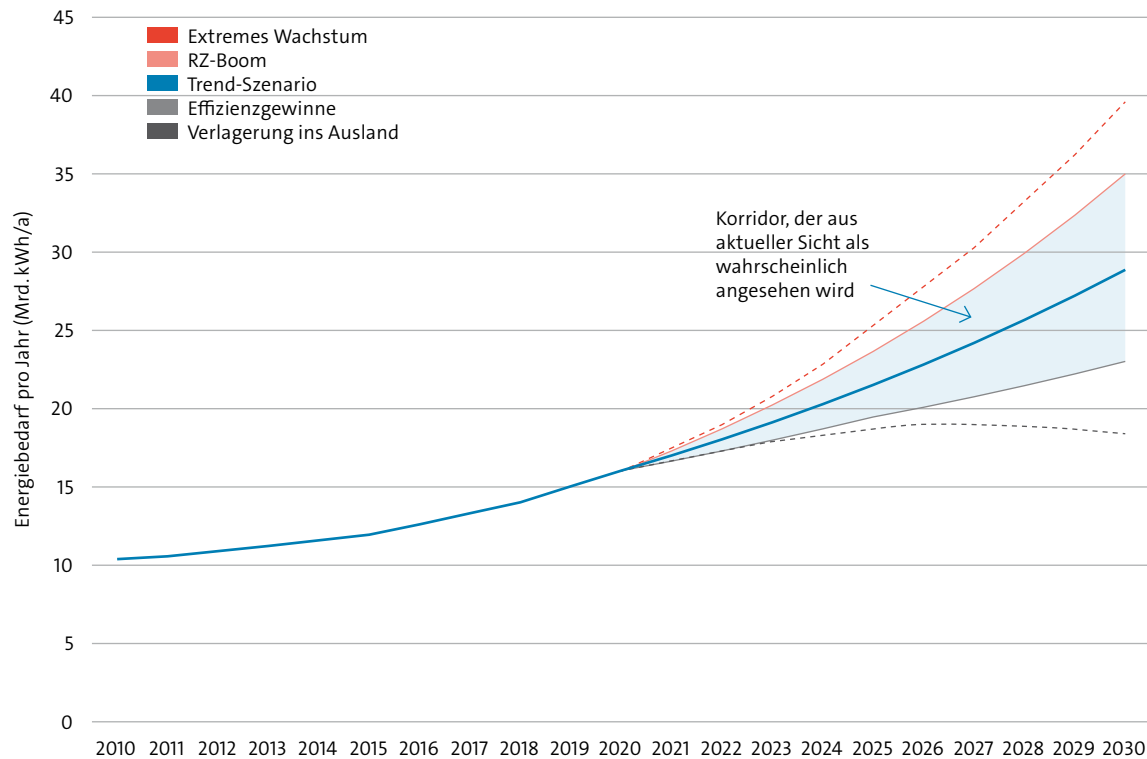
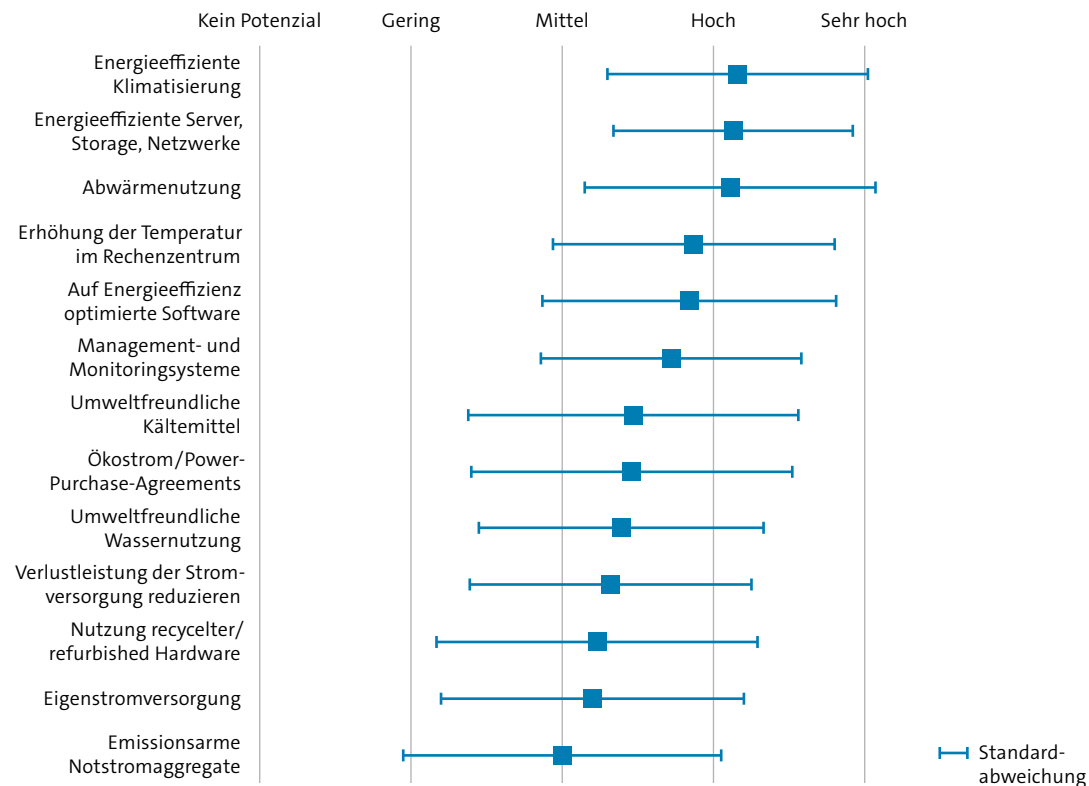


