



digitales.hessen

Intelligent. Vernetzt. Für Alle

# POTENZIAL VON ENERGIE-EFFIZIENZTECHNOLOGIEN BEI COLOCATION-RECHENZENTREN IN HESSEN

HESSEN



TECHNOLOGIELAND  
HESSEN

# IMPRESSUM

**Potenzial von Energieeffizienztechnologien  
bei Colocation Rechenzentren in Hessen**  
Studie im Auftrag der Hessen Trade & Invest GmbH

## Herausgeber

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung  
Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden  
www.wirtschaft.hessen.de

## Projekträger

Hessen Trade & Invest GmbH  
Konradinallee 9  
65189 Wiesbaden  
Jan Oliver Schmitt  
Telefon 0611 95017-8624  
janoliver.schmitt@htai.de

## Redaktion

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung  
Maria Rieping

Hessen Trade & Invest GmbH  
Jan Oliver Schmitt

## Verfasser

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit  
gemeinnützige GmbH  
Dr. Ralph Hintemann, Dr. Jens Clausen  
www.borderstep.de

## Gestaltung

Piva & Piva, Darmstadt

## Bildnachweis

Titel: © sdecoret | Fotolia.com

## Stand

März 2018

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung.  
Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise –  
nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen und Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zu gegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

# INHALT

Abbildungsverzeichnis .....	4
Glossar .....	5
<b>1 Problemstellung und Zielsetzung des Vorhabens .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Wirtschaftliche Bedeutung der hessischen Colocation-Rechenzentren .....</b>	<b>7</b>
2.1 Der Trend zu Colocation-Rechenzentren .....	7
2.2 Colocation-Markt in Hessen .....	9
2.3 Wirtschaftliche Bedeutung des Rechenzentrums-Marktes in Hessen .....	11
2.4 Herausforderungen im Colocation-Markt .....	14
2.5 Internationale Entwicklungen und Wettbewerbssituation .....	15
<b>3 Colocation-Rechenzentren in Hessen: Energiebedarf und Energieeffizienz .....</b>	<b>20</b>
3.1 Energiebedarf der Rechenzentren in Hessen .....	21
3.2 Energieeffizienztechnologien in Colocation-Rechenzentren .....	22
3.3 Einfluss des Geschäftsmodells auf die Energieeffizienz bei Colocation-Rechenzentren .....	27
3.4 Energieeffizienz beim Neubau von Colocation-Rechenzentren .....	28
3.5 Energetische Modernisierung von Colocation-Rechenzentren .....	30
3.6 Potenziale ausgewählter neuer Technologien in Colocation-Rechenzentren .....	31
3.7 Hemmende Faktoren für Energieeffizienz .....	34
3.8 Erkenntnisse aus der Diffusionsforschung .....	35
<b>4 Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>37</b>
<b>5 Literatur .....</b>	<b>39</b>
<b>6 Anhang: Vorgehensweise und Methoden .....</b>	<b>42</b>

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Wie entwickelt sich die IT-Fläche bei verschiedenen Rechenzentrumstypen? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	8
Abbildung 2:	Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten (in m <sup>2</sup> ) in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020 .....	10
Abbildung 3:	Entwicklung des Angebots der IT-Anschlussleistung der Colocation-Rechenzentren in Hessen von 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020 .....	11
Abbildung 4:	Wie entwickeln sich die Investitionen in Rechenzentren in den nächsten Jahren? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	12
Abbildung 5:	Welche Erwartung haben Rechenzentrumsbetreiber an ihr Rechenzentrum im Jahr 2025 (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	13
Abbildung 6:	Elektrische Versorgungsleistung der größten Rechenzentrumsstandorte (Nordamerika: 10 Standorte, Asien: 4 Standorte, Europa: 4 Standorte) im Jahr 2017 .....	15
Abbildung 7:	Entwicklung der Data Center Workload weltweit nach Regionen (Prognose Cisco) .....	16
Abbildung 8:	Ausbau des Colocation-Marktes an führenden Standorten weltweit .....	17
Abbildung 9:	Ausbau der großen Colocation Standorte in Europa seit 2006 .....	18
Abbildung 10:	Wie werden verschiedene Standortfaktoren in Deutschland eingeschätzt? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	19
Abbildung 11:	Jahresstromverbrauch der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020 .....	21
Abbildung 12:	Welche Maßnahmen zur Energieeinsparung wurden ergriffen? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	24
Abbildung 13:	In welchen Bereichen wurden Energie- und CO <sub>2</sub> -Einsparungen realisiert? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	25
Abbildung 14:	Welche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sind in Zukunft geplant? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	26
Abbildung 15:	Welche Energie- bzw. CO <sub>2</sub> -Einsparungen werden bei verschiedenen Maßnahmen in Zukunft erwartet? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	27
Abbildung 16:	Wie hoch ist der Anteil regenerativ erzeugten Stroms der Rechenzentren? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	29
Abbildung 17:	Wie interessant ist die Nutzung wassergekühlter Server für die Rechenzentren? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	31
Abbildung 18:	Wie interessant ist die Nutzung von Ad- oder Absorptionskältemaschinen (AKM) für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	32
Abbildung 19:	Wie wird Abwärme der Rechenzentren genutzt? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017) .....	33

# GLOSSAR

**Carrier Hotel:** Anderer Begriff für Colocation-Rechenzentren. Mit dem Begriff wird ausgedrückt, dass für die Kunden in Colocation-Rechenzentren der Zugang zu verschiedenen Telekommunikationsdienstleistern möglich ist. Dieser Zugang stellt einen wesentlichen Bestandteil der Colocation Dienstleistung dar.

**Cloud Computing:** Cloud Computing bezeichnet den Ansatz, IT-Ressourcen wie Speicherplatz, Rechenleistung oder Anwendungssoftware über das Internet als Dienstleistung zur Verfügung zu stellen.

**Cloud Hotel:** Anderer Begriff für Colocation Rechenzentrum, der ausdrückt, dass im Zeitalter des Cloud Computings der Zugang zu Cloud Dienstleistern im Colocation Rechenzentrum einen wesentlichen Aspekt der Dienstleistung darstellt. Der Begriff wird insbesondere in Abgrenzung zum Begriff Carrier Hotel verwendet.

**Containervirtualisierung:** Methode, mit deren Hilfe die Hardware besser ausgelastet werden kann. Andere Begriffe für Containervirtualisierung sind Betriebssystem- oder Applikationsvirtualisierung. Containervirtualisierung ist vom Prinzip her vergleichbar mit Servervirtualisierung, allerdings findet die Virtualisierung auf einer anderen Abstraktionsebene statt. Während ein virtueller Server ein isoliertes System mit eigenem Betriebssystem darstellt, handelt es sich bei einem Container um eine isolierte Anwendung. Container sind daher kleiner, aber auch schneller und flexibler. Sie gelten als besonders ressourcenschonend.

**Colocation-Rechenzentren:** Rechenzentrum, in dem ein Anbieter seinen Kunden Rechenzentrumsfläche und Versorgungsinfrastruktur bereitstellt. Die IT-Geräte sind aber im Besitz des Kunden. Siehe Housing.

**Housing:** Anderer Begriff für Colocation. Unter Housing bzw. Serverhousing versteht man die Unterbringung von Servern bei einem Dienstleister. Dieser stellt die Netzanbindung und in der Regel auch sichere Infrastruktur wie USV, Klimatisierung, Brandschutz, Bewachung etc. zur Verfügung.

**IT-Fläche:** Die IT-Fläche ist die Fläche innerhalb von Rechenzentren, die für das Aufstellen von IT-Equipment wie Server, Speichersysteme und Netzwerkkomponenten zur Verfügung steht.

**Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK):** Bei der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung handelt es sich um eine Erweiterung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Die von einer Kraft-Wärme-Anlage wie z. B. einem Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugte Wärme wird mit Hilfe der sogenannten Sorptionstechnik zur Kälteerzeugung genutzt. Im Gegensatz zur weit verbreiteten Kompressionstechnik, bei der die Energie zur Erzeugung der Kälte in Form von mechanischer Energie zugeführt wird, nutzt die Sorptionstechnik ausschließlich Wärmeenergie zur Kälteerzeugung.

**Power Usage Effectiveness (PUE):** Die PUE gibt das Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs eines Rechenzentrums zum Energieverbrauch der IT im Rechenzentrum an. Der theoretisch optimale PUE-Wert ist 1, weil dann die gesamte Leistung in die eigentliche IT fließt. Der Kehrwert der PUE ist die Data Center Infrastructure Efficiency (DCIE). Die DCIE gibt das Verhältnis des Energieverbrauchs der IT zum Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums in Prozent an. PUE und DCIE sind weit verbreitete Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz der Infrastruktur eines Rechenzentrums.

**Servervirtualisierung:** Durch Servervirtualisierung können Computerressourcen zusammengefasst oder aufgeteilt werden. Virtualisierung abstrahiert von der tatsächlich vorhandenen Hardware und stellt logische Systeme zur Verfügung. Bei der Servervirtualisierung werden Hardwareserver so aufgeteilt wird, dass dem Anwender mehrere logische Server zur Verfügung gestellt werden, auf denen z. B. verschiedene Betriebssysteme installiert werden können. Mit Hilfe von Servervirtualisierung können Hardware-Ressourcen besser ausgelastet werden.

**Service Level Agreement (SLA):** Ein SLA ist eine Vereinbarung zwischen Auftraggeber und Dienstleister, in der die Qualität der Dienstleistung durch zugesicherte Leistungseigenschaften wie etwa Leistungsumfang, Reaktionszeit oder Verfügbarkeit genau beschrieben werden.

**Workload:** Cisco verwendet den Begriff Workload für die Leistung von Rechenzentren. Eine einzelne Serverworkload ist ein virtuelles oder physikalisches Set von Computerressourcen, einschließlich Datenspeicher. Eine Workload kann ein physischer Server, ein virtueller Server oder ein Container sein.

# 1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG DES VORHABENS

Einer gut ausgebauten und funktionsfähigen IKT-Infrastruktur kommt eine zentrale Bedeutung für den Standort Deutschland und die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen im internationalen Kontext zu. Fast unbemerkt von der Öffentlichkeit haben sich Rechenzentren zum Herzstück der digitalen wie der industriellen Gesellschaft entwickelt. Für die Bewältigung der gigantischen Datenmassen, welche durch die rasante Digitalisierung unserer Gesellschaft anfallen, sind Rechenzentren heute nicht mehr wegzudenken.

Für Hessen bestehen sehr gute Voraussetzungen, auch künftig einer der zentralen europäischen Standorte für leistungsfähige Rechenzentren zu sein. Insbesondere die Rhein-Main-Region hat sich dank einer hervorragenden Infrastruktur und der Nähe zum weltgrößten Internetknoten DE-CIX zu einem internationalen Zentrum für Rechenzentren entwickelt.

Das Wachstum des Rechenzentrumsmarktes wird gegenwärtig im Wesentlichen durch Cloud Computing und Colocation getragen (Hintemann & Clausen, 2016). Hessen ist auch in diesen Bereichen deutschlandweit an der Spitze. Der Anteil von Colocation-Rechenzentren wird deutschlandweit bis 2020 auf ca. 40% der Gesamt-IT-Fläche der Rechenzentren anwachsen, in Hessen ist der Anteil sogar noch höher (Hintemann & Clausen, 2016). Der Digital Hub FrankfurtRheinMain sieht aktuell ein starkes Wachstum der Colocation Flächen in Frankfurt (Digital HUB, 2017). Ob dies zu einer Stärkung des Standortes im internationalen Vergleich führen kann, soll im Rahmen des Vorhabens untersucht werden. Bei dieser Betrachtung werden auch aktuelle Analysen berücksichtigt, die einen Rückgang der Bedeutung der europäischen Rechenzentren im internationalen Vergleich feststellen. So geht z. B. Cisco davon aus, dass die Kapazitäten in den Rechenzentren vor allem in Asien deutlich schneller wachsen als die in Europa (Cisco, 2014, 2015, 2016, 2018).

Trotz immer weiter steigender Energieeffizienz steigt der Energiebedarf der Rechenzentren in Summe kontinuierlich an und lag deutschlandweit im Jahr 2016 bei 12,4 Mrd. kWh (Hintemann, 2017). Die geschaffenen zusätzlichen Kapazitäten an Rechen- und Speicherleistung wachsen noch schneller als die Energieeffizienz. Im Netzgebiet der Mainova liegt der Stromverbrauch der erfassten Rechenzentren bei knapp 20% des gesamten Stromverbrauchs und damit etwas oberhalb des Stromverbrauchs des Flughafens Frankfurt (Winter, 2016). Insbesondere Colocation-Rechenzentren stehen vor komplexen Herausforderungen bei der Adaptierung von modernen Energieeffizienzmaßnahmen (Bitkom, 2015; Hintemann, 2014).

Vor dem Hintergrund der hohen wirtschaftlichen Bedeutung der Rechenzentren für Hessen, des hohen Energiebedarfs wie auch der besonderen wirtschaftlichen Dynamik der Colocation-Rechenzentren, verfolgt die hier vorliegende Untersuchung im Einzelnen folgende Ziele:

- Die Rolle der Colocation-Rechenzentren auf dem Rechenzentrumsmarkt, ihre wirtschaftliche Bedeutung und ihr Energieverbrauch sind mit dem Fokus auf Hessen zu ermitteln.
- Energieeinsparpotenziale für Colocation-Rechenzentren sind zu identifizieren und abzuschätzen.
- Hindernde und fördernde Faktoren der Verbreitung der wesentlichen Effizienztechnologien sind für Rechenzentren in Deutschland allgemein und mit Fokus auf Colocation Anbieter speziell zu ermitteln und zu beurteilen.
- Das Potenzial einzelner Energieeffizienztechnologien (Luftkühlung, Wasserkühlung, Brennstoffzellen, Abwärmenutzung, usw.) für Colocation-Rechenzentren sind zu bewerten und Maßnahmen sind vorzuschlagen, wie die Potenziale in der Praxis realisiert werden können.
- Aktuelle Zahlen über die Rechenzentrumsbranche (wirtschaftliche Bedeutung und Energieverbrauch) in Hessen sollen ermittelt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein Untersuchungsdesign<sup>1</sup> gewählt, das neben Desk Research und strukturierten Interviews mit Betreibern, Ausstattern und Planern von Colocation-Rechenzentren auch die Berechnung von wirtschaftlichen Kennzahlen für Hessen auf Basis des Borderstep-Strukturmodells für Rechenzentren in Deutschland umfasst. Weiterhin wurde eine im Frühjahr 2017 durchgeführte Online-Befragung von Rechenzentrumsbetreibern zum Thema Marktentwicklung und Energieeffizienz dahingehend ausgewertet, wie sich die Antworten zwischen Colocation-Rechenzentren und Rechenzentren im Eigenbetrieb unterscheiden.

<sup>1</sup> Zur Darstellung des Untersuchungsdesigns im Detail siehe Anhang „Vorgehensweisen und Methoden“.

## 2 WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER HESSISCHEN COLOCATION-RECHENZENTREN

### Key facts

- Der Markt für Colocation-Rechenzentren in Hessen boomt. Gemessen an der IT-Fläche haben sich die Kapazitäten in den Colocation-Rechenzentren in Hessen zwischen 2010 und 2017 um 60% erhöht, gemessen an der zur Verfügung stehenden IT-Anschlussleistung sogar um 100%.
- In den Rechenzentren in Hessen gab es im Jahr 2017 insgesamt eine IT-Fläche von 550.000 m<sup>2</sup>, davon 250.000 m<sup>2</sup> in Colocation-Rechenzentren.
- 40% aller Kapazitäten in deutschen Colocation-Rechenzentren befinden sich in Hessen.
- Die Rechenzentren in Hessen sichern mehr als 35.000 Arbeitsplätze
- Im internationalen Wettbewerb um Rechenzentren nimmt die Bedeutung Europas ab.

### 2.1 Der Trend zu Colocation-Rechenzentren

Der Rechenzentrumsmarkt boomt. Die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft benötigt immer mehr IT-Ressourcen. Trends und Anwendungen wie Big Data, Internet of Things, Social Media, Unternehmenssoftware oder Videostreaming stellen stetig steigende Anforderungen an die Rechen- und Datenspeicherleistung. Weltweit werden daher immer mehr neue und oft sehr große Rechenzentren gebaut. Getragen wird dieses Marktwachstum insbesondere durch Cloud Dienste. Cloud Computing ermöglicht die effiziente, flexible und oft auch kostengünstige Bereitstellung zusätzlicher Rechen- und Speicherkapazitäten. Eine Untersuchung von Cisco prognostiziert, dass das Wachstum der Workload der Rechenzentren in Zukunft fast ausschließlich im Bereich des Cloud Computings stattfinden wird. Dagegen wird die Workload des traditionellen Rechenzentrumsbetriebs weltweit jährlich um fünf Prozent sinken (Cisco, 2018).

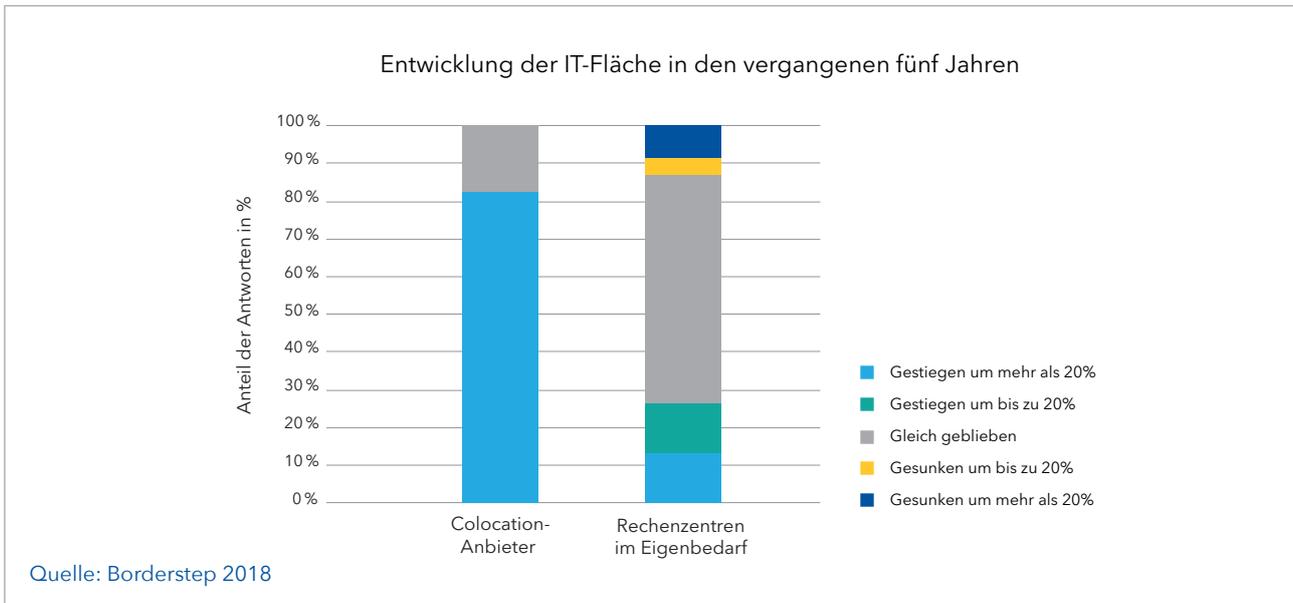
Um schnell und flexibel Cloud Rechenzentren aufbauen zu können, nutzen Cloud Dienstleister oft das Angebot von Colocation-Rechenzentren. Damit ist Cloud Computing ein wesentlicher Treiber für das auch in Zukunft zu erwartende starke Wachstum im Colocation-Markt. Schon heute befindet sich ca. 45% der in Hessen vorhandenen Rechenzentrums-IT-Fläche in Colocation-Rechenzentren (siehe Abschnitt 2.2). Colocation-Rechenzentren werden für Cloud Dienstleister und andere Kunden immer beliebter, weil sie sich so auf den Betrieb der IT konzentrieren können und Themen wie die schnelle Anbindung an das Internet, die sichere Stromversorgung, die ausreichende

und effiziente Klimatisierung und die Zugangssicherheit auf kompetente Dienstleister übertragen können. Ein wesentliches Argument für Colocation-Rechenzentren wird für viele Kunden zunehmend auch der direkte Zugang zu den großen Cloud Anbietern. Während in der Anfangszeit von Colocation-Rechenzentren für die Kunden vor allem der Zugang zu den Telekommunikationsdienstleistern wichtig war und man daher auch von Carrier Hotels sprach, wird heute zunehmend auch der Begriff Cloud Hotels für Colocation-Rechenzentren verwendet (Howard-Healy, 2016).

Der Trend zu Colocation-Rechenzentren wurde schon in der Borderstep-Untersuchung zum Rechenzentrumsmarkt in Hessen im Jahr 2015 dargestellt. Er hat sich seitdem noch weiter beschleunigt. Die Broadgroup geht davon aus, dass sich der Anteil der Nutzer von Colocation-Rechenzentren im Vergleich zum Eigenbetrieb sehr deutlich ändert. Während europaweit im Jahr 2015 noch 78% der Rechenzentren im Eigenbetrieb waren, soll deren Anteil bis 2020 auf 54% sinken (Howard-Healy, 2018).

Diese Entwicklung wird auch in einer im Frühjahr 2017 von Borderstep durchgeführten Befragung deutlich. Auf die Frage, wie sich die IT-Fläche in ihren Rechenzentren in den vergangenen fünf Jahren entwickelt hat, gaben über 80% der Colocation-Anbieter an, dass sie um mehr als 20% gestiegen ist. Demgegenüber blieb die IT-Fläche in den Rechenzentren im Eigenbetrieb in über 70% der Fälle gleich oder ist sogar gesunken (Abbildung 1).

Abbildung 1: **Wie entwickelt sich die IT-Fläche bei verschiedenen Rechenzentrumstypen? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)**



Dieser Wachstumstrend im Bereich der Colocation-Rechenzentren wird auch vom eco-Verband der Internetwirtschaft so gesehen. Der Colocation-Markt profitiert vor allem durch das starke Wachstum von Cloud-Angeboten und die Tendenz zum Outsourcing von unternehmenseigenen Rechenzentren und wächst stärker als der Durchschnitt. Der eco-Verband erwartet von 2015 bis 2019 eine jährliche Wachstumsrate von ca. 17% und damit fast eine Verdoppelung des Umsatzes im Segment Colocation&Housing von 3,2 Mrd. € auf 5,8 Mrd. € (eco & Arthur D. Little, 2015). Aus Sicht des eco-Verbandes ist der stetige IT-Outsourcing-Trend getrieben durch (eco & Arthur D. Little, 2015):

- den steigenden Bedarf an Daten- und Rechenkapazitäten vieler Großkunden,
- das Bestreben, gebundenes Kapital und laufende Kosten zu reduzieren,
- die Verlagerung von Rechenzentrumsstandorten an kundennahe Knotenpunkte.

Im Colocation-Markt ist seit einigen Jahren eine Konsolidierung in dem Sinne festzustellen, dass sich das Angebot auf größere Anbieter konzentriert. Dennoch gibt es immer noch eine Vielzahl sehr kleiner Anbieter mit Marktanteilen von unter ein Prozent. Sowohl eco (eco & Arthur D. Little, 2015) als auch Jones Lang LaSalle (Jones Lang LaSalle IP, 2017) erwarten für die Zukunft eine weitere deutliche Konzentration des Marktes durch Mergers&Akquisitions.

## 2.2 Colocation-Markt in Hessen

Die Colocation-Branche in Hessen entwickelt sich sehr dynamisch. Regelmäßig sind in den Medien Meldungen über den Neubau oder die Eröffnung von Colocation-Rechenzentren vor allem im Großraum Frankfurt zu lesen. Zum einen bauen die großen, bereits am Standort vertretenen Colocation-Betreiber wie E-Shelster, Equinix, Interxion und Telehouse ihre Kapazitäten weiter aus, zum anderen kommen aber auch neue und teilweise sehr große Betreiber hinzu, wie Digital Realty, Zenium oder Maincubes.

Trotz der vielen Meldungen über die Errichtung neuer Rechenzentren ist es schwierig, die genaue Größe des Colocation-Marktes in Hessen zu bestimmen. Das liegt unter anderem an den unterschiedlichen Begriffsverwendungen bei der Beschreibung der Größe von Rechenzentren. Zum einen werden Rechenzentren oft mit ihrer reinen Fläche, d.h. in Quadratmetern beschrieben. Hierbei ist aber zwischen der Gesamtgröße des Rechenzentrums und der Größe der IT-Fläche zu unterscheiden. Die Gesamtgröße umfasst neben der Fläche, auf die die IT installiert werden kann, auch Büroräume und Technikflächen z. B. für Stromversorgungsanlagen sowie Lösch- und Klimatechnik. Leider wird nicht in allen Quellen klar abgegrenzt, welche Flächen gemeint sind. Für Colocation-Rechenzentren wird die Kapazität des Rechenzentrums auch mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Leistung des elektrischen Stroms angegeben – oft in der Einheit Megawatt (MW). Allerdings ist auch hier nicht immer klar, was gemeint ist. Teilweise wird die max. Gesamtleistung des Rechenzentrums angegeben. Eine weitere Angabe ist die für die IT zur Verfügung stehende Stromleistung. Hier wird dann oft auch noch zwischen der theoretischen maximalen Kapazität und der dem Kunden zugesicherten Stromleistung unterschieden. Die tatsächliche Stromleistung wird dagegen praktisch nie angegeben.

Ein weiterer Grund für die Schwierigkeit zur Bestimmung des Gesamtmarktes liegt darin, dass sich in der Praxis Colocation-Rechenzentren nicht eindeutig von anderen Rechenzentren abgrenzen lassen. Viele Colocation-Rechenzentren bieten z. B. auch Hosting, Managed Services, Cloud Services oder andere IT-Dienstleistungen an.

Von vielen – gerade kleineren Colocation-Anbietern – sind auch Angaben über die Kapazitäten ihrer Rechenzentren nicht zu bekommen. Für die Bestimmung der Größe des Colocation-Marktes in Hessen kommt erschwerend hinzu, dass bei vielen Markt-Untersuchungen die regionale Abgrenzung nicht klar ist – oft wird vom Großraum Frankfurt oder der Region Frankfurt Rhein-Main gesprochen ohne klar zu definieren, was gemeint ist.

Im Vergleich verschiedener Untersuchungen können folgende Aussagen zum Rechenzentrumsmarkt zusammengefasst werden:

- Die Analysten von CBRE gaben für das Jahr 2013 eine IT-Fläche von knapp 160.000 m<sup>2</sup> für die Colocation-Rechenzentren im Großraum Frankfurt an (CBRE Global Corporate Services, 2013). Diese Fläche war zu 88% vertraglich ausgelastet. Seit 2014 gibt CBRE die Rechenzentrumskapazitäten in MW an. Für das Jahr 2016 wurde ein Gesamtangebot im Großraum Frankfurt von 203 MW ermittelt, wovon 87% vertraglich ausgelastet waren (CBRE Global Corporate Services, 2017-a).
- Der Digital Hub gibt eine Rechenzentrumsfläche von 500.000 m<sup>2</sup> für Frankfurt Rhein-Main an. Bis 2019 soll die Fläche auf 600.000 m<sup>2</sup> ansteigen (Digital HUB, 2017).
- Borderstep hat im Jahr 2015 eine IT-Fläche in Hessen von ca. 450.000 m<sup>2</sup> ermittelt. Damit stellte Hessen ca. 25% der Gesamt-IT-Fläche in Deutschland. Der Anteil der Colocation-Fläche an der Gesamtfläche in Hessen wurde auf ca. ein Drittel geschätzt mit deutlich steigender Tendenz (Hintemann & Clausen, 2016).
- Die Broadgroup schätzt den aktuellen Anteil von Colocation am Gesamtmarkt der Rechenzentren im Jahr 2018 auf 35% (Howard-Healy, 2018).

Die Zahlen geben insgesamt ein einigermaßen homogenes Bild, ohne aber eindeutige Ableitungen zuzulassen. Im Detail bleiben folgende Fragen offen:

- Gibt es einen deutlichen Unterschied zwischen dem Rechenzentrumsmarkt im „Großraum Frankfurt“, der Region „Frankfurt Rhein-Main“ und dem Land Hessen?
- Wie groß ist aktuell der Anteil der Colocation-Rechenzentren an allen Rechenzentren in Hessen?
- Wie stark war das Marktwachstum in Jahr 2017?

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde hierzu eine Recherche durchgeführt. Insbesondere wurden aktuelle Nachrichten und Informationen zu Colocation-Rechenzentren in Hessen zusammengefasst und strukturierte Interviews mit zehn Fachexperten geführt.

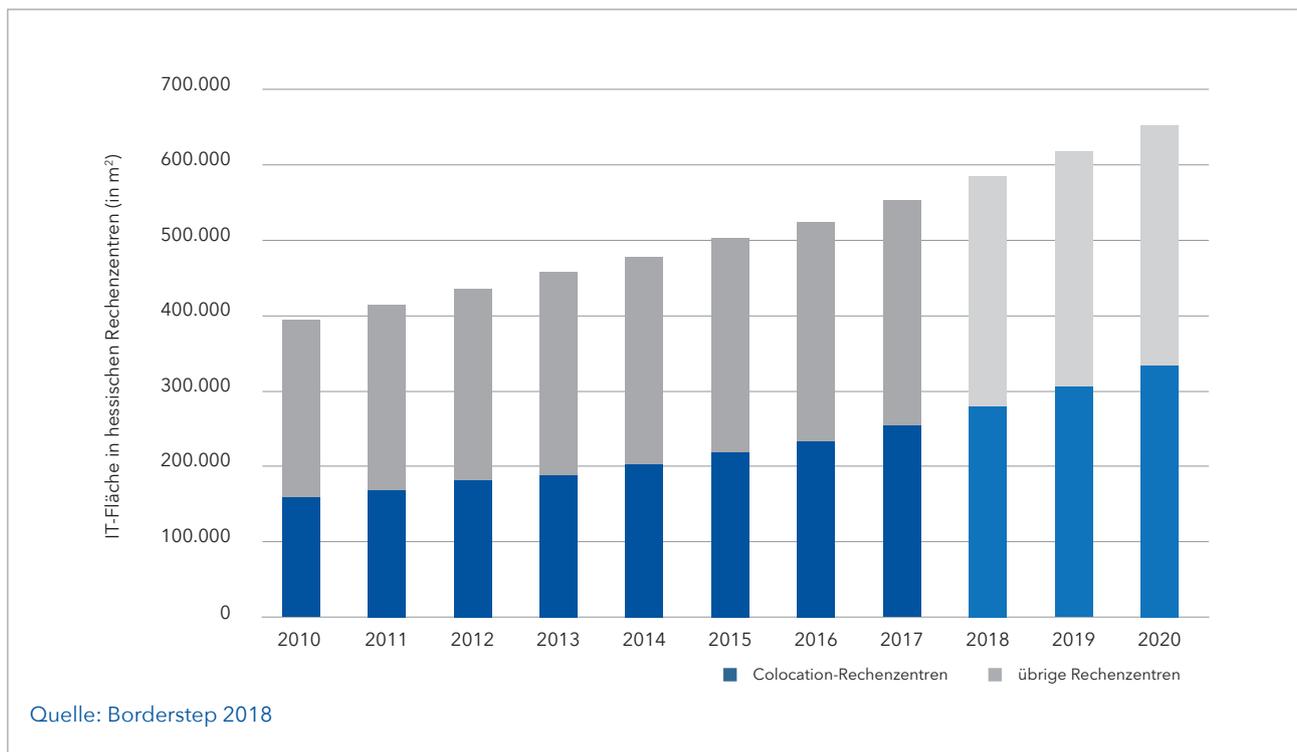
Zusammenfassend lassen sich folgende Schlussfolgerungen treffen:

- Für Anfang 2018 konnte die IT-Fläche von insgesamt 14 großen Colocation Anbietern in Hessen ermittelt werden. In Summe stellen diese Anbieter 230.000 m<sup>2</sup> zur Verfügung. Daneben existiert noch eine Vielzahl kleinerer Colocation-Anbieter. Insgesamt wird die IT-Fläche aller Colocation-Rechenzentren in Hessen für Anfang 2018 auf 275.000 m<sup>2</sup> geschätzt.
- Der Anteil der Colocation-Rechenzentren an der Gesamtfläche der Rechenzentren in Hessen steigt deutlich an und liegt mit aktuell etwas über 45% auch deutlich über dem Durchschnitt in Europa und Deutschland.

- Der Colocation-Markt in Hessen wuchs auch im Jahr 2017 dynamisch. Gemessen an der IT-Fläche hat sich die Kapazität der Colocation-Rechenzentren mit mehr als 20.000 m<sup>2</sup> um zehn Prozent erhöht, gemessen an der IT-Anschlussleistung sogar mit knapp 40 MW um 15%.

Auf Basis dieser Annahmen und unter Verwendung des Borderstep-Strukturmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland kann die Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten in Hessen wie in Abbildung 2 dargestellt abgeschätzt werden. Das Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten in Hessen wird aktuell und in Zukunft praktisch ausschließlich durch die Colocation-Rechenzentren bedingt. Im Vergleich zur oben genannten Abschätzung des Digital Hubs FrankfurtRheinMain liegen die ermittelten Kapazitäten höher. Dies ist insbesondere dadurch begründet, dass beim Digital Hub der Großraum Frankfurt Rhein-Main betrachtet wurde, in der vorliegenden Untersuchung dagegen das gesamte Land Hessen betrachtet wird.

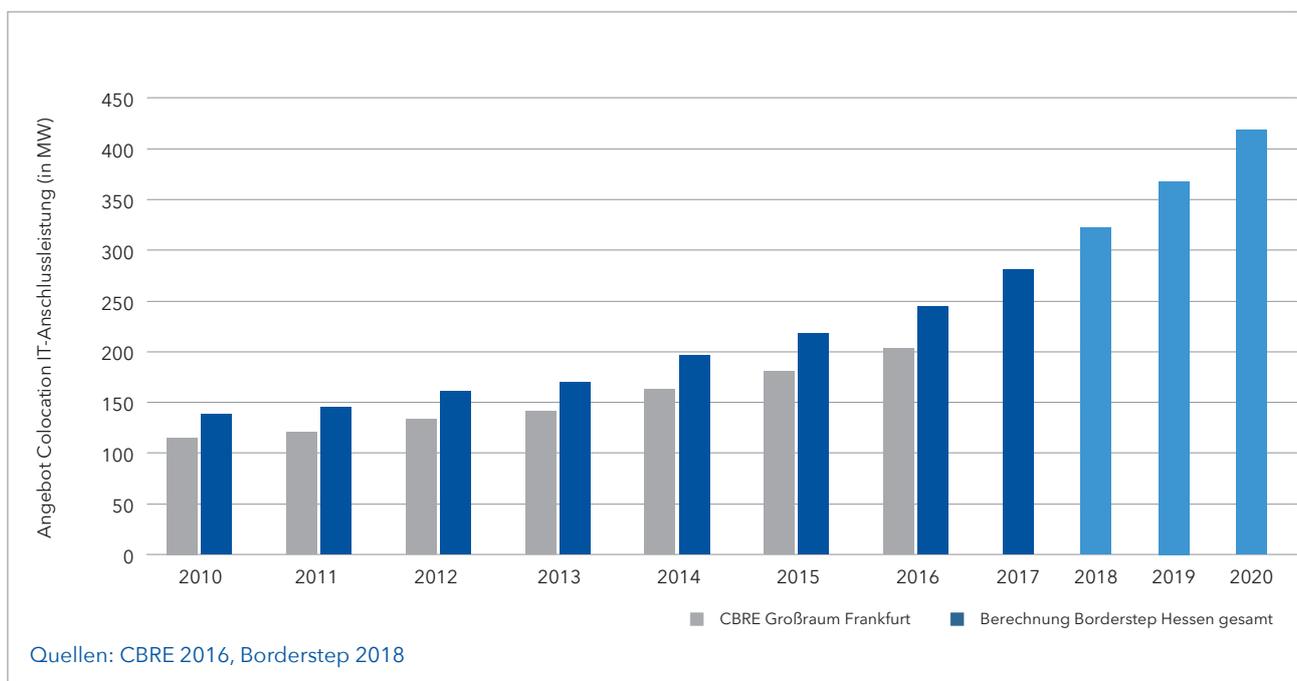
Abbildung 2: **Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten (in m<sup>2</sup>) in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020**



Die folgende Abbildung 3 zeigt die Entwicklung des Angebots an IT-Anschlussleistung in den Colocation-Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 und die Prognose bis 2020. Dabei sind zum einen die Zahlen bis 2016 von CBRE für den Großraum Frankfurt dargestellt. Die Schätzung von Borderstep umfasst das gesamte

Land Hessen für die Jahre 2010 bis 2017 und macht eine Prognose bis 2020. Das Angebot an IT-Anschlussleistung steigt noch deutlich stärker als das Flächenangebot. Dies ist vor allem durch die zunehmende mögliche Leistungsdichte in den neuen Rechenzentren bedingt.

Abbildung 3: **Entwicklung des Angebots der IT-Anschlussleistung der Colocation-Rechenzentren in Hessen von 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020**



## 2.3 Wirtschaftliche Bedeutung des Rechenzentrums-Marktes in Hessen

Rechenzentren stellen ein bedeutendes wirtschaftliches Potenzial dar. Dies ist zum einen durch die strategische Bedeutung einer funktionierenden und gut ausgebauten IT-Infrastruktur begründet. Zum anderen entsteht durch den Betrieb, die Ausstattung, den Bau und die Modernisierung von Rechenzentren eine inländische Wertschöpfung in beträchtlichem Maße. Gerade durch die Dynamik der Entwicklung im IKT-Bereich wird in Rechenzentren in der Regel nahezu kontinuierlich investiert.

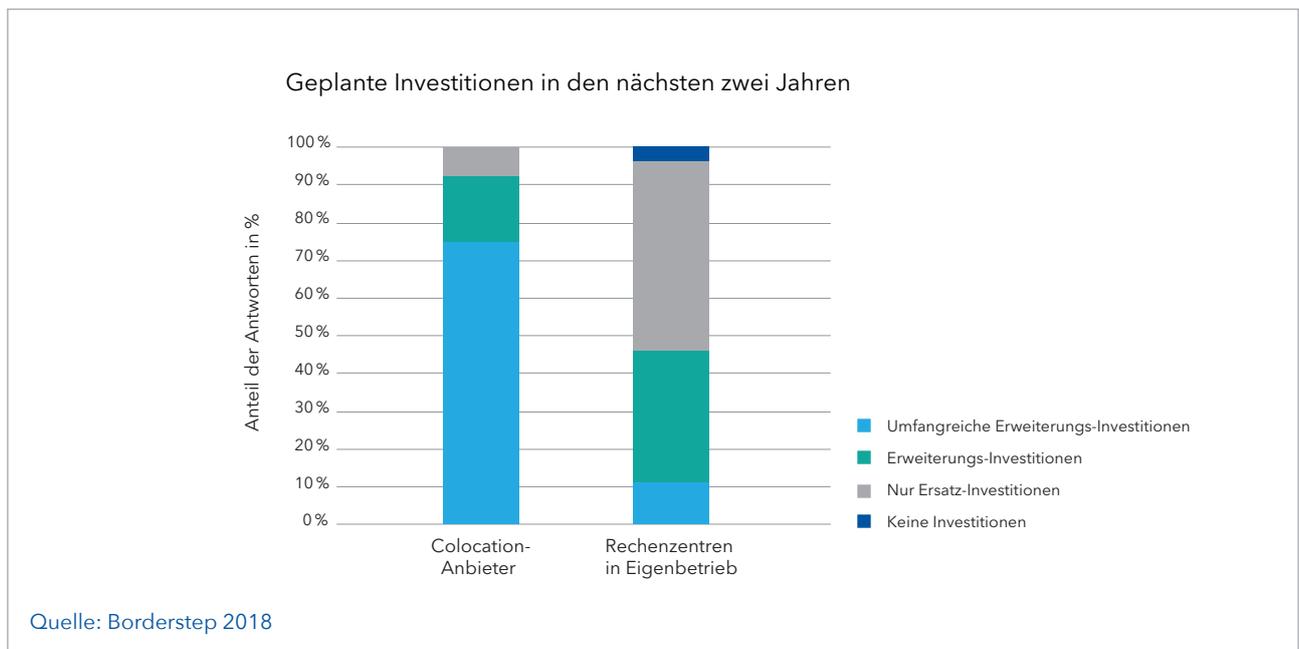
Nach Angaben des Digital Hub FrankfurtRheinMain werden in der Region aktuell jährlich ca. 350 Mio. Euro in die Rechenzentrumsinfrastruktur investiert (Digital HUB, 2017). Auf Basis seiner Marktanalysen schätzt Borderstep, dass

deutschlandweit im Jahr 2017 etwa eine Milliarde Euro an Investitionen in Rechenzentrumsinfrastrukturen getätigt wurden. Darin sind die IT-Investitionen in Rechenzentren, die in Deutschland jährlich über sieben Mrd. € betragen, nicht enthalten (Hintemann, 2017). Betrachtet man das aktuell starke Wachstum und den Anteil der Region am Gesamtmarkt in Deutschland, so lässt sich die Größenordnung der vom Digital Hub genannten Investitionen gut mit den Analysen von Borderstep vereinbaren. In ganz Hessen kann mit etwa 400 Mio. € Investitionen in Rechenzentrumsinfrastruktur gerechnet werden.

Die dynamische Entwicklung der Investitionen wird vor allem durch den Colocation-Markt getrieben. Dies bestä-

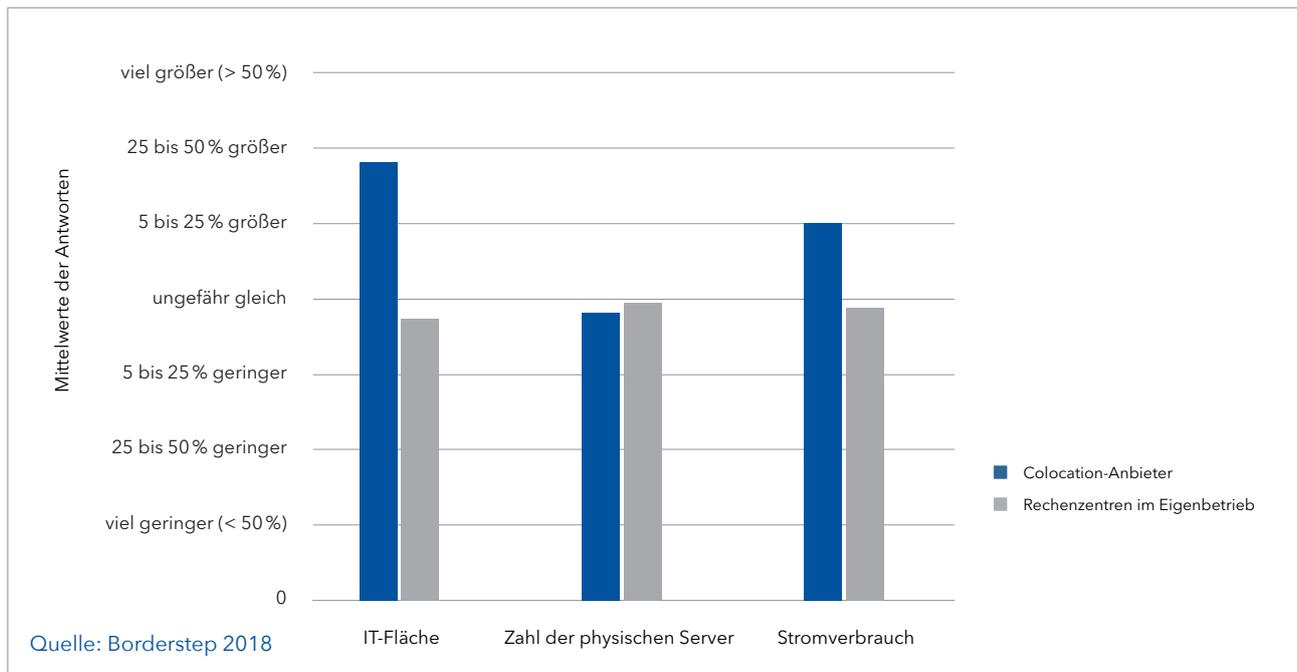
tigt auch die im Frühjahr 2017 durchgeführte Befragung bei Rechenzentrumsbetreibern. Auch für die Zukunft sind weitere deutliche Investitionen geplant. Nur bei den Rechenzentren im Eigenbetrieb gab es Fälle ohne Investitionsabsicht. Auch ist die Zahl der Rechenzentren, die sich auf Ersatz-Investitionen beschränken, hier vergleichsweise hoch.