Abbildung 31 – Mögliche künftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland

Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland steigt voraussichtlich weiter an

Für die zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland ist die Spannweite möglicher Entwicklungen sehr groß. Je nachdem, wie sich der Markt weiterentwickelt und in welchem Maße weitere Effizienzgewinne in Rechenzentren möglich sind, kann der Energiebedarf deutlich weiter ansteigen, aber auch rückläufig sein. Im Falle eines kontinuierlichen Rechenzentrumsbooms kann sich der Energiebedarf der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Deutschland bis 2030 mehr als verdoppeln. Werden die Potenziale bei RZ-Infrastruktur und IKT-Hard- und Software konsequent genutzt, so könnte der Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren zumindest deutlich verlangsamt werden. Eine Abnahme des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland wird als sehr unwahrscheinlich angesehen.

Potenziale von Nachhaltigkeitsmaßnahmen in Rechenzentren



Experten: Potenziale von Nachhaltigkeitsmaßnahmen vielfach hoch

Um die Energieeffizienz und die Nachhaltigkeit von Rechenzentren weiter zu verbessern, können vielfältige Maßnahmen ergriffen werden (Abbildung 32). Besonders hohe Potenziale werden von RZ-Experten im Bereich der Klimatisierung, bei energieeffizienter IT-Hardware und in der Abwärmenutzung gesehen. Aber auch andere Maßnahmen weisen zumindest mittlere Verbesserungspotenziale auf. Eine ganzheitliche Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren sollte daher an allen Aspekten ansetzen.

Abbildung 32 – Experten-Befragung: Wie schätzen Sie die Potenziale für die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren durch folgende Maßnahmen?

Expertenbefragung durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 121)

4.3 Abwärmenutzung

Gründe für fehlende Abwärmenutzung

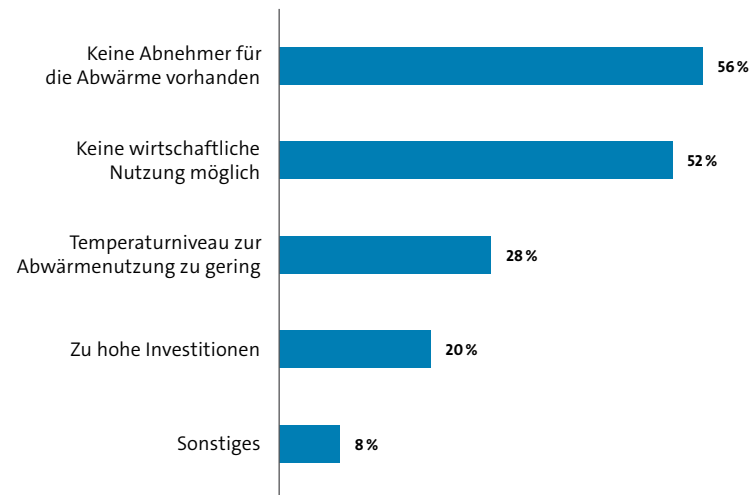


Abbildung 33 – Experten-Befragung: Wenn Sie bisher keine Abwärme nutzen, warum? (Mehrfachauswahl möglich)

Befragung von Rechenzentrums-Betreibenden durch Borderstep (30.08.–06.10.2021: n = 50)

Oft findet sich kein Abnehmer für die Abwärme aus Rechenzentren

Bisher scheitert die Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland oft an fehlenden Abnehmern für die Wärme und an der Wirtschaftlichkeit. Vorhandene (ältere) Fernwärmenetze sind oft ungeeignet, Wärme auf niedrigem Temperaturniveau aus Rechenzentren aufzunehmen. Eine Förderung dieses Themenfeldes muss also eine Modernisierung der Wärmenetze beinhalten und auch daran ansetzen, Erzeuger der Abwärme und Nutzer der Abwärme zusammenzubringen. Außerdem können über Fördermaßnahmen zur Abwärmenutzung, wie sie vom BMWi durchgeführt werden, Abwärme-Projekte aus Rechenzentren wirtschaftlicher werden. Ein weiterer Ansatzpunkt liegt in der Reduktion des Strompreises für den meist notwendigen Wärmepumpenbetrieb bei solchen Projekten (Clausen, Hintemann, & Hinterholzer, 2021).