Abbildung 4: **Wie entwickeln sich die Investitionen in Rechenzentren in den nächsten Jahren?**  
(Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Hinsichtlich der mittelfristigen Entwicklung unterscheiden sich die Einschätzungen von Colocation-Rechenzentren gegenüber Rechenzentren in Eigenbetrieb. Die Colocation-Rechenzentren erwarten durchschnittlich ein Wachstum ihrer IT-Fläche und des Stromverbrauchs. Die Rechenzentren im Eigenbetrieb sehen die Zukunft anders. Im Durchschnitt wird von etwas geringeren Flächen, Serverzahlen und Stromverbräuchen ausgegangen. Auch diese Einschätzungen decken sich gut mit dem aktuellen Wachstumstrend bei Colocation-Rechenzentren.

Abbildung 5: Welche Erwartung haben Rechenzentrumsbetreiber an ihr Rechenzentrum im Jahr 2025 (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Die Analyse der Befragung der Rechenzentrumsbetreiber zeigt auch, dass Colocation-Rechenzentren bezogen auf die IT-Fläche weniger Beschäftigte haben als Rechenzentren im Eigenbetrieb. Dies erklärt sich dadurch, dass Colocation-Betreiber mit ihren Beschäftigten nur Verwaltung und Infrastruktur ihrer Rechenzentren bearbeiten müssen, da Einbau, Wartung und Pflege der IT-Komponenten weitgehend durch die Kunden erfolgen. Für eine Gesamtbetrachtung der Arbeitsplätze, die bei Colocation-Rechenzentren vorhanden sind, müssen auch die Arbeitsplätze der Colocation-Kunden, die an den jeweiligen Standorten gebunden sind, hinzugezählt werden.

Rechenzentren schaffen auf unterschiedliche Weise Arbeitsplätze. Eine erste Gruppe sind die direkt in den Rechenzentren beschäftigten Menschen. Eine weitere Gruppe von Arbeitsplätzen sind Menschen, deren Stelle direkt von Rechenzentren abhängig ist. Hierzu zählen z. B. ausschließlich für Rechenzentren tätige Personen in Systemhäusern, Baufirmen, Sicherheitsdiensten und anderen spezialisierten Dienstleistern und Handwerksbetrieben. Die dritte Gruppe sind Beschäftigte, die indirekt von Rechenzentren abhängig sind. Dies sind z. B. Mitarbeiter in Unternehmen, deren Dienstleistungen auf Rechenzentren aufsetzen. Gerade die dritte Gruppe wird durch die Digitalisierung in Zukunft eine zunehmende Bedeutung bekommen. Inwieweit die räumliche Ansiedlung dieser Arbeitsplätze auch von den Standorten der

Rechenzentren abhängig ist, ist schwer zu beurteilen. Ein gewisser Zusammenhang besteht jedoch sicherlich, wie z. B. die Tatsache zeigt, dass Amazon Web Services deutlich Arbeitsplätze im Raum Frankfurt aufgebaut hat, nachdem hier ein Rechenzentrum in Betrieb genommen wurde (Sawall, 2016).

Wie hoch die Zahl der Arbeitsplätze, die durch Rechenzentren insgesamt gesichert werden, insgesamt ist, kann nur geschätzt werden. Für Deutschland schätzt Borderstep in einer aktuellen Untersuchung, dass im Jahr 2017 ca. 130.000 Vollzeitstellen direkt in Rechenzentren existieren. Direkt von Rechenzentren abhängig sind weitere 85.000 Beschäftigte (Hintemann, 2017). Damit wären 215.000 Arbeitsplätze direkt von Rechenzentren abhängig. Für das Land Hessen wurde im Jahr 2015 eine Größenordnung von ca. 35.000 Arbeitsplätzen geschätzt, die direkt von Rechenzentren abhängig sind (Hintemann & Clausen, 2016). Seitdem ist die Zahl der Arbeitsplätze vermutlich weiter gestiegen, z. B. durch die Neuansiedlungen weiterer Colocation-Rechenzentren und die Ansiedlung von internationalen Cloud Anbietern. Wie viele neue Arbeitsplätze tatsächlich geschaffen werden konnten, ist jedoch nur schwer zu quantifizieren. Die Zahl liegt vermutlich in einer Größenordnung von eintausend bis zweitausend neuen Stellen. Aufgrund des sehr deutlichen Fachkräftemangels sind aber wesentlich weniger Stellen geschaffen worden, als möglich gewesen wäre.

## 2.4 Herausforderungen im Colocation-Markt

Die dynamischen Marktentwicklungen und die Änderungen der Kundenstrukturen stellen die Colocation-Anbieter aktuell vor einer Reihe von Herausforderungen. Im Rahmen des Desk Research und der Interviews<sup>2</sup> konnten die folgenden Herausforderungen identifiziert werden:

Es ist ein **deutlicher Kapitalzufluss aus dem Ausland** festzustellen. Colocation-Rechenzentren werden zunehmend ein Anlageobjekt für Investoren. Damit steigt die Gefahr, dass Überkapazitäten geschaffen werden. Ein Interviewpartner sah zusätzlich die Gefahr, dass Colocation-Rechenzentren in der Hand von branchenfremden Investoren weniger in Hinsicht auf langfristige Effizienz, sondern mehr mit dem Ziel der Rentabilität betrieben werden.

Der **Anteil großer Cloud Anbieter an den Kunden** der Colocation-Rechenzentren steigt ständig an. Diese Anbieter verfügen über eine große Marktmacht und können die Handlungsspielräume der Colocation-Anbieter einschränken. Colocation-Anbieter werden zunehmend abhängig von den Cloud-Anbietern. Die Gefahr der kurzfristigen Abwanderung der Cloud-Anbieter stellt ein Risiko dar. Zum einen besteht die Gefahr, dass die Cloud-Anbieter ins Ausland abwandern. Zum anderen ist es aber auch möglich, dass sich die Cloud-Anbieter entscheiden, ihre Dienste auf eigenen Flächen zu betreiben.

Die **Modernisierung von Colocation-Rechenzentren** im laufenden Betrieb stellt eine Herausforderung dar. Vorhandene Kunden könnten Befürchtungen hinsichtlich möglicher Ausfälle während der Modernisierung haben. Für grundlegende Modernisierungen ist es oft notwendig, dass die Kunden umziehen – zumindest innerhalb des Rechenzentrums. Auch ein solcher Umzug stellt immer ein Risiko dar.

Drei Viertel der deutschen Unternehmen wollen Cloud-Dienste nur nutzen, wenn die Daten in Deutschland bleiben (KPMG & Bitkom, 2016). Diese Anforderung war insbesondere durch die hohen Datenschutzerfordernungen in Deutschland begründet und führte dazu, dass insbesondere große amerikanische Cloud-Anbieter auf den deutschen Markt kamen (Hintemann, 2015). Mit der neuen **Europäischen Datenschutzgrundverordnung** wird das Datenschutzniveau auf EU-Ebene angeglichen. Der Standortvorteil für Deutschland wird also zumindest geringer.

Die Differenzierung von Colocation-Anbietern untereinander erfolgt zunehmend durch eine **Ausweitung der Services**. Der Wettbewerb wird daher auch zunehmend ein Service-Wettbewerb.

Insbesondere im Großraum Frankfurt werden die **Expansionsflächen** für den weiteren Kapazitätsausbau von Colocation-Rechenzentren knapp.

Auch das **Angebot an Stromleistung** kann den weiteren Ausbau der Rechenzentrumskapazitäten verzögern. Für Colocation-Rechenzentren ist es von besonderer Bedeutung, ausreichende Leistungsreserven zur Verfügung zu haben, auch wenn diese nicht von Anfang an ausgenutzt werden können.

Das dynamische Marktwachstum und die unzureichende Ausbildung von qualifizierten Fachkräften führen aktuell zu einem erheblichen **Fachkräftemangel**. Aufgrund der geringen Sichtbarkeit der Rechenzentren in der Öffentlichkeit ist die Branche für junge Fachkräfte auch wenig attraktiv.

Die **Auslastung von Colocation-Rechenzentren** wird im Wesentlichen durch die Kunden bestimmt. Oft nehmen diese aber nur einen Teil der vertraglich vereinbarten IT-Stromleistung ab. Der Colocation Betreiber muss aber sicherstellen, dass die vereinbarte IT-Stromleistung zur Verfügung steht. Dies führt zu einer geringen Auslastung der vorhandenen Anlagen und Systeme und damit zu einem geringen Wirkungsgrad und einem hohen PUE-Wert.

In der **öffentlichen Wahrnehmung** spielen Rechenzentren meist keine Rolle. Wenn über Rechenzentren berichtet wird, dann oft mit negativer Notation hinsichtlich ihres hohen Energiebedarfs. Die hohe Bedeutung der Rechenzentren für Wirtschaft und Gesellschaft wird in den Medien und in der Politik meist gar nicht thematisiert.

Rechenzentren sind in Deutschland nicht von der **EEG-Umlage** befreit und zahlen einen deutlich höheren Strompreis als Rechenzentren in anderen europäischen Ländern. Insbesondere in Skandinavien werden zusätzlich zu den dort deutlich niedrigeren Strompreisen sogar weitere staatliche Anreize wie Steuervergünstigungen für die Ansiedlung von Rechenzentren gegeben (Ostler, 2018).

<sup>2</sup> Ein besonderer Dank geht an dieser Stelle an die Ausführungen von Herrn Gerd Simon mit seinen tiefgehenden und detaillierten Branchenkenntnissen.

Dem Thema **Edge-Computing**, also der Bereitstellung von Rechenleistung an den Rändern des Internets, wird für die Zukunft eine hohe Bedeutung zugemessen. Im Rahmen von Industrie 4.0 und autonomen Fahren wird davon ausgegangen, dass ein hoher Bedarf für Edge

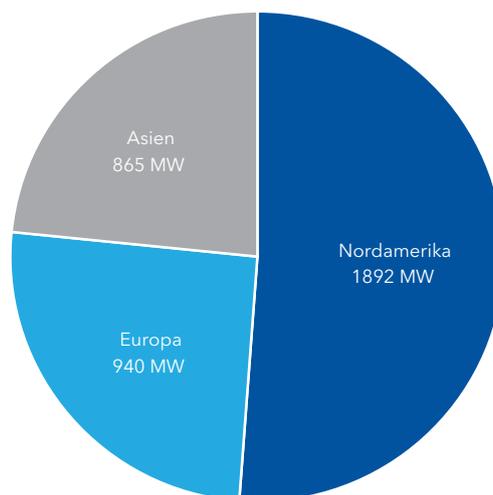
Computing besteht. Das Konzept passt aber nur bedingt zum Leistungsangebot von Colocation Anbietern mit in der Regel konzentrierten Flächen. Hier müssen ggf. neue Dienstleistungsangebote entwickelt werden.

## 2.5 Internationale Entwicklungen und Wettbewerbssituation

Betrachtet man die internationale Marktentwicklung, so lässt sich feststellen, dass insbesondere der amerikanische Colocation-Markt noch deutlich stärker wächst als der deutsche oder europäische Markt. Die Analysen von CBRE zeigen hier ein interessantes Bild. Fokussiert man die größten Rechenzentrumsstandorte in Nordamerika,

Asien und Europa, dann dominieren eindeutig die nord-amerikanischen Rechenzentren (Abbildung 6). Dieses Bild spiegelt sich auch in den Analysen der BroadGroup, die für Europa einen Anteil an den weltweiten Rechenzentren von 23%, für Nordamerika einen Anteil von 59% und für Asien einen Anteil von 15% sehen (Howard-Healy, 2016).

Abbildung 6: **Elektrische Versorgungsleistung der größten Rechenzentrumsstandorte (Nordamerika: 10 Standorte, Asien: 4 Standorte, Europa: 4 Standorte) im Jahr 2017<sup>3</sup>**

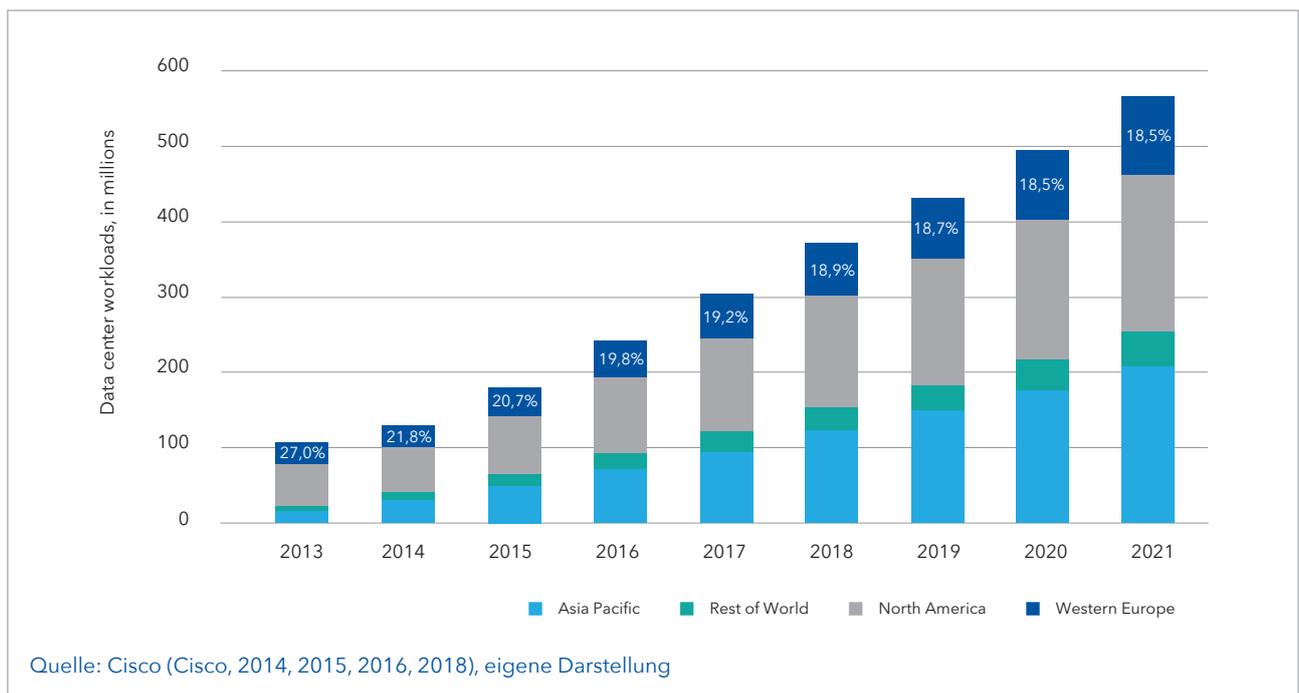


Quelle: CBRE Global Corporate Services, (2017-a, 2017-b, 2017-c)

<sup>3</sup> In Nordamerika sind hier die Daten für Virginia (Nord), Kalifornien (Nord und Süd), Chicago, New York, Dallas, Phoenix, Atlanta, Seattle und Boston zusammengefasst, für Europa die Daten für London, Frankfurt, Amsterdam und Paris und für Asien Singapur, Tokyo, Hongkong und Sydney.

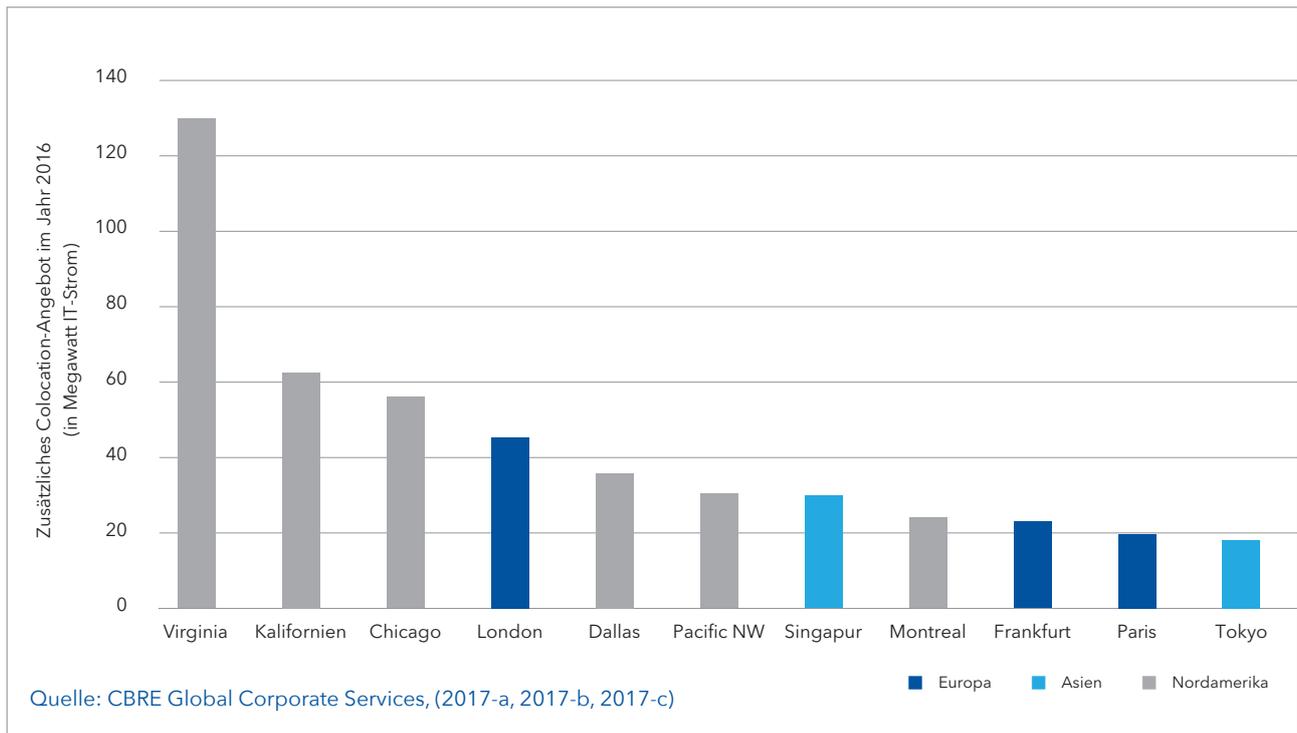
Der Anteil Europas am weltweiten Rechenzentrummarkt nimmt nach Zahlen von Cisco kontinuierlich ab. Cisco prognostiziert einen Rückgang des Anteils Europas an der Workload in Rechenzentren von 27% in 2013 auf 18,5% in 2021 (Abbildung 7). In der aktuellsten Prognose von Cisco (Cisco, 2018) ist der Rückgang des europäischen Anteils an der Workload allerdings geringer als in früheren Prognosen. Im Jahr 2016 war Cisco noch davon ausgegangen, dass Europa bis 2020 nur noch einen Anteil von 17,5% an der weltweiten Workload hat (Cisco, 2016). Dafür ist der nordamerikanische Anteil an der weltweiten Workload in der neusten Prognose allerdings deutlich gesunken.

Abbildung 7: Entwicklung der Data Center Workload weltweit nach Regionen (Prognose Cisco)



Im Bereich der Colocation-Rechenzentren wuchs insbesondere im Jahr 2016 das Angebot an Rechenzentrumsfläche weltweit sehr stark. Für die oben aufgeführten Colocation Standorte dokumentiert Jones Lang LaSalle IP vor allem für die nordamerikanischen Standorte ein teilweise sehr deutliches Wachstum. Aber auch in Europa und Asien wachsen die Kapazitäten sehr deutlich (Abbildung 8). Das absolute Wachstum fällt besonders dort stark aus, wo ohnehin bereits die großen Kapazitäten bestehen.

Abbildung 8: Ausbau des Colocation-Marktes an führenden Standorten weltweit



Unter den weltweit führenden Rechenzentrumsstandorten belegt – gemessen am Wachstum im Jahr 2016 – Frankfurt Rhein-Main damit Platz 9. Das starke Wachstum führt CBRE (2017-a) auf zwei wesentliche Ursachen zurück:

- Das Aufkommen großflächiger Build-to-Suit-Aktivitäten trägt wesentlich zu den Rekordumsätzen bei.
- Das Wachstum der Cloud ist für 70% des Gesamtumsatzes im Jahr 2016 verantwortlich.

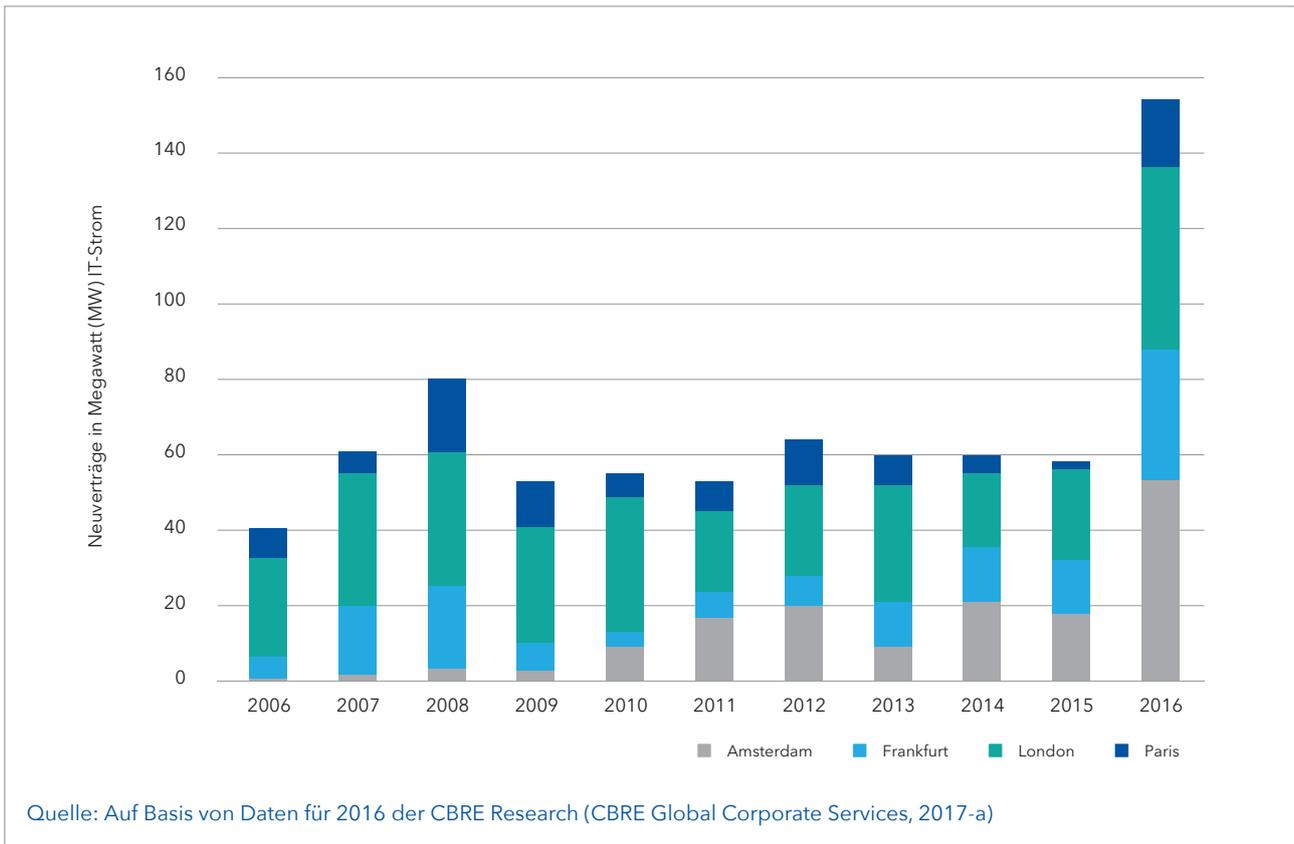
Jeder der untersuchten Märkte verzeichnete 2016 einen höheren Umsatz als 2014 und 2015 zusammengenommen. Die BroadGroup (Howard-Healy, 2016) geht in der Analyse der Wachstumsgründe stärker ins Detail und sieht folgende Dynamiken:

- Mobile Anwendungen: Neue Mobilfunknetze (4G), Wachstum mobiler Daten, Internet der Dinge, ein Markt von 20 Billionen bis 2020 im Bereich mobiler Geräte, 55% vom gesamten mobilen Traffic ist Video.
- Inhalt/Medien: Z. B. stellt Netflix-Streaming bereits 35% des gesamten US-Internetverkehrs dar.

- Soziale Medien: Treiben riesige Speicheranforderungen für Videos, Fotos und vom Benutzer generierte Inhalte.
- Unternehmen: Hier findet eine fortgesetzte Auslagerung von Teilen der IT an Rechenzentren und in die Cloud statt.
- Datenvolumen: Eine neue Meilensteinzahl von 2,0 Zettabytes pro Jahr wird bis 2019 erreicht.
- Trend bei Colocation: Vom Carrier Hotel zum Cloud Hotel.
- Analytik: „Big Data“ neuer vertikaler Wachstumsmarkt z. B. Einzelhändler/Mobile Ad Targets

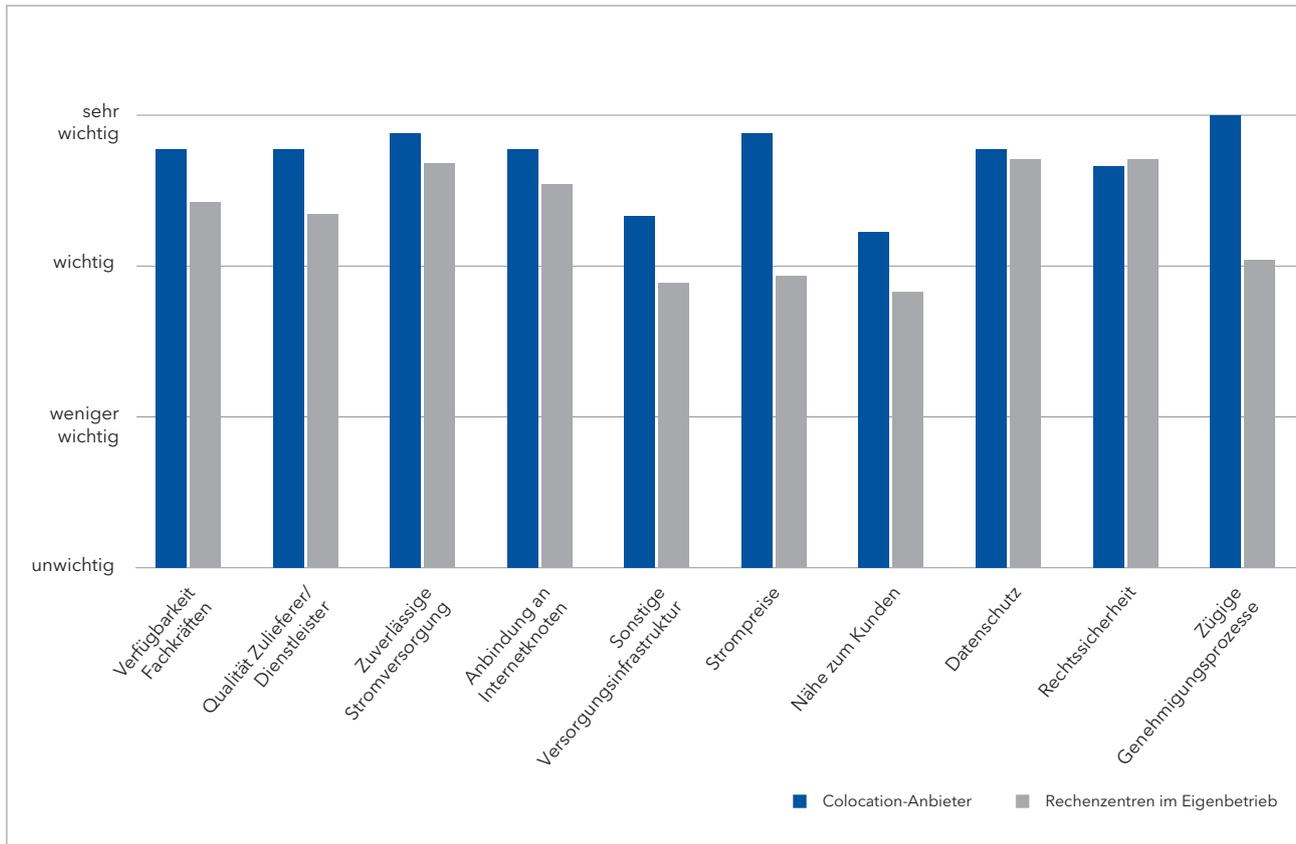
Fokussiert man auf den Europäischen Colocation-Markt, so ist festzustellen, dass hier vor allem die Standorte London und Amsterdam in den letzten Jahren deutlich gewachsen sind. So lagen im internationalen Vergleich Amsterdam und London beim Wachstum der Colocation Kapazitäten im Durchschnitt deutlich vor Frankfurt (Abbildung 9).

Abbildung 9: Ausbau der großen Colocation-Standorte in Europa seit 2006



Die Attraktivität des Standorts Deutschland für Rechenzentrumsbetreiber und speziell für Colocation-Betreiber kann anhand der Online-Befragung im Jahr 2017 analysiert werden. An der Beurteilung der Standortfaktoren ist auffällig, dass mit Ausnahme des Faktors Rechtssicherheit alle anderen Standortfaktoren von den Colocation-Anbietern als bedeutender eingestuft wurden als von den Nichtanbietern von Colocation. Dies deutet darauf hin, dass für Colocation-Anbieter grundsätzlich Standortfaktoren eine höhere Bedeutung haben, da sie im Gegensatz zu anderen Rechenzentren eher vor einer Standortwahl stehen. Bei Rechenzentren im Eigenbetrieb ist der Standort oft an den Standort der Organisation gebunden.

Abbildung 10: Wie werden verschiedene Standortfaktoren in Deutschland eingeschätzt? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Besonders deutlich sind die Unterschiede bei folgenden Standortfaktoren:

- Zügige Genehmigungsprozesse sind für Colocation-Betreiber immer sehr wichtig. Dies ist damit zu begründen, dass Colocation Betreiber oft ihre Kapazitäten erweitern und neue Rechenzentren aufbauen. Lang dauernde Genehmigungsprozessen werden insgesamt als ein deutlicher Standortnachteil für Rechenzentren in Deutschland gesehen (Hintemann, 2017)
- Die vergleichsweise hohen Strompreise in Deutschland, welche das Wachstum der Rechenzentrumsbranche bremsen. Eine Befreiung von der EEG-Umlage wird von der Branche gegenüber der Bundesregierung regelmäßig gefordert (Hintemann & Clausen, 2014).
- Die Verfügbarkeit von Fachkräften sowie die Qualität von Zulieferern und Dienstleistern, die im Rahmen von Weiterbildungs- und Qualifikations-

anstrebungen einerseits und im Rahmen der Wirtschaftsförderung andererseits regional beeinflusst werden können.

- Die Nähe zum Kunden, die ein zentraler Grund für das Wachstum der Rechenzentren in Frankfurt sein dürfte.

Zu den Ergebnissen der Befragung passen auch gut die Analysen der BroadGroup, die für 2017 vor allem die folgenden Kriterien als entscheidungsrelevant für Colocation-Kunden bei der Auswahl des Betreibers ermittelten (Howard-Healy, 2018) (Reihenfolge: abnehmende Bedeutung):

- Qualität des Colocation-Angebots,
- Lage des Colocation Rechenzentrums,
- Effizienz im Betrieb,
- Preis,
- Flexibilität.

## 3 COLOCATION-RECHENZENTREN IN HESSEN: ENERGIEBEDARF UND ENERGIEEFFIZIENZ

### Key facts

- Alle Rechenzentren in Hessen hatten im Jahr 2017 einen Stromverbrauch von 3,4 Mrd. kWh/a. Die Colocation-Rechenzentren in Hessen verbrauchten 1,6 Mrd. kWh Strom.
- Der Stromverbrauch der Rechenzentren in Hessen wird bis 2020 voraussichtlich auf über 4 Mrd. kWh ansteigen.
- Neue Colocation-Rechenzentren sind oft sehr energieeffizient und erreichen bei entsprechender Auslastung PUE-Werte von unter 1,3.
- Die Geschäftsmodelle der Colocation-Betreiber unterstützen die Verbesserung der Energieeffizienz, können aber weiter verbessert werden.
- Colocation-Rechenzentren setzen meist State-of-the-Art-Energieeffizienz-Technologien ein
- Neuartige Rechenzentrumskonzepte und grundlegend neue Technologien werden in Colocation-Rechenzentren nicht eingesetzt.
- Es besteht ein hohes Potenzial und auch ein hohes Interesse zur Nutzung von Abwärme aus Colocation-Rechenzentren.

### 3.1 Energiebedarf der Rechenzentren in Hessen

Der Energiebedarf der Rechenzentren in Hessen und insbesondere von Colocation-Rechenzentren ist schwer zu ermitteln, da in der Regel keine offiziellen Angaben dazu gemacht werden. Aus den reinen IT-Anschlussleistungen ist nur mit großer Unsicherheit der tatsächliche Stromverbrauch abzuleiten. Mainova gibt an, dass die Rechenzentren in ihrem Versorgungsgebiet etwa 20% des jährlichen Stromverbrauchs ausmachen. Zweitgrößter Stromverbraucher ist der Flughafen mit knapp 19% Anteil (Winter, 2016). Der Stromverbrauch des Flughafens Frankfurt betrug laut Umwelterklärung 2016 im Jahr 2015 etwas über 600 GWh. Läge der Stromverbrauch aller Rechenzentren in Frankfurt in dieser Größenordnung, wäre das nur ca. fünf Prozent des Stromverbrauchs aller Rechenzentren in Deutschland (12.400 GWh in 2016) (Hintemann, 2017). Betrachtet man den Anteil der Rechenzentren im Raum Frankfurt an den Gesamt-Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland, so ist müsste der Stromverbrauch deutlich höher liegen. Die Abweichung ist vor allem aus zwei Gründen zu erklären. Zum einen hat Mainova vermutlich nur den Strombedarf berücksichtigt, der von Mainova im Raum Frankfurt bereitgestellt wird. Nicht berücksichtigt sind Rechenzentren, die den Strom

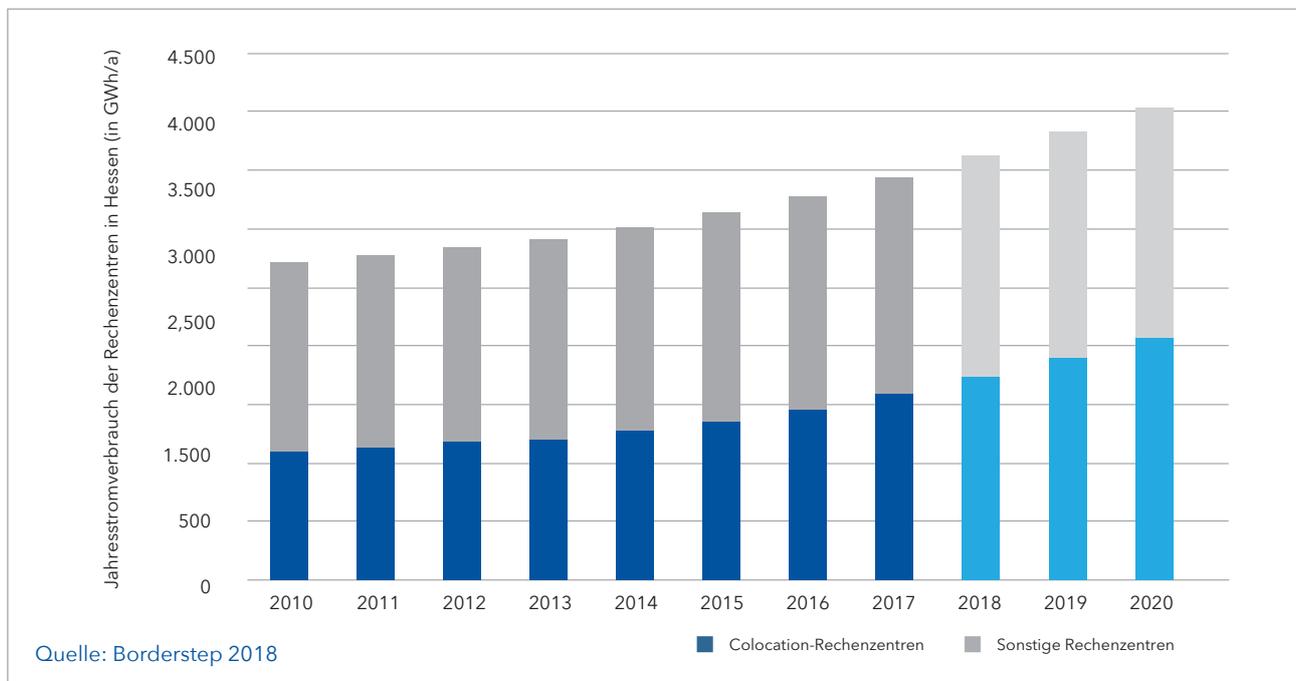
über eigene Versorgungsgesellschaften beziehen wie z. B. E-Shelter. Außerdem wird Mainova nur die Strommenge berücksichtigen können, die eindeutig Rechenzentren zuzuordnen ist. Hat z. B. ein Industrieunternehmen neben dem Stromverbrauch für die Produktion auch ein Rechenzentrum, das Strom verbraucht, so wird dieser vermutlich von Mainova nicht als Strom für Rechenzentren erfasst.

Auf Basis der Recherchen und des zugrundeliegenden Borderstep-Strukturmodells der Rechenzentren in Deutschland kann von einem Anteil der Rechenzentren in Hessen an der Gesamtfläche der Rechenzentren in Deutschland von ca. 27% ausgegangen werden. Wird unterstellt, dass der Stromverbrauch proportional zu diesem Anteil ist, so errechnet sich ein Stromverbrauch der hessischen Rechenzentren von 3.400 GWh/a im Jahr 2017. Wäre auch der Anteil des Stromverbrauchs der hessischen Colocation-Rechenzentren proportional zum Flächenanteil, so errechnen sich hierfür knapp 1.600 GWh/a im Jahr 2017. Diese Größenordnungen sind auch unter Berücksichtigung der in den Interviews von einigen Betreibern genannten realen Stromverbräuche plausibel. Das würde bedeuten, dass im Jahr durchschnittlich etwa

180 MW Stromleistung real von den Colocation-Rechenzentren benötigt wurde. Auch diese Größenordnung ist angesichts der in Abbildung 3 dargestellten max. IT-Anschlussleistung der Colocation-Rechenzentren in Hessen von insgesamt 280 MW plausibel.

In Abbildung 11 ist der auf Basis der genannten Annahmen errechnete Jahresstromverbrauch der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 inklusive Prognose bis 2020 dargestellt. Es ist davon auszugehen, dass der Strombedarf der Rechenzentren in Hessen auch in Zukunft deutlich ansteigen wird und im Jahr 2020 mehr als 4.000 GWh/a betragen wird.

Abbildung 11: **Jahresstromverbrauch der Rechenzentren in Hessen in den Jahren 2010 bis 2017 und Prognose bis 2020**



### PUE-Wert in Colocation-Rechenzentren

Der PUE-Wert ist eine der wenigen praktikablen Effizienzindizes für Rechenzentren. Da er vor allem auf die Effizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur fokussiert, ist er insbesondere für Colocation-Rechenzentren von Bedeutung. Die Aussagekraft des PUE-Wertes ist allerdings begrenzt. Insbesondere wenn Maßnahmen an der IT vorgenommen werden, kann seine Betrachtung zu Fehlschlüssen führen. Verbessert sich die Energieeffizienz der IT und wird damit ihr Stromverbrauch verringert, so führt dies oft zu einer Verschlechterung des PUE-Wertes, auch wenn die Gesamteffizienz des Rechenzentrums deutlich verbessert werden konnte.

Konkrete Angaben zu den realen PUE-Werten werden von Rechenzentrumsbetreibern oft nicht gemacht. Das liegt

zum einen daran, dass die Messung des realen PUE-Wertes aufwendig ist und über ein ganzes Jahr erfolgen muss. Bei Schwankungen in der Auslastung, die insbesondere bei Colocation-Rechenzentren häufig auftreten, ist ein über das Jahr gemittelter PUE-Wert auch nur bedingt aussagekräftig. Daher werden in Befragungen und auch in den Interviews zumeist die Werte der sogenannten Design-PUE aufgeführt. Dieser Wert gilt aber nur, wenn das Rechenzentrum gemäß den Planungen ausgelastet ist. Er kann insbesondere bei geringen Auslastungen sehr deutlich unterhalb des realen PUE-Wertes liegen. Gerade bei Colocation-Rechenzentren ist die Auslastung sehr oft unter den geplanten Werten (siehe Ausführungen unter Herausforderungen für Colocation Anbieter in Abschnitt 2.4).

In der Expertenbefragung wurden von den Colocation-Betreibern meist Design-PUE-Werte von neuen Rechenzentren von 1,3 und besser genannt. Ältere Rechenzentren haben Design-PUE-Werte von etwa 1,6. Dies deckt sich mit den Angaben der Colocation-Betreiber in der Online-Befragung aus dem Jahr 2017. Aussagen zu den realen PUE-Werten konnten bis auf zwei Ausnahmen nicht gemacht werden. Beide Colocation-Betreiber schätzen die realen PUE-Werte aktuell meist zwischen 1,3 und 1,8, je nach Alter und Auslastung. Bei alten Colocation-Rechenzentren kann der Wert auch über 2,0 liegen, wenn diese schlecht ausgelastet sind. Diese Einschätzung entspricht auch den Einschätzungen der Verfasser dieser Studie.