Abwärmenutzung in deutschen Rechenzentren

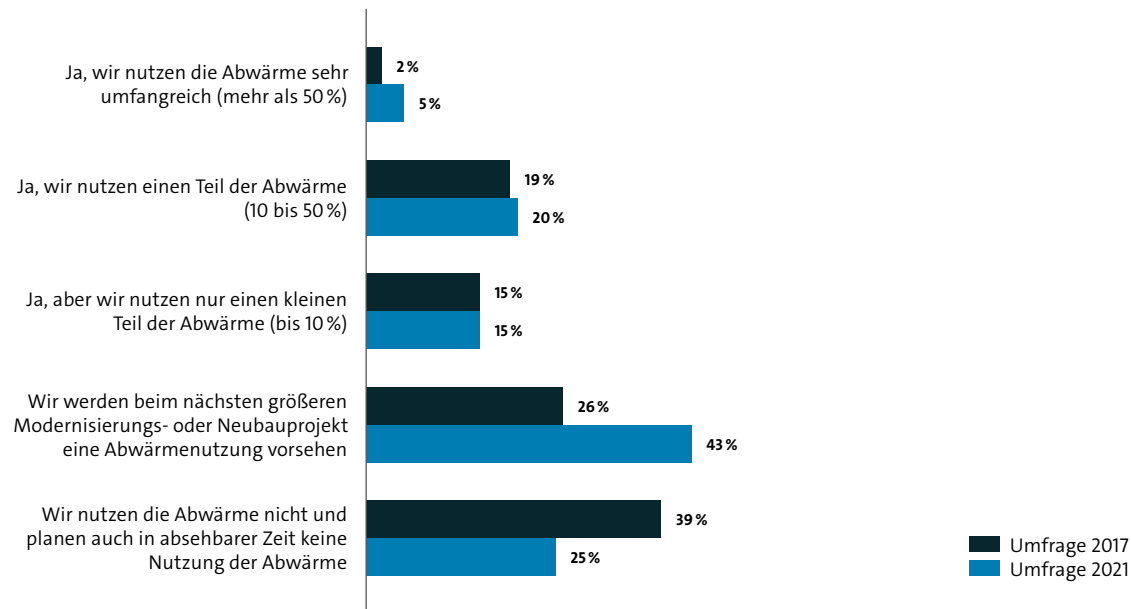


Abbildung 34 – RZ-Betreibenden-Befragung: Nutzen Sie die Abwärme Ihres Rechenzentrums / Ihrer Rechenzentren? (Mehrfachauswahl möglich)

Befragung von Rechenzentrums-Betreibenden durch Borderstep (30.08.–06.10.2021: n = 61)

Rechenzentrums-Betreibende planen mehr Abwärmennutzung

Das Thema Abwärmennutzung ist in der Rechenzentrumsbranche angekommen. 40% der befragten RZ-Betreibenden nutzen bereits heute kleinere Teile der Abwärme aus ihren RZ. Flüssiggekühlte Server bieten hohe Potenziale zur Abwärmennutzung, da hier Heißwasser auf einem Temperaturniveau von 60°C zur Verfügung steht. Allerdings werden solche Server bislang außerhalb von High-Performance-Computing sehr selten eingesetzt.

Es wird erwartet, dass sich der Anteil der RZ-Betreibenden, die Abwärme nutzen, in Zukunft noch deutlich erhöhen wird.

- Mehr als 40% der befragten RZ-Betreibenden werden in künftigen Projekten Abwärme nutzen
- Nur noch ein Viertel der befragten RZ-Betreibenden plant keine Abwärmennutzung
- Flüssigkeitsgekühlte Server werden außerhalb von High-Performance Computing bisher kaum eingesetzt

4.4 Kältemittel in Rechenzentren

Treibhausgasemissionen (THG) durch Kältemittel (F-Gase) in deutschen Rechenzentren

THG-Emission durch Kältemittel in Rechenzentren eher gering

- Durch die F-Gase-Verordnung der EU (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), die einen schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung von F-Gasen als Kältemittel vorsieht, wird die Verfügbarkeit von konventionellen Kältemitteln in Zukunft weiter sinken
- F-Gase führen durch Leckagen im Kühlsystem und durch entweichende F-Gase bei der Entsorgung zu zusätzlichen THG-Emissionen von Rechenzentren
- Auf Basis der ermittelten RZ-Kapazitäten in Deutschland können folgende grobe Abschätzungen gemacht werden:
 - Weniger als 0,5% der gesamten F-Gas-Emissionen in Deutschland sind durch Rechenzentren verursacht
 - Kältemittel sind in Deutschland für etwa 1% der THG-Emissionen der Rechenzentren verantwortlich
- Der Einsatz alternativer Kältemittel sollte aber dennoch höchste Priorität bei der Planung neuer Rechenzentren haben:
 - Potenzielle Nicht-Verfügbarkeit von Kältemitteln kann ein Betriebsrisiko für Rechenzentren darstellen
 - Ein vollständig klimaneutraler Rechenzentrumsbetrieb ist mit F-Gasen nicht möglich – Treibhausgasemissionen müssten durch andere Maßnahmen ausgeglichen werden