Auch für die mittelfristige Zukunft bis 2025 ist davon auszugehen, dass der Stromverbrauch der Colocation-Rechenzentren weiter zunehmen wird. Dies deckt sich auch mit den Erwartungen der Colocation-Betreiber selbst (Abbildung 5). Potenziale, diesen Anstieg des Stromverbrauchs zu begrenzen, bestehen insbesondere darin,

- die Auslastung der Rechenzentren zu erhöhen (durch modulare Systeme und eine bessere Passgenauigkeit der vertraglich vereinbarten Stromleistungen zu den tatsächlich vom Kunden abgerufenen Stromleistungen) und
- ältere Rechenzentren zu modernisieren.

Zusätzlich bestehen Potenziale zur Nutzung von Abwärme der Rechenzentren.

Bei Rechenzentren allgemein kann noch immer von sehr hohen Energie-Einsparpotenzialen ausgegangen werden – das Umweltbundesamt spricht in seinem Beschaffungsleitfaden von Potenzialen zwischen 40 und 50% (Gröger & Köhn, 2016). Einsparungen in dieser Größenordnung sind bei Colocation-Rechenzentren allerdings nur schwer zu realisieren, da sie zwingend die Einsparungen auf der IT-Seite mit einschließen. Es müsste eine Optimierung gemeinsam mit den Kunden erfolgen.

Realistisch kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Colocation-Rechenzentren im Raum Hessen bei verstärkten Anstrengungen zur Modernisierung und zur Verbesserung der Auslastung der Rechenzentren der Anstieg des Strombedarfs in den nächsten Jahren etwas geringer ausfallen könnte. Während bei Business as usual der Stromverbrauch der Colocation-Rechenzentren von 1.600 GWh/a in 2017 bis über 2.400 GWh/a im Jahr 2022 ansteigen würde, könnte bei verstärkten Anstrengungen der Anstieg bis zum Jahr 2022 auf 2.100 GWh/a begrenzt werden. Bei dieser Abschätzung ist berücksichtigt, dass die aktuell neugebauten Rechenzentren bereits über einen guten Design-PUE verfügen und die Modernisierung von Colocation-Rechenzentren mit besonderen Herausforderungen verbunden ist (siehe Abschnitt 3.5).

## 3.2 Energieeffizienztechnologien in Colocation-Rechenzentren

Der Einsatz von energieeffizienten Technologien im Rechenzentrum hat in der letzten Dekade deutlich zugenommen. Vor zehn Jahren wurde dem Energiebedarf der Rechenzentren noch kaum Beachtung beigemessen. Bei einer Befragung im Jahr 2008 kannten mehr als 90% der befragten IT-Manager den Stromverbrauch ihres Rechenzentrums nicht (Fujitsu Siemens Computers, 2008). Auch wenn die Betriebssicherheit der Rechenzentren immer die höchste Priorität bei den Betreibern der Rechenzentren hat, wird heute in vielen Fällen unter der Prämisse, diese nicht zu gefährden, möglichst energieeffiziente Technik eingesetzt. Diese Entwicklung zeigt sich auch in der Tatsache, dass bei der von Borderstep durchgeführten Umfrage im Jahr 2017 nur 17% der Rechenzentrumsbetreiber ihren Stromverbrauch nicht kannten.

Um den Stromverbrauch zu reduzieren, stehen eine Reihe von Technologien zur Verfügung. Die Wesentlichen Ansätze werden im Folgenden kurz skizziert. Hierbei er-

folgt eine Fokussierung auf Maßnahmen an der Rechenzentrumsinfrastruktur, da nur diese im Einflussbereich von Colocation-Rechenzentren ist. Maßnahmen an der IT-Hardware können nur von den Kunden der Colocation-Rechenzentren durchgeführt werden.

Durch **höhere Temperaturen in Rechenzentren** sinkt der notwendige Energiebedarf der Kühlung. Während vor zehn Jahren oft noch Zuluft-Temperaturen unter 20°C üblich waren, können heute deutlich höhere Temperaturen realisiert werden. Eine Zuluft-Temperatur von 25°C wird heute schon oft verwendet, teilweise werden auch schon Rechenzentren mit Zuluft-Temperaturen von mehr als 30°C betrieben.

Bei der **indirekten freien Kühlung** werden Rechenzentren durch die kältere Umgebungstemperatur gekühlt. Dabei wird die Raumluft in einem geschlossenen Kreislauf und über einen Wärmetauscher gekühlt. Bei mitteleuropäi-

schem Klima kann ein Großteil des Jahres zumindest teilweise mit der Außenluft gekühlt werden. Je höher die Temperatur im Rechenzentrum, desto größer ist die Zeitspanne, in der indirekte freie Kühlung genutzt werden kann. Durch eine möglichst umfängliche Nutzung der kälteren Umgebungstemperatur kann die Laufzeit der Kältemaschinen reduziert werden und damit Energie eingespart werden.

**Adiabatische Rückkühler** ermöglichen eine indirekte freie Kühlung auch bei noch höheren Außentemperaturen. Durch das Aufsprühen von Wasser auf die Kühlflächen nutzen sie zusätzlich die Verdunstungskälte zur Rückkühlung.

Bei Verwendung eines **Luft-Luft-Wärmetauschers** kann vollständig auf andere Kühlmedien verzichtet werden. Ein Sonderfall der Luft-Luft-Wärmetauscher ist die **Kyoto-Kühlung**. Diese nutzt ein sich langsam drehendes thermisches Rad aus Aluminium, das auf der einen Seite von der warmen Abluft aus dem Rechenzentrum und auf der anderen Seite von der kalten Außenluft durchströmt wird. Durch die Rotation und die hohe Wärmeleitfähigkeit transportiert das Kyoto-Rad Abwärme mit hoher Effizienz aus dem Rechenzentrum heraus und es gelangt dabei kaum Außenluft in das Rechenzentrum, mit der Staub oder Luftfeuchtigkeit eingetragen werden könnten. Vorteil der Kyoto-Kühlung ist, dass die Wärme der Abluft nicht über Wärmetauscher auf einen Wasserkreislauf übertragen wird und insoweit kein (Kühl-)Wasser im Rechenzentrum benötigt wird.

Bei der **direkten freien Luftkühlung** wird die IT in den Rechenzentren direkt mit der Außenluft gekühlt. Je nach Art der direkten freien Kühlung, wird die Außenluft unbehandelt zugeführt oder auch gefiltert und be- bzw. entfeuchtet.

Bei einer Rack-Anordnung im **Kaltgang-Warmgang-Prinzip** werden die Racks im Rechenzentrum so angeordnet, dass die Vorderseiten (Luftansaugung) und Rückseiten (Luftaustritt) der Racks jeweils gegenüberstehen. Dadurch entstehen Kaltgänge, in denen die kalte Luft den IT-Geräten zugeführt wird und Warmgänge, in denen die erwärmte Luft abgeführt wird. Damit wird eine Vermischung der zu- und abgeführten Luft weitgehend vermieden. So kann eine höhere Temperaturdifferenz zwischen Kalt- und Warmluft erreicht werden und damit die Effizienz der Kühlung erhöht werden.

Bei hohen Leistungsdichten der IT wird teilweise die sogenannte **Rack-Kühlung** eingesetzt. Hierbei wird die warme Luft direkt innerhalb des Racks durch ein Klimagerät bzw. einen Wärmetauscher gekühlt.

Durch ein umfassendes **Energiemanagementsystem** im Rechenzentrum mit entsprechender **Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik)** kann die Energieeffizienz eines Rechenzentrums deutlich erhöht werden.

Durch eine **leistungsabhängige Regelung** der in den Klimageräten eingebauten Lüfter-Motoren zum Antrieb der Lüfter werden diese effizienter betrieben und ihr Stromverbrauch sinkt erheblich.

Ein gutes **Doppelbodenmanagement** umfasst die Koordination der Aufstellung von Hardware, sodass die Kalt- und Warmganganordnung gut funktioniert, reguliert die Luftmengen in den Kaltgängen und organisiert die Kontrolle der Bodenöffnungen, sodass Luft nur dort ausströmt, wo sie auch benötigt wird.

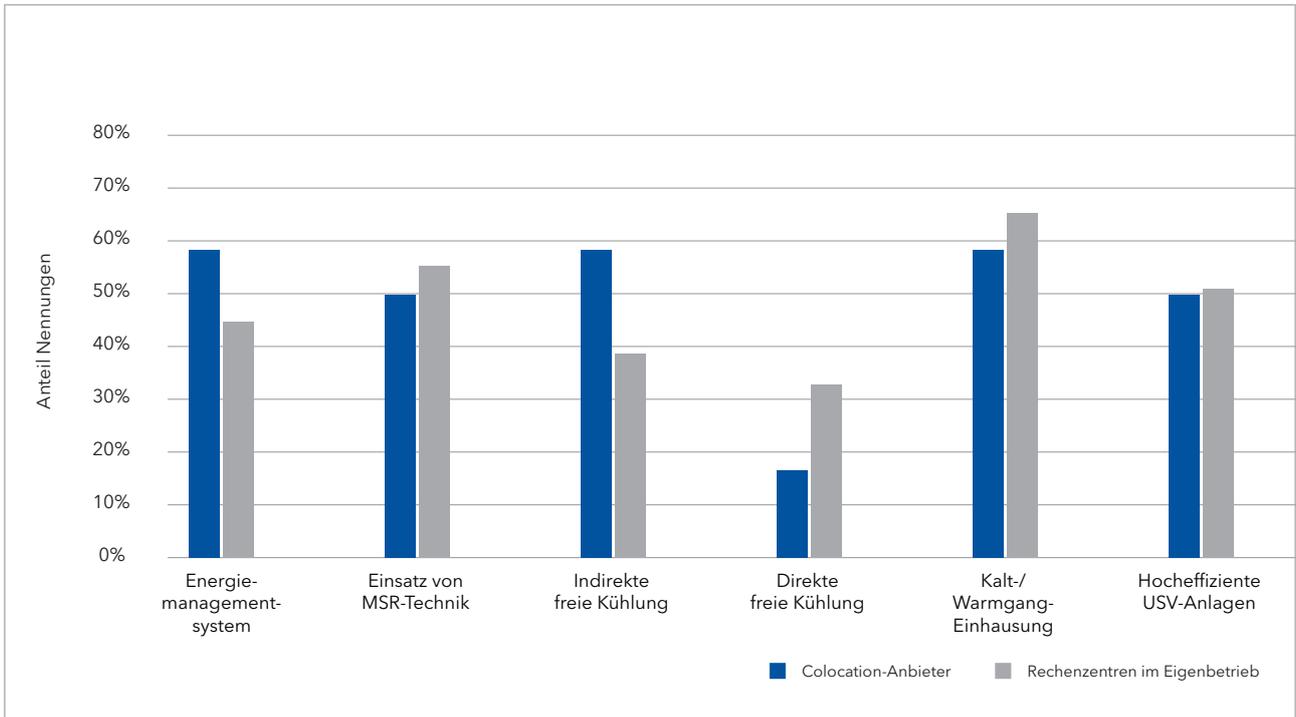
Durch eine **modulare Bauweise, z. B. von USV-Anlagen**, lässt sich erreichen, dass jeweils nur eine so große Kapazität betrieben wird, wie mit Blick auf die Auslastung des Rechenzentrums erforderlich ist.

Unter „**rotierenden USV-Anlagen**“ verstehen Rechenzentren den Einsatz von Schwungrädern als Energiespeicher, um eine kurze Zeitspanne zwischen Ausfall der Stromversorgung und Anfahrzeit der Notstromversorgung zu überbrücken. Rotierende USV-Anlagen weisen in der Regel einen schlechteren Wirkungsgrad auf als batteriebetriebene USV-Anlagen. Sie haben dafür allerdings z. B. den Vorteil, dass komplett auf Batterien verzichtet werden kann.

Durch Gleichstromversorgung in Rechenzentren kann die Energieeffizienz erhöht werden, da auf die mehrfache Wandlung zwischen Gleich- und Wechselstromstrom verzichtet werden kann.

Die im Jahr 2017 durchgeführte Online-Befragung zeigte geringe Unterschiede beim Einsatz von Effizienztechnologien zwischen Colocation- und anderen Rechenzentren in den vergangenen Jahren. Colocation-Rechenzentren setzten häufiger Energiemanagementsysteme ein als andere Rechenzentren. Auch der Einsatz der mittlerweile bei mittleren und größeren Rechenzentren standardmäßig eingesetzten indirekten freien Kühlung erfolgt in Colocation-Rechenzentren häufiger. Dagegen wird die direkte freie Kühlung in Colocation-Rechenzentren weniger häufig genutzt als in anderen Rechenzentren (Abbildung 12).

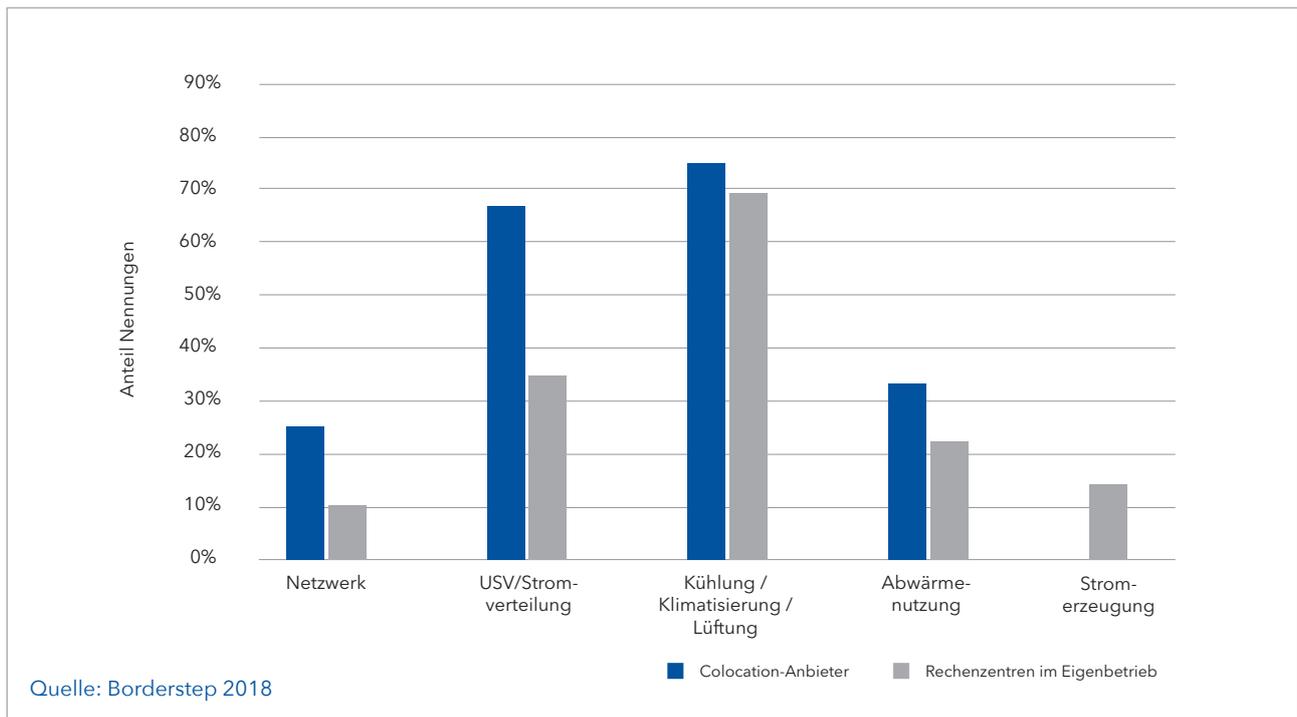
Abbildung 12: Welche Maßnahmen<sup>4</sup> zur Energieeinsparung wurden ergriffen? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Hinsichtlich der Einschätzung der in der Vergangenheit realisierten Energieeinsparungen gibt es Unterschiede zwischen Colocation-Rechenzentren und Rechenzentren im Eigenbetrieb. Die höchsten Einsparungen wurden im Bereich Kühlung, Klimatisierung und Lüftung realisiert. Hier liegen die Colocation-Rechenzentren und die Rechenzentren im Eigenbetrieb ähnlich. Etwa 70% aller Rechenzentren konnten hier Erfolge aufweisen. Colocation-Rechenzentren haben zudem zu mehr als 60% Einsparungen im Bereich der Stromversorgung erreicht. Das ist deutlich mehr als bei den Rechenzentren im Eigenbetrieb, von denen nur gut 30% in diesem Bereich Einsparungen erreichen konnten.

<sup>4</sup> Nur Maßnahmen an der Rechenzentrumsinfrastruktur

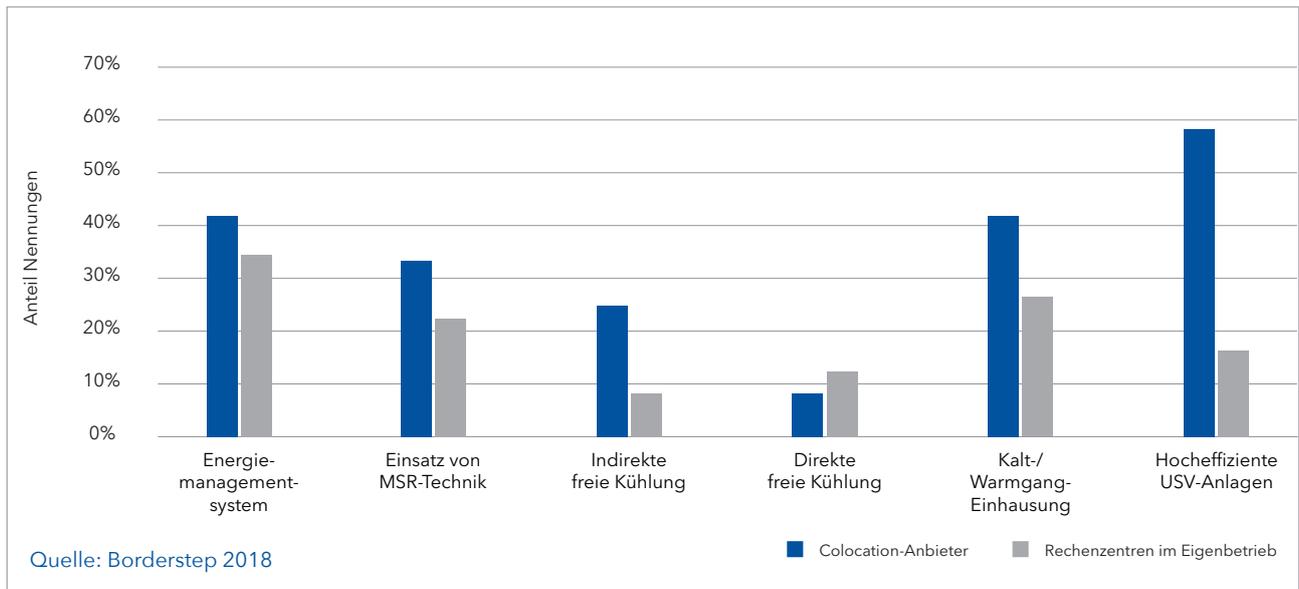
Abbildung 13: In welchen Bereichen<sup>5</sup> wurden Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen realisiert? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Im Vergleich zu den Rechenzentren im Eigenbetrieb planen die Colocation Anbieter vergleichsweise mehr Energiesparmaßnahmen für die Zukunft. Besondere Akzente liegen dabei auf Energiemanagement und MSR-Technik, indirekter freier Kühlung sowie Kalt-Warmgang-Einhaltung und hocheffizienten USV-Anlagen.

<sup>5</sup> Nur Rechenzentrumsinfrastrukturbereiche

Abbildung 14: Welche Maßnahmen<sup>6</sup> zur Verbesserung der Energieeffizienz sind in Zukunft geplant? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)

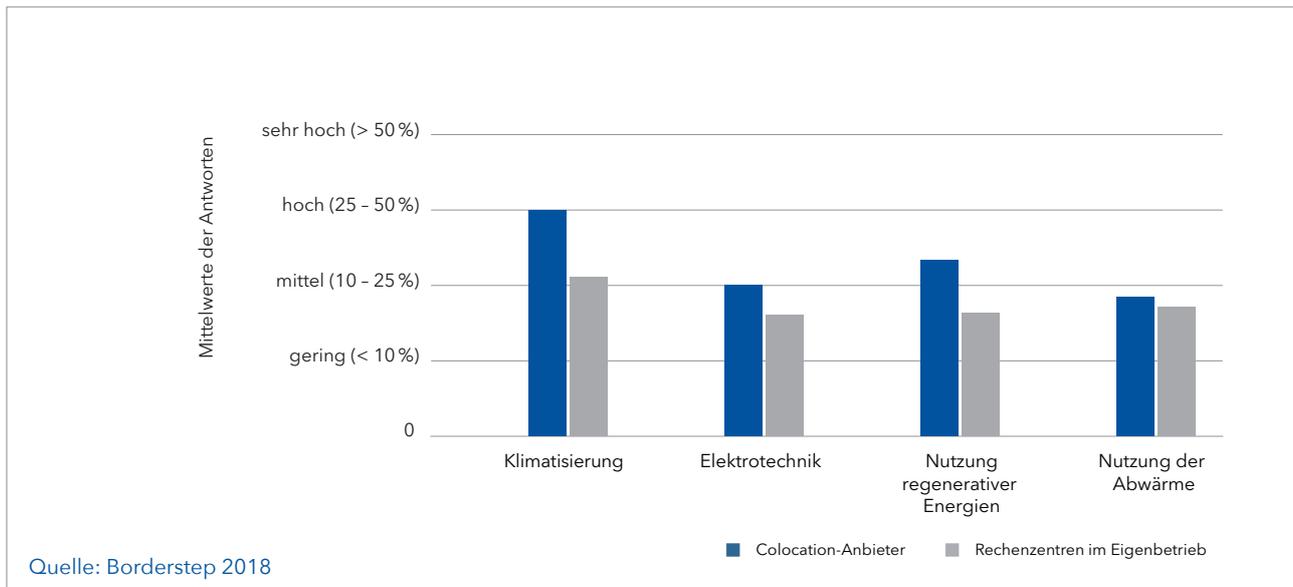


Die größten Klimaschutzeffekte erwarten Colocation-Rechenzentren auch weiterhin durch Effizienzmaßnahmen im Bereich der Klimatisierung. Der Nutzung von regenerativen Energien und der Elektrotechnik werden in Zukunft nur mittlere Potenziale eingeräumt. Auffällig ist, dass in diesen drei Bereichen von Colocation-Rechenzentren höhere Einsparpotenziale gesehen werden als von Rechenzentren im Eigenbetrieb. Eine Begründung für dieses Antwortverhalten könnte sein, dass viele Colocation-Anbieter regelmäßig neue Rechenzentren planen und in Betrieb nehmen. Da Einsparungen bei Neubauten oft deutlich höher sind als bei möglichen (und oft gar nicht durchgeführten Modernisierungen), können Colocation-Anbieter höhere Reduzierungen realisieren.

Bei der Abwärmenutzung sind die Einschätzungen von Colocation-Rechenzentren und Rechenzentren im Eigenbetrieb dagegen ähnlich. Hier ist davon auszugehen, dass Rechenzentren im Eigenbetrieb mehr Möglichkeiten haben, die Abwärme im eigenen Unternehmen - z. B. in angrenzenden Gebäuden - zu nutzen.

<sup>6</sup> Nur Maßnahmen an der Rechenzentrumsinfrastruktur

Abbildung 15: Welche Energie- bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparungen werden bei verschiedenen Maßnahmen<sup>7</sup> in Zukunft erwartet? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



<sup>7</sup> Nur Maßnahmen an der Rechenzentrumsinfrastruktur

### 3.3 Einfluss des Geschäftsmodells auf die Energieeffizienz bei Colocation-Rechenzentren

Colocation-Rechenzentren stellen ihren Kunden Rechenzentrumsfläche zur Verfügung, auf der die Kunden eigene IT-Anlagen betreiben. Dabei werden technische Rahmenbedingungen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, elektrische Anschlussleistung oder spezielle Anforderungen an den Brandschutz vertraglich in Service Level Agreements vereinbart und dem Kunden für einen jeweils individuell festgelegten Zeitraum zugesichert.

Das Ertragsmodell im Bereich Colocation hat heute fast immer die Komponente, dass der Kunde den von ihm verbrauchten IT-Strom inklusive eines Zuschlags für den Betrieb der Rechenzentrumsinfrastruktur zahlt. Der Zuschlag richtet sich nach einem kalkulatorischen PUE-Wert. Dieser richtet sich zum einen nach dem durchschnittlich erreichbaren realen PUE-Wert im Rechenzentrum, zum anderen aber auch nach dem Markt und den Wettbewerbern. Dieses Ertragsmodell setzt grundsätzlich Anreize zur Energieeinsparung sowohl auf Seiten des Kunden als

auch auf Seiten des Rechenzentrums. Benötigt der Kunde weniger Strom, so muss er auch weniger zahlen. Gelingt es dem Colocation-Betreiber den Energieverbrauch der Infrastruktur zu senken, so wird er für den Fall, dass er die Einsparung an den Kunden weitergibt, gegenüber dem Kunden attraktiver. Andernfalls erhöht er seine Marge.

Die Anforderungen der Kunden stellen aber auch eine Herausforderung für die Verbesserungen der Energieeffizienz in Rechenzentren dar. Der Colocation-Markt hat eine starke Nachfrage nach standardisierten Lösungen und etablierter Technik. Viele international tätige Colocation-Betreiber setzen weltweit die gleiche Technik ein. Damit ist der Einsatz neuer Konzepte wie z. B. das GreenCube-Konzept oder der Einsatz von Wasserkühlung im Rechenzentrum nur schwer möglich.

Bei bestehenden Verträgen kann der Colocation-Anbieter bei einer energetischen Optimierung nur neue Lösungen

einsetzen, wenn diese mit den Zusagen gegenüber dem Kunden vereinbar sind. Insofern ist auch eine große Zahl an Verträgen zu beachten, deren Anforderungen einzuhalten sind oder deren Änderung gesondert mit den Kunden vereinbart werden muss.

In Colocation-Rechenzentren werden oft die angestrebten Auslastungen der Infrastrukturanlagen nicht erreicht, weil die Kunden weniger IT-Stromleistungen abfragen, als vertraglich zugesichert wurde. Damit sinkt die Energieeffizienz der Infrastruktur. Um diese Situation zu verbessern, gehen Colocation-Betreiber aktuell dazu über, in neuen Verträgen Vereinbarungen mit Kunden hinsichtlich der tatsächlichen Stromabnahme zu treffen. Der Kunde bekommt einen besseren kalkulatorischen PUE-Wert und damit ein preisgünstigeres Angebot, wenn er mit seiner realen Stromabnahmen möglichst nahe an der vereinbarten Stromleistung liegt.

Colocation-Rechenzentren weisen oft auch Vorteile hinsichtlich der Energieeffizienz auf. Gegenüber kleinen

Rechenzentren im Eigenbetrieb sind Colocation Rechenzentren zumeist allein aufgrund der Größenvorteile deutlich energieeffizienter. Auch besteht bei den großen Colocation-Unternehmen viel Know-how, was energieeffiziente Technologien angeht. Sie bauen regelmäßig neue Rechenzentren und kennen sich mit dem Stand der Technik aus. Sofern die Schnittstelle mit dem Kunden nicht berührt wird, kann in Colocation-Rechenzentren im Rahmen der technischen Möglichkeiten modernisiert werden. Ein Rechenzentrums-Betreiber im Eigenbetrieb beschäftigt sich dagegen oft nur einmalig – beim Neubau – mit den Technologien. Die Notwendigkeit, sich mit dem Stand der Technik kontinuierlich auseinanderzusetzen besteht für den Einzelbetreiber nicht in dem Maße wie bei Colocation-Betreibern.

Eine Stärke der Colocation-Rechenzentren mit Blick auf die Energieeffizienz besteht auch im schnellen Wachstum der Branche. In den zahlreichen Neubauprojekten werden State-of-the-Art Technologien eingesetzt. Von Jahr zu Jahr entstehen so neue und noch etwas effizientere Colocation-Rechenzentren.

### 3.4 Energieeffizienz beim Neubau von Colocation-Rechenzentren

Zur Frage, welche Energieeffizienz-Technologien in Colocation-Rechenzentren bei Neubau eingesetzt werden, wurden von den Interviewpartnern ziemlich gleichlautende Antworten gegeben. Colocation-Betreiber setzen vor allem solche Lösungen ein, die sich bereits am Markt durchgesetzt haben und mit den teilweise hohen Anforderungen der Kunden vereinbar sind. Dies sind insbesondere technische Lösungen wie ein Energiemanagementsystem, indirekte freie Kühlung, adiabate Kühlung, Kalt- und Warmgang-Einhausung, MSR-Technik und hocheffiziente USV-Anlagen. Auch Energiemanagementsysteme für das Rechenzentrum entwickeln sich zum Standard. Mit Hilfe dieser Maßnahmen und der Auswahl der geeigneten technischen Anlagen können PUE-Werte von etwa 1,3 erreicht werden, wenn die Rechenzentren entsprechend ausgelastet sind.

Der Einsatz „rotierender“ USV-Anlagen, die in Schwungrädern Energie speichern, wird von einigen Betreibern favorisiert, andere setzen eher auf Batterielösungen.

Um mit dem Problem der Teilauslastung der Infrastrukturen umzugehen, setzen viele Colocation-Betreiber

beim Neubau ihrer Rechenzentren auf modulare Systeme, insbesondere im Bereich der USV-Anlagen. So kann z. B. eine hohe Effizienz der Stromversorgung auch dann aufrechterhalten werden, wenn Kunden die ihnen zugesagte Anschlussleistung nur zu einem geringen Teil in Anspruch nehmen.

Technologien, die sich negativ auf die dem Kunden zugesagten Service Level Agreements (SLAs) auswirken können, werden in Colocation-Rechenzentren kaum eingesetzt. Dies betrifft z. B. die direkte freie Kühlung oder auch hohe Temperaturen im Rechenzentrum. So wird vielfach nur eine Zuluft-Temperatur von 22°C realisiert. Eine Erhöhung auf 24°C stößt bei einigen Kunden schon auf Akzeptanzprobleme.

Auch Technologien, die sich auf die Geräte und Anlagen der Kunden auswirken, finden nur sehr selten Einzug in Colocation-Rechenzentren. Der Einbau wassergekühlter Racks ist teilweise noch möglich, der Einbau wassergekühlter Server ist in den meisten Colocation-Rechenzentren nicht vorgesehen. Colocation-Rechenzentren arbeiten fast ausschließlich mit einer Raumluftkühlung.

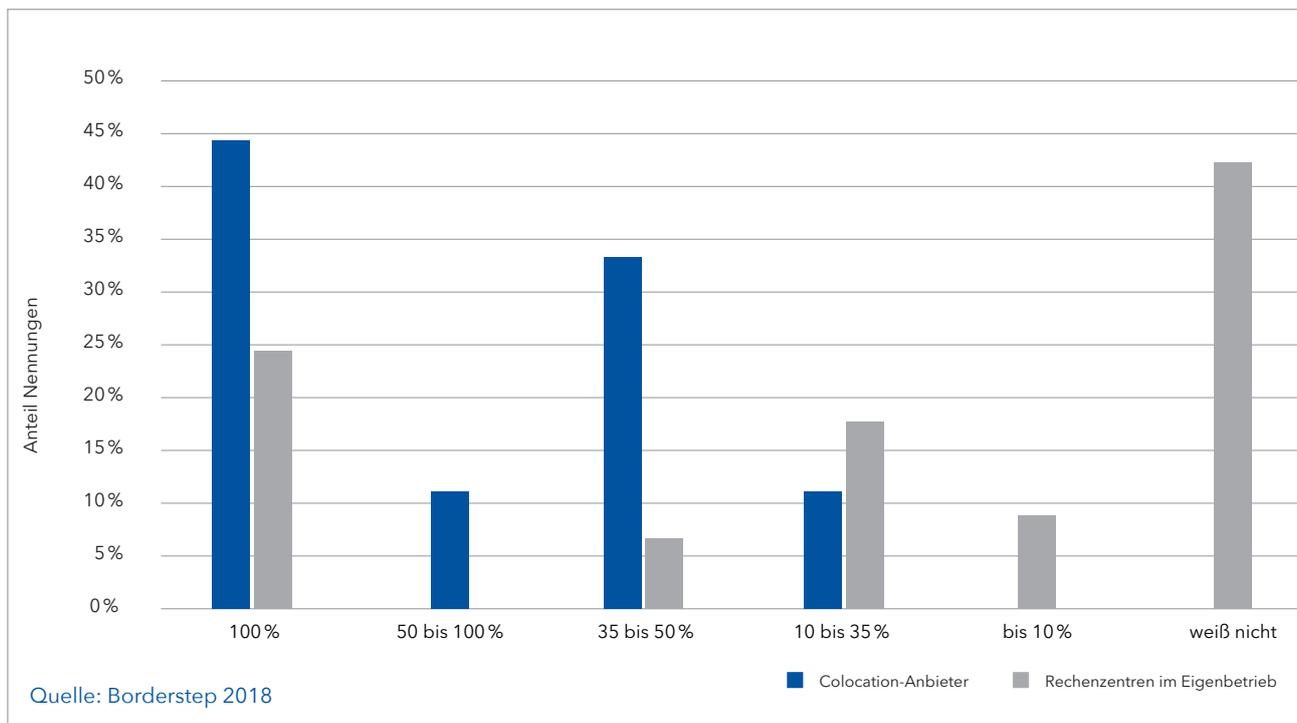
Grundsätzlich neue Technologien werden nur von wenigen Akteuren im Colocation-Markt erprobt und eingeführt. Ausnahmen bilden Forschungsprojekte, wie z. B. zu Brennstoffzellen. Diese sind allerdings in Deutschland eher selten. Ganz neue Lösungen wie wassergekühlte Server oder Gleichstromversorgung werden eher in Rechenzentren im Eigenbetrieb genutzt. Dies räumen auch die Colocation-Betreiber in den Interviews ein.

Eine Ausnahme beim Einsatz neuer Technologien stellt Maincubes dar. Maincubes setzt in seinem neuen Rechenzentrum in Offenbach die Kyoto-Kühlung ein (Maincubes, 2017). In Kombination mit einer hocheffizienten USV-Anlage erreicht Maincubes nach eigenen Angaben eine PUE-Wert unter 1,3, der auch dem Kunden garantiert wird (Maincubes, 2018). Andere Colocation-Betreiber äußerten in den Interviews, dass ein solches Konzept bei Ihnen aufgrund der Kundenanforderungen nicht realisierbar wäre.

Colocation-Anbieter verfügen oft über eine hohe Kompetenz hinsichtlich Neubau und Modernisierung von Rechenzentren, da sie häufig solche Projekte durchführen. Daher werden etablierte Energieeffizienztechnologien bei Colocation-Rechenzentren oft noch konsequenter eingesetzt als in Rechenzentren im Eigenbetrieb.

Der Einsatz regenerativer Energien für den Betrieb der Rechenzentren spielt für die Kunden der Colocation-Rechenzentren teilweise eine große Rolle. In den Interviews wurde erläutert, dass insbesondere für US-amerikanische Kunden der Einsatz regenerativer Energien wichtig sei. Aus diesem Grunde haben einige Colocation-Betreiber entsprechende Verträge mit ihren Stromlieferanten und sichern ihren Kunden 100% regenerativ erzeugten Strom zu. Dass Colocation Rechenzentren verhältnismäßig oft ausschließlich regenerativ erzeugten Strom verwenden, bestätigt auch die Online-Umfrage aus dem Jahr 2017 (Abbildung 16).

Abbildung 16: **Wie hoch ist der Anteil regenerativ erzeugten Stroms der Rechenzentren?**  
(Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



### 3.5 Energetische Modernisierung von Colocation-Rechenzentren

Die energetische Modernisierung von Rechenzentren stellt häufig eine große Herausforderung dar. Der Eingriff in die Infrastruktur ist immer mit dem Risiko behaftet, dass es zu Ausfällen kommt. In der Regel müssen betriebsfremde Mitarbeiter hinzugezogen werden, die im Rechenzentrum die alten Geräte und Anlagen abbauen und neue installieren. Aus diesem Grunde sind viele Rechenzentren zurückhaltend, wenn es um grundlegende Modernisierungen geht.

Es kann die These aufgestellt werden, dass Modernisierungen in Colocation-Rechenzentren sogar noch vor höheren Herausforderungen stehen. Es gibt häufig eine Vielzahl von Kunden, mit denen Verträge und SLA vereinbart wurden. Diese lassen eine Veränderung der Umgebung ihres Serverraums im Colocation-Rechenzentren nicht ohne weiteres zu. Diese These wurde in den Interviews von den Colocation-Betreibern bestätigt. Es wurde aber auch dargestellt, dass Modernisierungen durchaus üblich sind und häufiger erfolgreich durchgeführt werden.

Während IT-Komponenten wie Server oft innerhalb von etwa drei bis fünf Jahren ausgetauscht werden und damit aktuelle (Effizienz-)Technologie regelmäßig installiert wird, ist die Gebäudeinfrastruktur und damit auch die Strom- und Kälteversorgung deutlich langlebiger. Der Markt für Colocation-Rechenzentren begann sich um die Jahrtausendwende zu entwickeln. Eine Reihe der ersten Rechenzentren sind immer noch in Betrieb. Die Altersstruktur der Colocation-Rechenzentren im Großraum Frankfurt ist jedoch so, dass moderne Rechenzentren deutlich überwiegen. Zu diesem Schluss kommt auch eine Untersuchung von DCD-Intelligence, die dem Großraum Frankfurt im internationalen Vergleich sehr moderne Rechenzentren bescheinigt (Drake, 2015). Ein Experte in den Interviews schätzte, dass gemessen an der installierten IT-Leistung 50% der Kapazitäten der Colocation-Rechenzentren in Hessen nicht älter ist als drei Jahre. Nur 15% der Kapazitäten wäre „richtig alt“ und wurde vor dem Jahr 2000 installiert. Diese Einschätzung kann durch die bei Borderstep recherchierten Zahlen nicht ganz bestätigt werden. Danach ist gemessen an der IT-Leistung ein Drittel der Kapazitäten nicht älter als drei Jahre, 50% der Kapazitäten ist nicht älter als fünf bis sechs Jahre. Gemessen an der Gesamtleistung der Colocation-Rechenzentren ist der Teil, der ggf. modernisiert werden muss, also relativ gering. Geht man von Modernisierungszyklen von etwa zehn Jahren aus, wie sie ein Experte für sein Unternehmen als typisch angab, so sind ca. ein Viertel der Kapazitäten so alt, dass sie entweder bereits modernisiert wurden oder demnächst modernisiert werden sollten.

Hinsichtlich der Möglichkeiten zur Modernisierung von Colocation-Rechenzentren wurden in den Experteninterviews folgende Aussagen gemacht:

- Modernisierungen sind insbesondere dann gut möglich, wenn entsprechende Redundanzen vorliegen und im Rechenzentrum freie Flächen zur Verfügung stehen, so dass Flächen nacheinander modernisiert werden und die Kunden auf bereits modernisierte Flächen umziehen können.
- Modernisierungsprojekte benötigen ein gewisses Know-how und ein gutes Projektmanagement.
- Aktuell werden ältere Systeme auf modulare Systeme umgestellt, z. B. bei der USV, um auch in alten Rechenzentren besser mit der teilweise geringen Auslastung umgehen zu können.
- Einige Modernisierungen sind gut möglich, z. B. der Austausch alter Umluft-Kühlgeräte oder Komponenten davon (z. B. geregelte Lüfter). Die Modernisierung von Hauptinfrastrukturen wie Kühltürme oder USVen ist schwieriger.
- Das Service Level Agreement mit den Kunden muss aber unbedingt eingehalten werden. Bei kleineren Kunden wurde auch schon mal ein Umzug innerhalb des Rechenzentrums vereinbart und umgesetzt, um Räume leer zu bekommen.
- Wenn redundante Anlagen vorhanden sind, können auch einzelne Anlagen ersetzt werden. So wurden in einzelnen Rechenzentren z. B. die Kältemengenzähler ausgetauscht. Kleinere und schnell durchführbare Änderungen können auch erfolgen, wenn vorher die Temperatur im Rechenzentrum abgesenkt wird.
- Bestimmte Modernisierungen lassen sich aufgrund der baulichen Bedingungen nicht durchführen. So ist der nachträgliche Einbau von Luft/Luft-Wärmetauschern und insbesondere Kyoto-Kühlung oft praktisch ausgeschlossen, da für diese ein sehr hoher Doppelboden erforderlich ist.

### 3.6 Potenziale ausgewählter neuer Technologien in Colocation-Rechenzentren

Im Folgenden werden die Potenziale einiger ausgewählter neuer Energieeffizienz-Technologien für Colocation-Rechenzentren dargestellt.

Eine **Luftkühlung** im Rechenzentrum ist heute Standard. Sie weist insbesondere für Colocation-Rechenzentren den Vorteil auf, dass so flexibel jede Art luftgekühlter IT-Hardware installiert werden kann. Colocation-Rechenzentren arbeiten in der Regel mit Umluft-Kühlgeräten, die auf der IT-Fläche installiert werden und in denen die erwärmte Luft über ein Kühlregister abgekühlt wird. Es gibt auch Luftkühlssysteme, die vollständig auf Wasser verzichten. Dies ist z. B. der Fall, wenn Luft/Luftwärmetauscher verwendet werden, wie bei der Kyoto-Kühlung oder bei Kreuzwärmetauschern. Auch diese Lösungen eignen sich für Colocation-Rechenzentren, sind aber bislang nicht sehr verbreitet. Gegen Kyoto-Kühlung werden z. B. die Argumente vorgebracht, dass eine vollständige Trennung der Raumluft von der Außenluft nicht immer gegeben ist, sodass verschmutzte Luft ins Rechenzentrum gelangen kann. Außerdem ist der Brandschutz nur mit erheblichem Aufwand möglich.