5 Vertiefungsthemen

5.1 Management in Rechenzentren

Management in Rechenzentren

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»ist unabdingbar, auch im Colocation-Rechenzentrum«

»ganzheitliche Betrachtung ist alternativlos ...«

»die DIN EN50600 fordert dies!«

»KI, Robotics bieten große Potenziale«

»große Potenziale bezogen auf Nachhaltigkeit und Energieeffizienz«

»IT+FM=Bruch ... und die Beteiligten wollen diesen auch nicht überwinden«

»... Vereinheitlichung und Harmonisierung der Lösungen sind Voraussetzung«

»in und mit Cloud-Lösungen ist das automatisch«

»gewollt, geplant, in der Umsetzung schleppend«

»muss bereits beim Design des Rechenzentrums geplant werden – Digitaler Zwilling«

Kernaussagen: Datacenter Infrastruktur-Management (DCIM)

- Die gesamtheitliche Betrachtung der einzelnen Gewerke (RZ-Facility, IT-Komponenten, Netzwerk, Software, Dienstleister, etc.) bietet viele Potenziale zur Effizienzsteigerung, Automatisierung und Unterstützung der Nachhaltigkeitsziele
- Die Umsetzung ist aus diversen Gründen eher schleppend:
 - Bruch zwischen IT und Facility Management
 - Rechenzentrumsbetreibende und Kunden (interne und externe) haben häufig unterschiedliche Interessenlage, Verantwortlichkeiten und Zielsetzungen
 - Fehlende Angebot an gesamtheitlichen Lösungen, die insbesondere die Individualität der RT-Betreibende aufgreifen und mit Visualisierung, KI-Komponenten und insbesondere Mehrwerte für die Kunden überzeugen
- Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Potenziale durch DCIM bisher nicht ausgeschöpft werden

5.2 Sicherheitsaspekte von Rechenzentren

Standort-Redundanzkonzepte

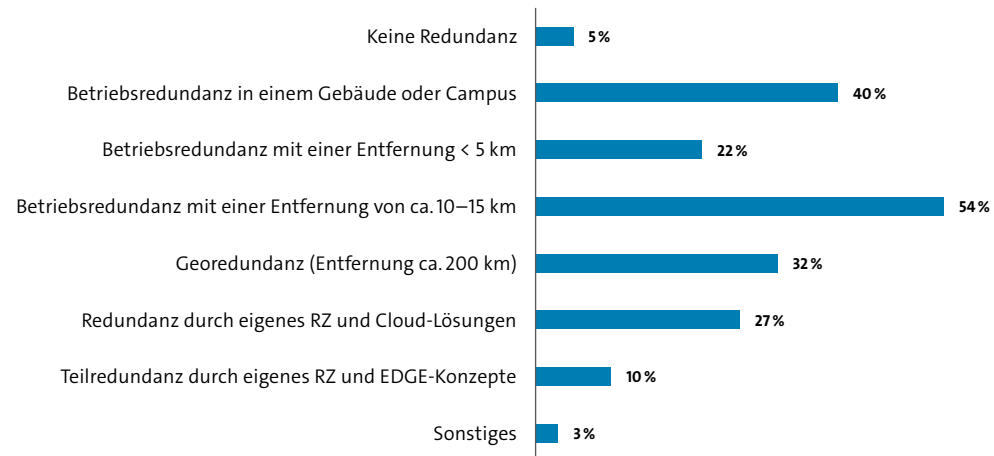


Abbildung 35 – RZ-Betreibenden-Befragung: Welches Redundanzkonzept verfolgt Ihr Unternehmen bei der Standortwahl? (Mehrfachauswahl möglich)

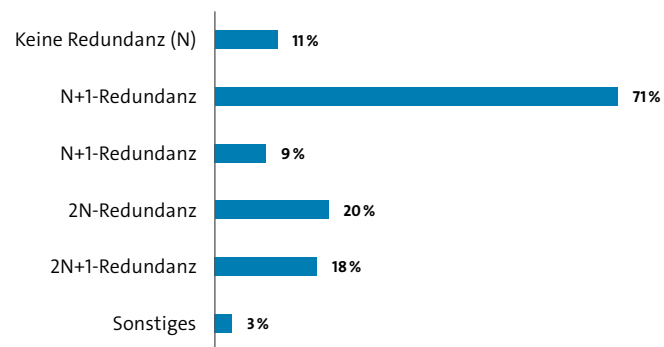
Befragung von Rechenzentrums-Betreibenden durch Borderstep (30.08.–06.10.2021; n = 63) | RZ = Rechenzentrum

Betriebsredundanz mit einer Entfernung von ca. 10–15 km bzw. an einem Standort überwiegt

- Die Geo-Redundanz gewinnt nach Expertenaussagen im Kunden-Business immer mehr an Bedeutung; verstärkt in den Branchen Finance, Public Sektor sowie von den Cloud-Anbietern
- Allerdings wird die Geo-Redundanz mit einer Entfernung von ca. 200 km aktuell (noch) verhältnismäßig wenig nachgefragt

Infrastruktur-Redundanzkonzepte

Die Anforderungen an die Redundanzkonzepte unterscheiden sich nach Art der Gewerke (z. B. Stromversorgung/Klimatisierung).