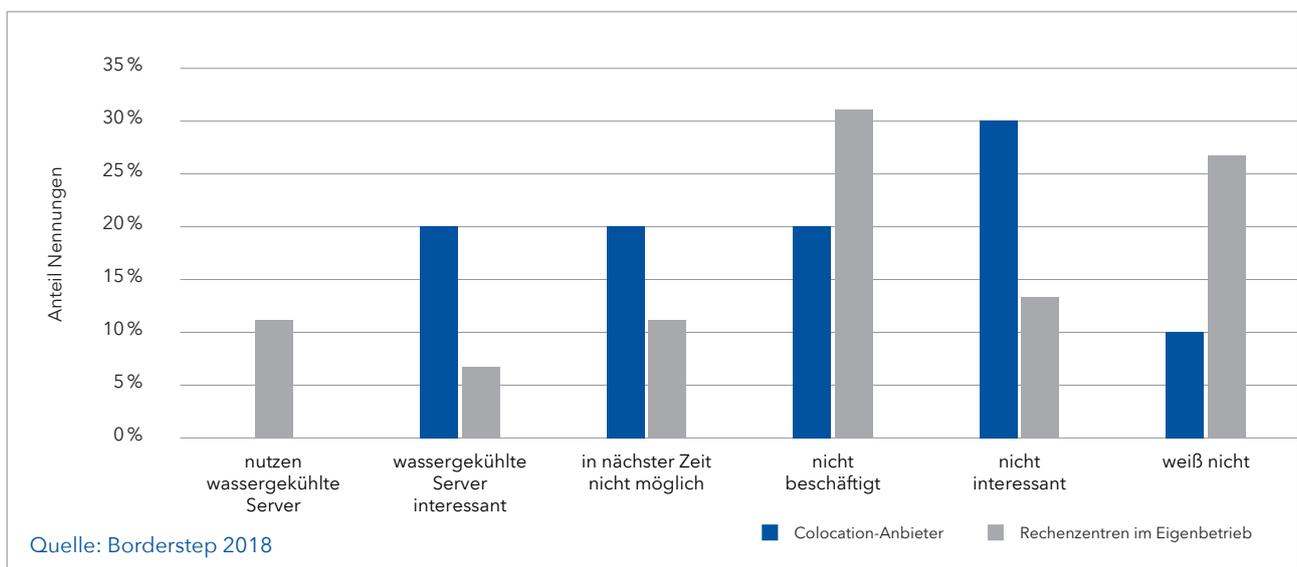
Die Luftkühlvariante „direkte freie Kühlung“ ist für Colocation-Rechenzentren kaum geeignet, da damit z. B. keine festen Grenzen für die Luftfeuchtigkeit im Rechenzentrum garantiert werden können. Außerdem kann verschmutzte Außenluft eindringen. Direkte freie Kühlung wird daher typischerweise nur in Rechenzentren mit geringeren Verfügbarkeitsanforderungen eingesetzt. Auch wenn

die Verfügbarkeit über andere Konzepte gewährleistet wird – wie z. B. redundante Serversysteme – kann direkte freie Kühlung eine sinnvolle Alternative sein.

Eine **Wasserkühlung** in dem Sinne, dass die Racks mit Wasser gekühlt werden, kann in Colocation zwar vorhanden sein, ist aber eher die Ausnahme. Als Argument dagegen wird häufig das Risiko durch Wasser auf der IT-Fläche genannt. Technisch können solche Systeme mit Umluft-Kühlsystemen verglichen werden, nur dass nicht ein Raum, sondern ein Rack gekühlt wird. Eine Kombination von Umluft-Kühlung und wassergekühlten Racks ist daher technisch einfach zu realisieren.

Die **direkte Serverkühlung** mit Wasser ist dagegen in Colocation-Rechenzentren meist (noch) nicht vorhanden. Eine solche Wasserkühlung kann deutliche Effizienzvorteile bringen, die mögliche Leistungsdichte im Rack deutlich erhöhen und Abwärme aufgrund des höheren Temperaturniveaus besser nutzbar machen. Eingesetzt wird eine solche Kühlung heute hauptsächlich im Bereich des High-Performance-Computings, also z. B. bei wissenschaftlichen Anwendungen. Auch die Online-Befragung im Jahr 2017 zeigt, dass die Technologie aktuell in Colocation-Rechenzentren noch nicht eingesetzt wird (Abbildung 17). Dennoch ist die Technologie zumindest für einige von ihnen interessant. Sollten Kunden mit dieser Anforderung kommen, wäre der technische Anschluss in einem Colocation-Rechenzentrum verhältnismäßig einfach zu realisieren.

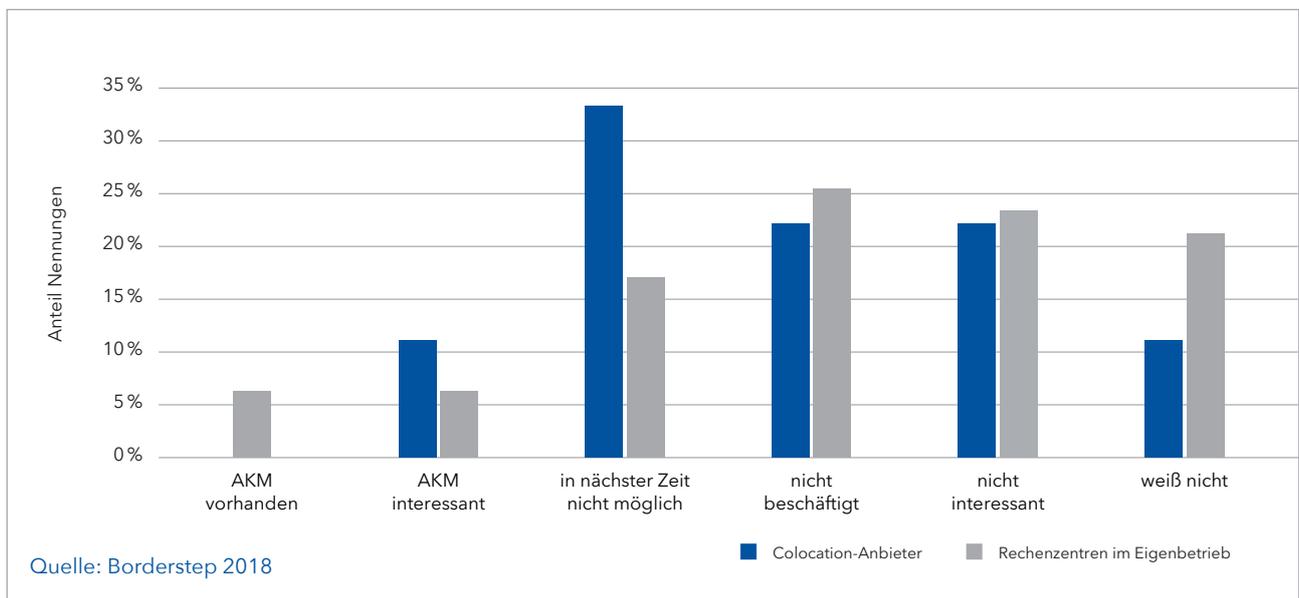
Abbildung 17: **Wie interessant ist die Nutzung wassergekühlter Server für die Rechenzentren? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)**



Der Einsatz von **Brennstoffzellen in Rechenzentren** ist bislang insgesamt eine Ausnahme. Das gilt erst recht für Colocation-Rechenzentren. Brennstoffzellen können im Rahmen der unterbrechungsfreien Stromversorgung als Ersatz für Batterien oder Notstromdieselaggregate eingesetzt werden. Aufgrund der Verbrennung von H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> in der Brennstoffzelle bleibt sauerstoffarme Luft zurück, die zur Brandvermeidung in Rechenzentren eingesetzt werden kann. Zurzeit wird auch zunehmend über Brennstoffzellen zur kompletten Stromversorgung der Rechenzentren nachgedacht, vor allem im amerikanischen Markt. Dies ist vermutlich durch das anfällige amerikanische Stromnetz eine interessante Alternative. Ein Forschungsvorhaben wurde auch im Bereich der Colocation-Rechenzentren von Equinix in Frankfurt durchgeführt. Hier wurde die Brennstoffzelle zur teilweisen Stromversorgung des Rechenzentrums und zur Brandvermeidung eingesetzt (Müller & Ostler, 2016).

Mit Hilfe von **Kraft-Wärme-Kältekopplung (KWKK)** kann die für die Rechenzentrums Kühlung notwendige Kälte aus Abwärme - in der Regel aus einem Blockheizkraftwerk - gewonnen werden. Diese Technologie wird bislang in Colocation-Rechenzentren praktisch nicht eingesetzt. Sie kann im Einzelfall aber durchaus interessant sein, vor allem wenn das Rechenzentrum über eine Eigenstromversorgung mit Blockheizkraftwerken nachdenkt. Dies ist aber die Ausnahme, wie die Online-Befragung aus dem Jahr 2017 zeigt (Abbildung 18). Hierin unterscheiden sich Colocation-Rechenzentren kaum von anderen Rechenzentren. Gründe, die gegen den Einsatz dieser Technologie genannt werden, sind vor allem die hohen Investitionen sowie die unklaren Einsparpotenziale.

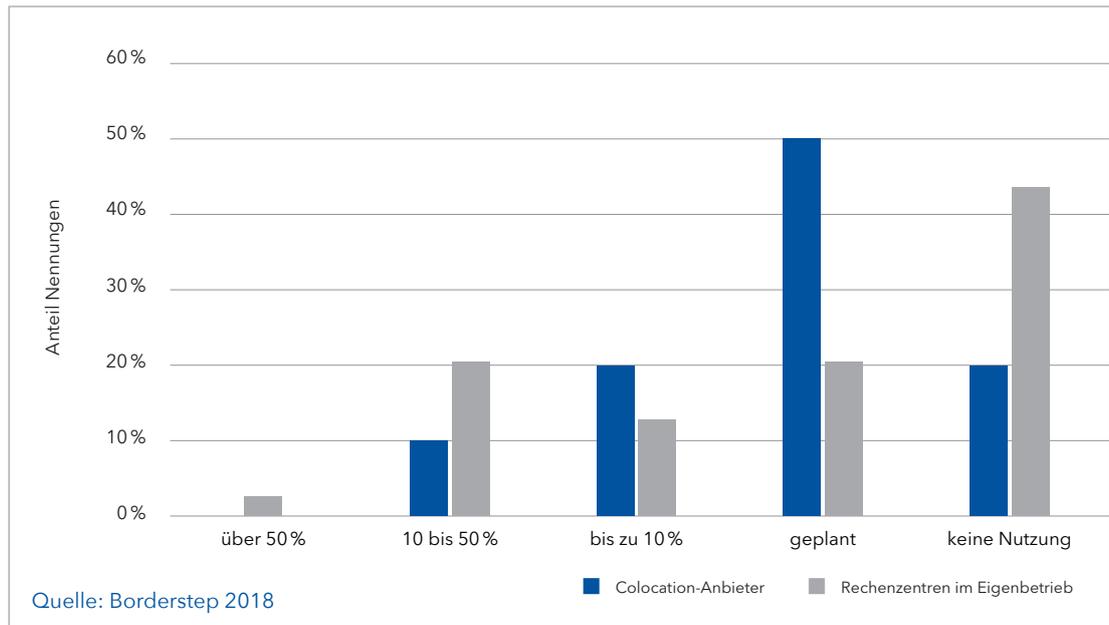
Abbildung 18: **Wie interessant ist die Nutzung von Ad- oder Absorptionskältemaschinen (AKM) für Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)? (Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)**



Die **Nutzung der Abwärme von Rechenzentren** wird aktuell in Fachkreisen sehr häufig diskutiert. In den Interviews wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass von den Colocation Betreibern eine Nutzung der Abwärme gewünscht würde, sie aber keinen Abnehmer finden. In der Praxis ist die Nutzung von Abwärme im Rechenzentrum bisher nur wenig verbreitet. Zwar nutzt ca. ein Drittel der im Frühjahr 2017 befragten Rechenzentrumsbetreiber Abwärme, aber meist nur in sehr geringen Umfang für

Heizung und Warmwasserbereitung. Nur ein befragtes Rechenzentrum nutzt über 50% der Abwärme. Zwei Rechenzentren dokumentieren die Heizung von Gebäuden, die nicht zum Rechenzentrum gehören, einmal werden Mehrfamilienhäuser aufgeführt, einmal eine Turnhalle. Die Befragung spiegelt auch das Ergebnis der Interviews wieder, dass Colocation-Rechenzentren bislang kaum Abwärme nutzen, dies aber gerne tun würden und für die Zukunft planen (Abbildung 19).

Abbildung 19: **Wie wird Abwärme der Rechenzentren genutzt?**  
(Ergebnis Online-Befragung Frühjahr 2017)



Wesentliche Gründe für die Nichtnutzung der Abwärme liegen laut Befragung in der mangelnden Wirtschaftlichkeit und im Fehlen geeigneter Abnehmer (Hintemann, 2017). Außerdem wird aufgeführt, dass das Temperaturniveau der Abwärme eine direkte Nutzung nicht zulässt.

Abwärmennutzung ist also ein wichtiges Thema für die Colocation-Betreiber. Dass eine Nutzung der Abwärme von Rechenzentren im großen Maße über einen Anschluss an die Fernwärmeversorgung möglich ist, zeigt das Beispiel Schweden (Open District Heating, 2016). Hier sind aber die Rahmenbedingungen deutlich anders als in Deutschland.

Deutsche Colocation-Rechenzentren würden die Wärme auch gerne abgeben, finden aber keine Abnehmer. In den Interviews wurde mehrfach eine gesetzliche Abnahmeverpflichtung der Wärmenetzbetreiber zur Abnahme von Abwärme aus Rechenzentren genannt, ähnlich wie ja auch im Stromnetz eine Abnahmeverpflichtung besteht. Da aber Wärme nicht über große Distanzen effizient zu Kunden transportiert werden kann, dürfte eine allgemeine Abnahmeverpflichtung aktuell kein gangbarer Weg sein.

Zielgerichteter wäre es, lokal in Kooperation mit Wärmenetzbetreibern, möglichen Wärmeabnehmern, der Kommune mit ihrem Interesse an Klimaschutz sowie mit den Rechenzentren gemeinsam an lokalen Lösungen zu arbeiten. Eine Möglichkeit dürften dabei Niedertemperatur-Wärmenetze sein, da die Abwärme von Rechenzentren gegenwärtig meist um die 30°C verfügbar sein dürfte, was mit den üblichen Vorlauftemperaturen von Wärmenetzen von 90°C bis 110°C kaum kompatibel ist. Zwar wäre der Einsatz von Wärmepumpen möglich, dies ist aber in Deutschland kaum wirtschaftlich, da der hierzu nötige Strom gegenwärtig aufgrund der EEG-Umlage zu teuer ist. Die zur Wärmeerzeugung konkurrierenden fossilen Energieträger sind bislang nicht über Umlagen an den Kosten der Energiewende beteiligt und damit sehr preiswert.

Auch die **aktive Teilnahme am Strommarkt** ist für Colocation-Rechenzentren eine interessante Option. Mehrere große Akteure haben schon einmal in Erwägung gezogen, aktiv am Stromhandel teilzunehmen und dabei auch Strom aus Notstromaggregaten oder BHKW einzuspeisen und soweit möglich die Stromnachfrage dem Stromangebot und -preis anzupassen.

### 3.7 Hemmende Faktoren für Energieeffizienz

Trotz aller Erfolge in der Energieeffizienz der Colocation-Rechenzentren gibt es eine Reihe von Faktoren, die eher hinderlich bei der weiteren Verbesserung der Energieeffizienz von Colocation-Rechenzentren sind. Die im Folgenden aufgeführten Punkte wurden von den Colocation-Betreibern im Rahmen der Interviews genannt.

Vor allem die Anforderungen der Kunden wurden von fast allen Betreibern als Hemmnis für weitere Verbesserungen der Energieeffizienz gesehen. Insbesondere folgende Einzelaspekte wurden genannt:

- Der Kunde stellt oft hohe Anforderungen an die zur Verfügung stehende Leistung, ruft diese dann aber nur zu einem Bruchteil ab. Dem Kunden sichert dieses Vorgehen Flexibilität in Form der Möglichkeit, seine IT-Hardware auch kurzfristig ausbauen zu können. Die vorgehaltene Reserve führt aber letztlich zu einer schlechten Auslastung zentraler Versorgungsaggregate wie Stromversorgung und Kühlung und damit zu ineffizienten Betriebszuständen. Volle Auslastung würde die Effizienz verbessern, gleichzeitig aber die Flexibilität für den Kunden senken und ist daher bei Colocation-Rechenzentren in einer hochinnovativen Branche mit hohen Anforderungen an Flexibilität kaum zu erreichen.
- Kunden sind mit Blick auf ihre IT-Hardware oft über vorsichtig bei ihren Präferenzen hinsichtlich der Zu- und Ablufttemperaturen. Höhere Temperaturen, die schon lange als Stand der Technik gelten, können daher nicht realisiert werden. Wird die Temperatur im Rechenzentrum aber niedriger eingestellt als eigentlich möglich, führt dies zu einem weniger effizienten Betrieb der Kühlanlagen.
- Modernisierungen im laufenden Betrieb sind nur schwer möglich und werden auch vom Kunden oft gar nicht gewollt. Denn Kunden sind primär Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit wichtig. Durch jede Form des Umbaus, auch wenn dieser „nur“ zu einem Umzug der Hardware innerhalb des Colocation-Rechenzentrums führt, wird der kontinuierliche Betrieb der Kundenhardware eingeschränkt. Mit Blick auf die eher geringe Bedeutung eines niedrigeren Energieverbrauchs bzw. niedrigerer Energiekosten für den Kunden ist auch dieser Kundenwunsch ein wirksames Hemmnis der Diffusion von Effizienztechnologien.

Neben kundenbezogenen Hemmnissen wurden folgende weitere Hemmnisse genannt:

- Auch wenn die Colocation-Rechenzentren immer effizienter werden, steigt die Gesamteffizienz der Rechenzentren nicht immer im gleichen Maße, weil wenig effiziente IT eingesetzt wird („Die 1 vor dem Komma beim PUE-Wert“). IT-Hersteller achten teilweise überhaupt nicht auf Energieeffizienz. So gibt es z. B. Hardware mit seitlichen Luftaustritten, die sich in ein Lüftungskonzept eines Rechenzentrums kaum integrieren lassen. Teilweise ist die Hardware auch so kompakt gebaut, dass die geräteinterne Lüftung nur noch sehr ineffizient erfolgen kann.
- Genehmigungsprozesse für Rechenzentren, auch für neue effiziente Lösungen, dauern oft zu lange und manchmal ist es sogar schwierig, überhaupt eine Genehmigung zu bekommen.
- Bestehende Förderprogramme für Energieeffizienz sind oft nicht kompatibel mit den Anforderungen der Branche. Insbesondere sind die Bearbeitungszeiten für die Förderanträge oft zu lang für die schnellen Innovations- und Investitionszyklen bei Rechenzentren.
- Branchenfremde Investoren „quetschen“ die Colocation-Immobilien teilweise bis auf das letzte aus, ohne sich um das Thema Energieeffizienz zu kümmern.
- Andere Länder fördern aktiv die Ansiedlung von Rechenzentren und den Einsatz ressourcenschonender Lösungen wie z. B. die Abwärmenutzung.

### 3.8 Erkenntnisse aus der Diffusionsforschung

Im Rahmen des Projektes „Diffusionspfade von Nachhaltigkeitsinnovationen“ wurden zehn Innovationen aus dem Rechenzentrumskontext mit einer Gruppe von weiteren 90 Innovationen verglichen, die aus neun Anwendungsfeldern von ökologischem Bauen über Technologien der erneuerbaren Energien bis zu Lebensmittel kamen (Fichter & Clausen, 2013, S. 239).

Die Innovationen aus dem Rechenzentrumskontext wurden dabei überwiegend der Gruppe der „Effizienzsteigernden Investitionsgüter etablierter Anbieter“ zugeordnet. Dabei handelt es sich meist um Verbesserungsinnovationen bekannter und breit genutzter Investitionsgüter wie z. B. Server oder Geräte der unterbrechungsfreien Stromversorgung. Die Adopter sind durchweg professionelle Nutzer und sind mit dem Innovationsgegenstand vertraut. Weiter werden diese Nachhaltigkeitsinnovationen typischerweise von etablierten Unternehmen entwickelt und in den Markt eingeführt. Die Hersteller-Innovatoren verfügen in der Regel über langjährige Erfahrung mit der Technologie und dem Markt, über umfangreiche F&E- sowie Marketingressourcen und über etablierte Vertriebswege und Servicekonzepte. Zum Dritten schließlich handelt es sich bei diesem Typus um effizienzsteigernde Investitionsgüter mit in der Regel relativ geringen Amortisationszeiten. Durch die verbesserte Energie- oder Ressourceneffizienz sind schnelle Einsparungen möglich. Die Wirtschaftlichkeit dieser Verbesserungsinnovationen ist also in der Regel hoch.