**Abbildung 36 – RZ-Betreibenden-Befragung:
Welche Redundanz (bezogen auf RZ-Infrastruktur) fordert
Ihr Unternehmen? (Mehrfachauswahl möglich)**

Befragung von Rechenzentrums-Betreibenden durch Borderstep
(30.08.–06.10.2021: n = 65)

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»TÜV IT Level 3 (oder analog EN 50600) ist quasi Standard für jeden Enterprise-Kunden«

»Branchenspezifische Anforderungen an Redundanz- und Verfügbarkeitsanforderungen«

»Veränderungen sind festzustellen. Neue Nutzergruppen, die sich die hohe Redundanz nicht leisten können (zwei Standorte, aber dann nur Level 2, nicht Level 3)«

»Redundanzkonzepte werden immer noch durch Technologie-Anforderungen beeinflusst«

»im Bestand gibt es wenig Umzugsanforderungen hinzu höheren Verfügbarkeitsklassen, bei Neukunden sind die Anforderungen zu Projektbeginn meist hoch, werden dann aber über die Preise relativiert«

Sicherheitsaspekte

Einzelaussagen auf Basis von Experteninterviews

»Kunden investieren stark in Sicherheitsmaßnahmen«

»Schutz vor Cyberangriffen ist für Managed Service Betreibende exorbitant. Erhebliche finanzielle und organisatorische Auswirkungen, kleinere Anbieter können dies oftmals nicht bieten«

»Die teilweise kostenintensiven Maßnahmen können dazu führen, dass kleinere Managed Service Anbieter künftig Marktanteile verlieren«

»Sofern Dienstleister Sicherheitslösungen as-a-service in Colocation-Rechenzentren anbieten, werden diese gerne von den Kunden beauftragt«

»Die physischen Kontrollen sind überwiegend gleichbleibend, es erfolgt eine permanente Anpassung an moderne, neuere Technologien und auch der Prozesse«

»Gefahr von Cyberangriffen, da durch die Remote-Steuerung eine Öffnung der Datacenter erfolgt«

»KRITIS fordert Security-Maßnahmen«

Cyberbedrohungen sind das Key-Thema

- Die Kunden ergreifen verstärkt Maßnahmen zur Absicherung vor Cyberangriffen
- Sofern Dienstleister Sicherheitslösungen as-a-service in Rechenzentren anbieten, werden diese gerne beauftragt
- Die physischen Kontrollen sind überwiegend gleichbleibend, es erfolgt eine permanente Anpassung an moderne, neuere Technologien und auch der Prozesse
- Die Vorgaben von KRITIS sind zu beachten und umzusetzen
- Die teilweise kostenintensiven Maßnahmen können dazu führen, dass kleinere Managed Service Anbieter künftig Marktanteile verlieren
- TÜV IT Level 3 (oder vergleichbar DIN EN 50600) ist in Deutschland der quasi-Standard
- Redundanzkonzepte werden immer noch durch Technologie-Anforderungen beeinflusst
- Die Anforderungen an die Redundanzkonzepte unterscheiden sich nach Art der Gewerke (z. B. Stromversorgung/ Klimatisierung)



5.3 Rechenzentren und Telekommunikationsinfrastrukturen

Datennetze, Knoten, Latenzen und Potenziale

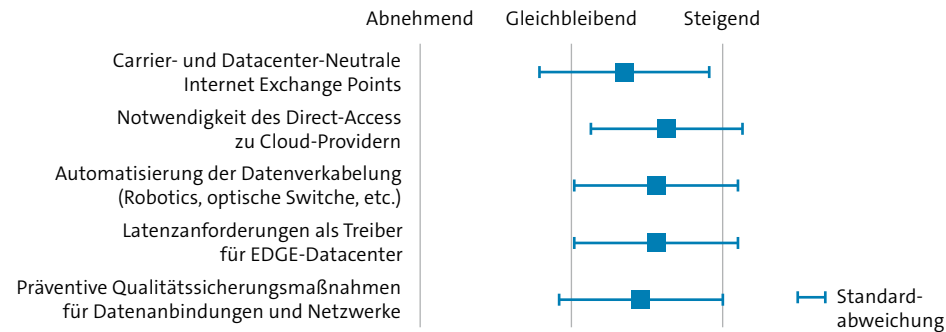


Abbildung 37 – Delphi-Expertenbefragung: Wie entwickelt sich aus ihrer Sicht die Bedeutung folgender Themen in den nächsten 3 Jahren?

2. Runde Delphi-Expertenbefragung durch Borderstep (12.–22.10.2021; n = 81)

Latenzen beeinflussen die Standortwahl, der Direct-Access zu Cloud-Providern wird wichtig

- Latenzen beeinflussen die Standortwahl
- Nähe zu Internet-Knoten sowie Direktanschluss zu den großen Cloud-Providern sind Entscheidungskriterien
- Redundante Carrier-Angebote auch außerhalb der Ballungszentren benötigt
- Die Datenanbindung und die Datennetze rangieren bei der Planung von Rechenzentren nicht an erster Stelle
- Potenziale
 - zur Automatisierung
 - für präventive Maßnahmen
 - zur Erhöhung der Verfügbarkeit
 - für Sicherheitsaspekte
- Datacenter werden zunehmend vernetzt – z. B. regionale Netzwerkstrukturen werden mit überregionalen Netzen verbunden

Quellen

- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463.
- Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., & Hilty, L. (2020). *Klimaschutz durch digitale Technologien*. Berlin, Zürich: Borderstep Institut, Universität Zürich.
- Bitkom. (2021). *Klimaeffekte der Digitalisierung*. Abgerufen 9. Mai 2021, von <https://www.bitkom.org/Klimaschutz>
- BMU. (2020). *Umweltpolitische Digitalagenda*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit website: <https://www.bmu.de/digitalagenda/>
- CBRE. (2020). *Der Markt für Rechenzentren in Deutschland*. Abgerufen von <https://www.cbre.de/de-de/research/Deutschland-Data-Center-2020>
- CBRE. (2021). *EMEA Data Centres Q4 2020*. Abgerufen von <https://www.cbre.com/real-estate-services/real-estate-industries/data-center-solutions/data-center-publications/articles/emea-data-centres-q4-2020>
- Clausen, J., Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2021). *Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung in Rechenzentren in Deutschland – Hintergrundpapier*. Berlin.
- CloudHQ. (2020). *CloudHQ Offenbach Campus | CloudHQ*. Abgerufen 15. Dezember 2020, von <https://cloudhq.com/offenbach/>
- Cook, G., Lee, J., Tsai, T., Kong, A., Deans, J., Johnson, B., & Jardim, E. (2017). *Clicking Clean: Who is winning the race to build a Green Internet?* Greenpeace International, Amsterdam, The Netherlands. Abgerufen von https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/20170110_greenpeace_clicking_clean.pdf
- Digital HUB. (2017, Oktober 20). *Digital HUB: »Brexit verstärkt bereits intensiven Boom der Frankfurter Rechenzentren«*. Abgerufen 22. Februar 2018, von Digital HUB Frankfurt Rhein Main website: <https://www.digitalhub-frm.de/2017/digital-hub-brexit-verstaerkt-bereits-intensiven-boom-der-frankfurter-rechenzentren/>
- eco, & Arthur D. Little. (2020). *Die Internetwirtschaft in Deutschland 2020–2025: Auswirkungen der Corona-Krise*. Abgerufen von <https://www.eco.de/studie-internetwirtschaft-20-25-corona-preprint/>
- GeSI, & Deloitte. (2019). *Digital with purpose – Delivering a smarter 2030*. Brussels.
- Heunemann, F., & Frankfurt. (2020, Juli 30). *Interxion im Traditionsbau: Milliardeninvestition in größten Internetknoten der Welt*. FAZ.NET. Abgerufen von <https://www.faz.net/1.6883233>
- Hintemann, R. (2017a). *Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? – Präsentation*. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren – NeRZ. Abgerufen von Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren – NeRZ website: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/07/NeRZ-Studie-Rechenzentrumsmarkt-30-06-2017.pdf>
- Hintemann, R. (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. (2021a). *DC-HEAT – Data Centre Heat Exchange with AI-Technologies: Kurzfassung der Ergebnisse*. Berlin: Borderstep Institut.
- Hintemann, R. (2021b). *Rechenzentren 2020. Cloud Computing profitiert von der Krise. Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an*. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Borderstep Institut website: https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.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. (2018a). Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Berlin. Verfügbar unter: Berlin. Abgerufen von https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/06/DI_Studie.pdf
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2018b). Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., 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., & Hinterholzer, S. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung – Teil 1. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Clausen, J. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung – Teil 2. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: <https://digitale-infrastrukturen.net/rechenzentren-in-europa-chancen-fuer-eine-nachhaltige-digitalisierung-teil-2/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2021). Verteilung der Rechenzentren in Deutschland – Hessen mit der Region Frankfurt Rhein/Main mit großem Abstand größter Ballungsraum (in Veröffentlichung). DataCenter Insider.
- Howard-Healy, M. (2018). Co-location Market Quarterly (CMQ) brief – Vortrag auf dem BroadGroup's Knowledge Brunch in Frankfurt. Broadgroup.
- IDC. (2020, September 8). Worldwide Server Market Revenue Grew 19.8 % Year Over Year in the Second Quarter of 2020, According to IDC. Abgerufen 26. Februar 2021, von IDC: The premier global market intelligence company website: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46838120>
- Iding, D. (2019, November 15). Rechenzentrum in Großauheim soll eines der größten Europas werden. Abgerufen 15. Dezember 2020, von <https://www.op-online.de> website: <https://www.op-online.de/region/hanau/hanau-rechenzentrum-grossauheim-soll-eines-groessten-europas-werden-13221251.html>
- IPCC. (2021). Climate change widespread, rapid, and intensifying – IPCC Press Release. Intergovernmental Panel on Climate Change. Abgerufen von Intergovernmental Panel on Climate Change website: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release_en.pdf?__cf_chl_jschl_tk__=pmd_2d0cccfac82decb4669c469f41c94befaca6c6b5-1628500364-0-gqNtZGzNAiKjcnBsZQhi
- KPMG, & Bitkom. (2021). Cloud-Monitor 2021. Abgerufen von <https://home.kpmg/de/de/home/themen/overview/cloud-computing.html>
- Pehlken, A., Hintemann, R., Penaherrera, F., Gizli, V., Hurrelmann, K., Hinterholzer, S. et al. (2020). *Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO*. Oldenburg: TEMPRO. Verfügbar unter: <https://tempro-energy.de/veroeffentlichungen>
- Schlegl, A. (2020, September 25). Bau des riesigen Rechenzentrums beginnt in Offenbach. Abgerufen 15. Dezember 2020, von <https://www.fr.de> website: <https://www.fr.de/rhein-main/bau-des-riesigen-rechenzentrums-beginnt-in-offenbach-90053934.html>

Schödwell, B., Zarnekow, R., Gröger, J., Liu, R., & Wilkens, M. (2018). Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit (Nr. 19/2018). Dessau-Roßlau. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>

Stadt Offenbach. (2020, Oktober 9). Eines der größten Rechenzentren entsteht in Offenbach [City]. Abgerufen 15. Dezember 2020, von https://www.offenbach.de/wirtschaft/aktuell/Artikel_/rechenzentrum-webkonferenz09.10.2020.php

UBA, L. (2021). Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid – Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990–2020. Umweltbundesamt. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-der-spezifischen-kohlendioxid-7>

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>

WBGU. (2019). Hauptgutachten: Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Abgerufen von Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen website: <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/unsere-gemeinsame-digitale-zukunft>

Zachmann, F. (2020). Global Digital Hub Frankfurt Rhein Main: Erfahrungen, Chancen, Herausforderungen. Gehalten auf der GTAI Round Table Datacenter, Berlin.

Weitere verwendete Literatur

Andrae, A. S. G. (2019). Prediction Studies of Electricity Use of Global Computing in 2030.

Andrae, A. S. G. & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. Challenges, 6(1), 117–157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>

Bittman, T. (2017, März 6). The Edge Will Eat The Cloud. Gartner Blog Network. Zugriff am 25.10.2017. Verfügbar unter: https://blogs.gartner.com/thomas_bittman/2017/03/06/the-edge-will-eat-the-cloud/

Bizo, D., Ascierio, R., Lawrence, A. & Davis, J. (2021). Uptime Institute Global Data Center Survey 2021 – Growth stretches an evolving sector.

Cohen, B., Kathrivel, G., Katsaros, G., Legre, A., Mitry, A., Price, C. et al. (2018). Cloud Edge Computing: Beyond the Data Center. whitepaper. Openstack.org.

Cushman & Wakefield. (2016). Data Center Risk Index. New York. Zugriff am 29.7.2016. Verfügbar unter: <http://www.cushmanwakefield.com/en/research-and-insight/2016/data-centre-risk-index-2016/>

Cushman & Wakefield. (2021). Global Data Center Market Comparison 2021. Zugriff am 6.11.2021. Verfügbar unter: <https://cushwake.cld.bz/2021-Data-Center-Global-Market-Comparison/2/>

Emerson Network Power. (2014). Data Center 2025: Exploring the Possibilities. Columbus, OH. Zugriff am 20.11.2014. Verfügbar unter: www.emersonnetworkpower.com/Data-Center2025

Fraga-Lamas, P., Lopes, S. I. & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Green IoT and Edge AI as Key Technological Enablers for a Sustainable Digital Transition towards a Smart Circular Economy: An Industry 5.0 Use Case. Sensors, 21(17), 5745. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

Gartner. (2020, März 19). Gartner Says Worldwide Server Revenue Grew 5.1% in the Fourth Quarter of 2019, While Shipments Increased 11.7%. Gartner. Zugriff am 19.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-03-19-gartner-says-worldwide-server-revenue-grew-5-percent-in-the-fourth-quarter-of-2019-while-shipments-increased-11-percent>

GeSI & Accenture Strategy. (2015). #SMARTer 2030: ICT Solutions for the 21st Century Challenges. Global e-Sustainability Initiative. Zugriff am 25.4.2016. Verfügbar unter: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report2.pdf

- Gill, B. & Smith, D. (2018). The Edge Completes the Cloud: A Gartner Trend Insight Report. Gartner. Zugriff am 8.11.2021. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/en/doc/3889058-the-edge-completes-the-cloud-a-gartner-trend-insight-report>
- Helmrich, K. (2021). Wie die Cloud, Edge Computing und Künstliche Intelligenz zur Nachhaltigkeit in der Industrie beitragen. CSR und Digitalisierung (S.175–192). Springer.
- IDC. (2015). SMART 2013/0043 – Uptake of Cloud in Europe – Follow-up of IDC Study on Quantitative estimates of the demand for Cloud Computing in Europe and the likely barriers to take-up. Zugriff am 12.9.2018. Verfügbar unter: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cfe5a91c-85cf-4c64-99e9-1b5900c8529a/language-en/format-PDF/source-search>
- IDC. (2019). Cloud IT Infrastructure Revenues Surpassed Traditional IT Infrastructure Revenues for the First Time in the Third Quarter of 2018, According to IDC. IDC: The premier global market intelligence company. Zugriff am 2.5.2019. Verfügbar unter: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44670519>
- IDC. (2020, September 8). Worldwide Server Market Revenue Grew 19.8 % Year Over Year in the Second Quarter of 2020, According to IDC. IDC: The premier global market intelligence company. Zugriff am 26.2.2021. Verfügbar unter: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS46838120>
- IDC & Seagate. (2018). DataAge 2025 – The Digitization of the World. Zugriff am 1.2.2019. Verfügbar unter: <https://www.seagate.com/gb/en/our-story/data-age-2025/>
- Lei, N. & Masanet, E. R. (2021). GLOBAL DATA CENTER ENERGY DEMAND AND STRATEGIES TO CONSERVE ENERGY. Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center, 15–26. Wiley Online Library.
- Marshall, P. (2021). STATE OF THE EDGE 2021 – A Market and Ecosystem Report for Edge Computing. online: State of the edge. Zugriff am 1.8.2021. Verfügbar unter: <https://stateoftheedge.com/reports/state-of-the-edge-report-2021/>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J. (2020, Februar 28). Recalibrating global data center energy-use estimates | Science. Science. Zugriff am 4.3.2020. Verfügbar unter: <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>
- van der Meulen, R. (2019). What Edge Computing Means for Infrastructure and Operations Leaders. Smarter With Gartner. Zugriff am 12.4.2018. Verfügbar unter: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/what-edge-computing-means-for-infrastructure-and-operations-leaders/>
- Nebuloni, G. & Olah, A. (2014). Wachstumsmotor IT: So fördern effiziente Rechenzentren das Unternehmenswachstum. Frankfurt: IDC/Rittal.
- PricewaterhouseCoopers. (2020). Edge data centers: how to participate in the coming boom. PwC. Zugriff am 10.7.2020. Verfügbar unter: <https://www.pwc.com/us/en/industries/capital-projects-infrastructure/library/edge-data-centers.html>
- Radovanovic, A., Koningstein, R., Schneider, I., Chen, B., Duarte, A., Roy, B. et al. (2021). Carbon-Aware Computing for Data-centers.
- Shehabi, A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., Herrlin, M., Koomey, J. et al. (2016). United States Data Center Energy Usage Report. Nr. LBNL-1005775. Berkeley, CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Zugriff am 19.2.2018. Verfügbar unter: https://eta.lbl.gov/sites/all/files/publications/lbnl-1005775_v2.pdf
- The Shift Project. (2019). LEAN ICT – Towards digital sobriety. Zugriff am 18.4.2019. Verfügbar unter: <https://theshiftproject.org/en/article/lean-ict-our-new-report/>
- Uptime Institute. (2018). Uptime Institute data shows outages are common, costly, and preventable. Verfügbar unter: <https://uptimeinstitute.com/data-center-outages-are-common-costly-and-preventable>
- Uptime Institute. (2019). Is PUE actually going UP? – Uptime Institute Blog. Zugriff am 5.3.2020. Verfügbar unter: <https://journal.uptimeinstitute.com/is-pue-actually-going-up/>

Vertiv. (2019). Das Rechenzentrum 2025 – Näher am Edge.
Zugriff am 4.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.vertiv.com/de-emea/about/news-and-insights/articles/pr-campaigns-reports/data-center-2025-closer-to-the-edge/>

Worldwide Quarterly Server Tracker. (o. J.). IDC: The premier global market intelligence company. Zugriff am 14.5.2021.
Verfügbar unter: https://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?containerId=IDC_P348

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.

**Bundesverband Informationswirtschaft,
Telekommunikation und neue Medien e.V.**

Albrechtstraße 10
10117 Berlin
T 030 27576-0
F 030 27576-400
bitkom@bitkom.org
www.bitkom.org

bitkom