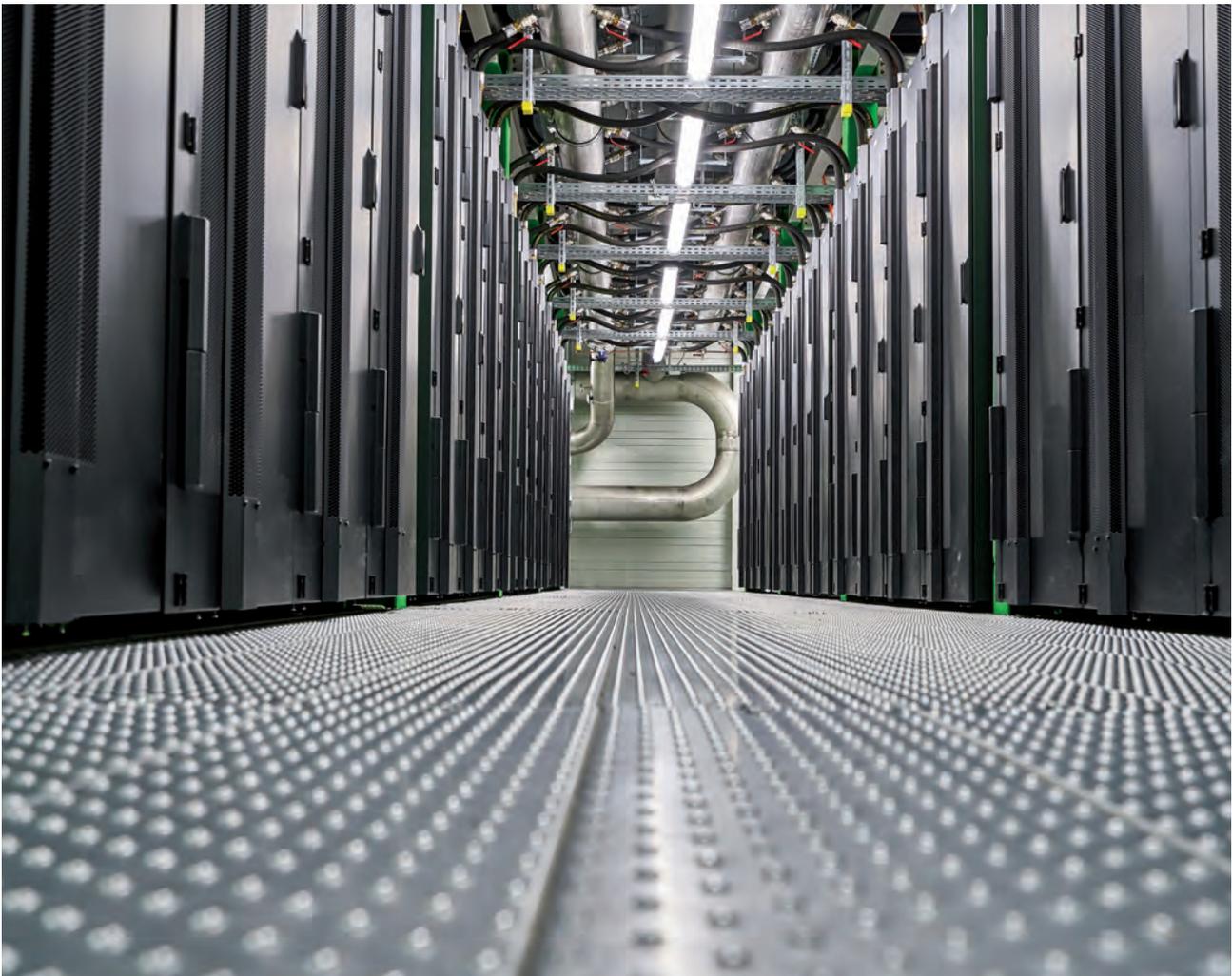
Dieser Typ von Diffusionspfad weist die schnellste Diffusion auf. Viele der Nachhaltigkeitsinnovationen dieses Typs erreichen schon wenige Jahre nach ihrer Markteinführung Marktanteile von über zehn Prozent, nach fünf Jahren oftmals schon über 50% und entwickeln sich rasch zur dominanten Technologie. In der schnellen Geschwindigkeit des Diffusionspfades liegt der Grund dafür, dass produkt- oder technologiebezogene staatliche Push- und Pull-Aktivitäten eine eher geringe Rolle spielen. Bis solche Maßnahmen geplant, beschlossen und wirksam geworden sind, ist im Zweifelsfall schon die nächste Produktgeneration auf dem Markt.

Auf Basis der allgemeinen Erkenntnisse zur Diffusion umweltentlastender Produkte und Dienstleistungen (Clausen & Fichter, 2018; Fichter & Clausen, 2016) lassen sich folgende Aussagen zur Verbreitung von Energieeffizienzinnovationen bei Colocation-Rechenzentren ableiten:

- Es ist zu vermuten, dass der **Energiepreis** eine der zentralen Steuergrößen ist, um die Diffusion von Energieeffizienztechnologien in Rechenzentren zu beschleunigen. Je höher die Energiepreise sind oder je schneller diese (absehbar) steigen, desto geringer ist die Amortisationszeit der Investitionen und desto höher ist die Wirtschaftlichkeit der Verbesserungsinnovation. Hohe bzw. noch höhere Strompreise sind mit Blick auf die Branche allerdings von hoher Ambivalenz. Zwar ist nicht von der Hand zu weisen, dass (noch) höhere Strompreise die Rechenzentrumsbetreiber motivieren würden, noch größere Anstrengungen zur Energieeinsparung zu treffen. Gleichzeitig werden die hohen Strompreise von den Rechenzentrumsbetreibern seit Jahren als der bedeutendste Standortnachteil von Deutschland im internationalen Wettbewerb hervorgehoben (Bitkom, 2014; Hintemann, 2017, 2017, 2017). Zu hohe Preise können auch zur Abwanderung der Rechenzentren führen und daher kontraproduktiv sein.
- Ein die Verbreitung hemmender Faktor kann bei Verbesserungsinnovationen für Rechenzentren auch in **Unsicherheiten** liegen, die mit der Anwendung der Technologie verbunden sein können. Auch wesentliche Notwendigkeiten der Änderung der organisatorischen Abläufe, im Rechenzentrum wären dies z. B. die ungewohnte Gestaltung des Rechenzentrums oder grundsätzlich andere Formen der Bedienung von Geräten, könnten die Diffusion hemmen (Clausen & Fichter, 2018). Der Faktor der Unsicherheit dürfte hinter der Schwierigkeit stehen, grundlegend neue Technologien wie wassergekühlte Server oder Gleichstromversorgung in Colocation-Rechenzentren einzusetzen.
- Eine **erhebliche Verhaltensänderung** für die Colocation-Rechenzentren wäre notwendig, um sich aktiv um die Nutzung von Abwärme zu kümmern. Hier sehen sich aber Rechenzentrumsbetreiber mit einem Geschäft konfrontiert, welches sie nicht beherrschen und welches nichts mit dem eigentlichen Kerngeschäft zu tun hat. Unternehmen, die sich auf die Erschließung und Nutzung von Abwärme-Potenzialen spezialisiert haben (Reinert, Clausen & Hansen, 2014), könnten hier unterstützend tätig werden. Allerdings leidet der Absatz von Abwärme sehr darunter, dass es bisher kaum solche Unternehmen gibt, und die Nutzung von Abwärme in Deutschland generell wenig entwickelt ist (Grote, Hoffmann & Tänzer, 2015; Pehnt & Bödecker, 2010).

- Ein weiterer Grund, dass Effizienzinvestitionen nicht in dem Maße erfolgen, wie es wünschenswert und ökonomisch sinnvoll wäre, ist die **Auslastung der Managementkapazitäten**. Kapazitätsengpässe im Management sind ein immer wieder identifizierter Grund für die Nichtumsetzung von umweltbezogenen Maßnahmen (Hitchens, Clausen, Keil & Thankappan, 2004; Hitchens, Trainor & Clausen, 2003). Engpässe gerade in den technischen Abteilungen sind in der Rechenzentrumsbranche und besonders im stark wachsenden Segment Colocation sehr wahrscheinlich. Denn letztlich werden dieselben technisch qualifizierten Personen sowohl für die Planung von Erwei-

terungsinvestitionen wie auch für Modernisierungsmaßnahmen benötigt. Die **begrenzte Verfügbarkeit von Fachkräften**, die sich in den letzten Jahren eher noch verschlechtert hat (Hintemann, 2017; Hintemann & Clausen, 2014), lässt dabei auch die Aussicht auf zusätzliche Anstellungen und damit Ausweitung der technischen Kapazitäten getrübt erscheinen. Mit Blick auf den enormen Druck der Kundenseite zum Ausbau der Kapazitäten wird damit das schnelle Wachstum der Branche zum wahrscheinlichsten Grund für die keineswegs vollständige und systematische Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen durch die Modernisierung bestehender Rechenzentren.



## 4 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Auf Basis der hier dargestellten Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich folgende Empfehlungen geben, um die Energieeffizienz in Rechenzentren und speziell in Colocation-Rechenzentren weiter zu erhöhen:

- (1) **Die Branche selbst sollte verstärkt Geschäftsmodelle einsetzen, die zu einer hohen Auslastung führen.** Kopplungen der zu zahlenden Aufschläge auf den IT-Strompreis in Abhängigkeit von der realen Auslastung der vereinbarten Kapazitäten sind eine Möglichkeit.
- (2) **Es sollte mehr Transparenz hinsichtlich der realen Stromverbräuche in Colocation-Rechenzentren geschaffen werden.** Von Kunden könnte die Messung der realen PUE-Werte gefordert werden. Hier könnten zum Beispiel Kunden der öffentlichen Hand eine Vorreiterrolle einnehmen. Einen entsprechenden Ansatz verfolgt z. B. der „Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung für Produkte und Dienstleistungen für Rechenzentren und Serverräume“ des Umweltbundesamtes (Gröger & Köhn, 2016).
- (3) Die Einführung eines **Energieeffizienzlabels** (z. B. Blauer Engel) für Colocation-Rechenzentren wäre eine sinnvolle Maßnahme, um den Wettbewerb um die energieeffizientesten Colocation-Rechenzentren zu fördern. Der existierende Blauer Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (DE-UZ 161) ist nicht für Colocation-Rechenzentren anwendbar, da ein gesamtheitliche Betrachtung und Optimierung von IT und Infrastruktur gefordert ist. Ein Energieeffizienz-Label für Colocation-Rechenzentren müsste sich an den konkreten Anforderungen des Rechenzentrumstyps und den dort bestehenden Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz orientieren.
- (4) **Eine politische Koordination von Fortschritten in der Abwärmenutzung insbesondere auf Bundesebene dürfte erforderlich sein.** Würde es gelingen, den Stromverbrauch der Rechenzentren, der in diesen ja grundsätzlich und vollständig zu Wärme umgewandelt wird, für die Versorgung mit Niedertemperaturwärme nutzbar zu machen, könnte dies einen durchaus wesentlichen Beitrag zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung durch Abwärme leisten. Dabei ist zu bedenken, dass der Wärmeverkauf außerhalb des Geschäftsmodells der Rechenzentrumsbetreiber liegt und einschlägige Kompetenzen kaum vorhanden sind. Es scheint daher naheliegend zu sein, dass die Aufgabe der Kundenfindung und der Wärmeverteilung eher von Wärmenetzbetreibern übernommen wird. Mit der durch das BMWi initiierten Förderung von „Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0“ wurde seit dem 1. Juli 2017 erstmals eine systemische Förderung im Bereich der Wärmeinfrastruktur eingeführt, mit der nicht nur Einzeltechnologien und -komponenten, sondern Gesamtsysteme gefördert werden. Im Programm sollen u.a. Projekte der effizienten Nutzung von Abwärme gefördert werden, die sich durch ein deutlich niedrigeres Temperaturniveau im Vergleich zu klassischen Wärmenetzen auszeichnen.<sup>8</sup> Auch eine strategische Unterstützung der Abwärmenutzung durch eine Veränderung der EEG-Umlage (Befreiung von Wärmepumpenstrom, Umverteilung der EEG-Umlage auf Heizöl, Gas und Treibstoffe) sollte erwogen werden.
- (5) Ein **Pilotprojekt zur Stabilisierung des Stromnetzes** durch aktive Beteiligung von Rechenzentren könnte unterstützt werden, um in diesem Themenfeld weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Die Rechenzentren könnten am Stromhandel teilnehmen und so durch Kosteneffekte motiviert werden, ihre Stromerzeugungs- und Speicherkapazitäten netzdienlich einzusetzen.
- (6) Colocation-Rechenzentren sollten verstärkt an die Möglichkeiten der Forschungsförderung sowie der Förderung des **pilothaften Einsatzes von Effizienztechnologien** insbesondere in den existierenden Programmen auf Bundes- oder EU-Ebene herangeführt werden. Dies kann z. B. über entsprechende spezielle Informationsangebote oder auch über konkrete Projektvorschläge geschehen. Bisher scheinen Colocation-Rechenzentren die vorhandenen Fördermöglichkeiten für Forschung zu neuen Effizienztechnologien nur selten zu nutzen. Colocation-Rechenzentren machen einen immer größer werdenden Anteil am Rechenzentrumsmarkt aus. Gleichzeitig stehen sie vor besonderen Herausforderungen. Für die Verbreitung von Innovationen in Colocation-Rechenzentren ist es wichtig, dass diese sich bereits als zuverlässig einsetzbar bewiesen haben. Thematisch könnten Schwerpunkte auf Kälte- und Klimatechnik einerseits sowie USV und Stromverteilung andererseits gelegt werden. Auch ein systematisches Energiemanagement und eine verbesserte Mess-, Steuer- und Regeltechnik werden Einfluss auf die Energieeffizienz entwickeln.

<sup>8</sup> Vgl. [http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermetetze/waermetetze\\_node.html](http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermetetze/waermetetze_node.html) vom 31.1.2018.

Hier liegen die größten Energiesparpotenziale für Colocation-Rechenzentren. Auch die effiziente Erzeugung von Strom (regenerativ oder in Kraft-Wärme Kopplung) sowie Kälte (z. B. in KWKK) stellen Klimaschutzpotenziale dar, die auch von den großen Rechenzentren bisher nur sehr unvollständig erschlossen werden.

- (7) Die Förderung der Energieeffizienz in Rechenzentren sollte vor allem auf eine möglichst anspruchsvolle Umsetzung von **Energieeffizienzkonzepten im Neubau** setzen. Hier bestehen deutlich höhere Chancen der Umsetzung als bei einer Strategie, die dies durch Modernisierung älterer Rechenzentren erreichen will. Der hohe Druck auf die Branche zur Ausweitung von Kapazitäten verknüpft zunächst die zu Modernisierungsplanung verfügbaren Personalkapazitäten. Der hohe Druck zum Kapazitätsausbau ermöglicht es, öffentlichen Akteuren aber u.U. auch im Zuge der Baugenehmigung auf hohe Effizienzstandards hinzuwirken.

- (8) Die **Bedeutung der Rechenzentren für Gesellschaft, Wirtschaft und insbesondere für Effizienzgewinne beim Energieverbrauch von digitalen Anwendungen** sollte mehr in das Bewusstsein der Öffentlichkeit, der Kunden der Rechenzentren und der Politik gebracht werden. Ein Verhindern der Ansiedlung neuer Rechenzentren durch mangelnde Flächenzuweisung, zu lange Genehmigungsprozesse o.ä. kann wirtschaftlich kontraproduktiv sein. Ebenso muss das Bewusstsein der Colocation-Kunden für die Energieeffizienz Ihrer IT gestärkt werden. Durch die Ansiedlung moderner und effizienter Rechenzentren werden neue Arbeitsplätze geschaffen und Umsätze für die einheimische Wirtschaft generiert. Ebenso wird die digitale Souveränität des Standortes gestärkt. Auch kann mehr Aufmerksamkeit für die Branche zu mehr Ausbildung von Fachkräften führen und die Transparenz im Markt weiter erhöhen.

## 5 LITERATUR

**Bitkom.** (2014, August 5). Bitkom fordert Nachbesserungen für Rechenzentren beim EEG-Entwurf (Presseinformationen) - Bitkom. Zugriff am 11.11.2014. Verfügbar unter: [http://www.bitkom.org/de/presse/8477\\_79316.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/8477_79316.aspx)

**Bitkom.** (2015). Leitfaden Energieeffizienz im Rechenzentrum - 2. Auflage. Berlin.

**CBRE Global Corporate Services.** (2013). European Data Centres Market Review. Q3 2013. London. Zugriff am 9.7.2014. Verfügbar unter: <http://www.cbre.us/services/office/AssetLibrary/European-Data-Centres-MarketView-2013Q3.pdf>

**CBRE Global Corporate Services.** (2017-a). European Data Centres Market Review. Q4 2016. London. Zugriff am 10.6.2017. Verfügbar unter: <https://www.cbre.de/de-de/research/European-Data-Centres-MarketView-Q4-2016>

**CBRE Global Corporate Services.** (2017-b). US Data Center Trends Report. London. Zugriff am 18.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.cbre.us/research-and-reports/H1-2017-US-Data-Center-Trends>

**CBRE Global Corporate Services.** (2017-c). Marketview Asia Pacific Data Centres 2017. London. Zugriff am 18.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.cbre.com/research-and-reports/Asia-Pacific-Data-Centre-Market-View-H1-2017>

**Cisco.** (2014). Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2013-2018.

**Cisco.** (2015). Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2014-2019. Verfügbar unter: [http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud\\_Index\\_White\\_Paper.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/Cloud_Index_White_Paper.pdf)

**Cisco.** (2016). Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2015-2020. Zugriff am 10.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>

**Cisco.** (2018). Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2016-2021. Zugriff am 7.2.2017. Verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>

**Clausen, J. & Fichter, K.** (2018). Umweltinnovationen 2: Faktoren und Dynamiken der Verbreitung grüner Dienstleistungen und Produkte in der Gesellschaft. Im Erscheinen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

**Digital HUB.** (2017). Brexit verstärkt bereits intensiven Boom der Frankfurter Rechenzentren. Zugriff am 8.11.2017. Verfügbar unter: <http://www.digitalhub-frm.de/2017/digital-hub-brexit-verstaerkt-bereits-intensiven-boom-der-frankfurter-rechenzentren/>

**Drake, C.** (2015). German Data Center Market Outlook - Highlights from DCD's Latest Census.

**eco & Arthur D. Little.** (2015). Die deutsche Internetwirtschaft 2015 - 2019 - Studie des eco - Verband der Internetwirtschaft. Studie. Köln, Wien. Zugriff am 24.4.2016. Verfügbar unter: [https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/studie\\_internetwirtschaft\\_2015-2019.pdf](https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/studie_internetwirtschaft_2015-2019.pdf)

**Fichter, K. & Clausen, J.** (2013). Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen. Marburg: Metropolis.

**Fichter, K. & Clausen, J.** (2016). Diffusion Dynamics of Sustainable Innovation - Insights on Diffusion Patterns Based on the Analysis of 100 Sustainable Product and Service Innovations. *Journal of Innovation Management*, 4 (2), 30-67.

**Fujitsu Siemens Computers.** (2008). 93% der verantwortlichen IT-Manager kennen Energiebedarf ihrer IT nicht - Green IT-Studie von Experton deckt Mängel auf.

**Gröger, J. & Köhn, M.** (2016). Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung: Produkte und Dienstleistungen für Rechenzentren und Serverräume. Umweltbundesamt. Zugriff am 4.3.2018. Verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-zur-umweltfreundlichen-oeffentlichen-14>

**Grote, L., Hoffmann, P. & Tänzer, G.** (2015). Abwärmenutzung - Potentiale, Hemmnisse und Umsetzungsvorschläge. Saarbrücken: Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES). Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/20150901\\_BMUB\\_Studie\\_Abwaerme\\_V.1.1.pdf](http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/20150901_BMUB_Studie_Abwaerme_V.1.1.pdf)

**Hintemann, R.** (2014). The Future of Data Center Energy Demand - The Impact of the Changing Structure of Data Centers. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.

**Hintemann, R.** (2015). Deutliches Wachstum bei deutschen Rechenzentren - Update 2015. Studie zur Entwicklung von Rechenzentren im Jahr 2015. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Verfügbar unter: [http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2015/01/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2015\\_Stand\\_16\\_12\\_2015.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2015/01/Borderstep_Rechenzentren_2015_Stand_16_12_2015.pdf)

**Hintemann, R.** (2017). Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf der deutschen Rechenzentren im Jahr 2016. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Verfügbar unter: [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2016.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf)

**Hintemann, R. (2017).** Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland - weltweit führend oder längst abgehängt?. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren - NeRZ. Zugriff am 25.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/07/NeRZ-Studie-Rechenzentrumsmarkt-30-06-2017.pdf>

**Hintemann, R.** (2017). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Update 2017. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 3.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Studien/2017/Kurzstudie-RZ-Markt-Bitkom-final-20-11-2017.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. (BIT-KOM). Berlin. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-Wirtschaftliche-Bedeutung-und-Wettbewerbssituation.html>

**Hintemann, R. & Clausen, J.** (2016). Der Rechenzentrumsmarkt in Hessen - Aktueller Stand im Jahr 2015 und Ausblick. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Verfügbar unter: <http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/01/Studie-Rechenzentren-in-Hessen-2015-Stand-13-01-2016.pdf>

**Hitchens, D., Clausen, J., Keil, M. & Thankappan, S.** (2004). Competitiveness, Environmental Performance and Management of SMEs. *Greener Management International*, (44), 45-57.

- Hitchens, D., Trainor, M. & Clausen, J.** (2003). Small and medium sized companies in Europe: environmental performance, competitiveness, and management: international EU case studies. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, ISIG.
- Howard-Healy, M.** (2016). Data Center Market Europe. Broadgroup. Zugriff am 1.12.2017. Verfügbar unter: [https://web.eco.de/wp-content/blogs.dir/13/files/160119\\_broadgroup.pdf](https://web.eco.de/wp-content/blogs.dir/13/files/160119_broadgroup.pdf)
- Howard-Healy, M.** (2018). Colocation Market Quarterly (CMQ) brief – Vortrag auf dem Broad-Group's Knowledge Brunch in Frankfurt. Broadgroup.
- Jones Lang LaSalle IP.** (2017). Data Center Outlook. A wave of global momentum. North America 2017. Boston, MA. Zugriff am 18.1.2018. Verfügbar unter: <http://www.us.jll.com/united-states/en-us/Research/US-data-center-outlook-jan-2017.pdf>
- KPMG & Bitkom.** (2016). Cloud-Monitor 2016. Zugriff am 24.4.2016. Verfügbar unter: <http://hub.klardenker.kpmg.de/hubfs/kpmg-cloud-monitor-2016.pdf?submissionGuid=bb0e07a9-dd41-44ca-8bbb-6cf7051880e2>
- Maincubes.** (2017, Oktober 26). Hochleistungs-Rechenzentrum am 26.10.17 feierlich eröffnet. Zugriff am 1.2.2018. Verfügbar unter: <https://www.maincubes.com/de/blogartikel/147-hochleistungs-rechenzentrum-eroeffnet>
- Maincubes.** (2018). Fakten FRA01. Zugriff am 25.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.maincubes.com/images/Downloads/20173001-maincubes-FRA01-DE-Fakten.pdf>
- Müller, D. & Ostler, U.** (2016, August 15). Brennstoffzellen – neue Energie für Rechenzentren. Zugriff am 1.2.2018. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/brennstoffzellen-neue-energie-fuer-rechenzentren-a-545526/>
- Open District Heating.** (2016, März 22). Fortum kauft Abwärme von Rechenzentrum. Zugriff am 25.4.2016. Verfügbar unter: <http://www.opendistrictheating.com/news/fortum-kauft-abwaerme-von-rechenzentrum/>
- Ostler, U.** (2018, Januar 24). Norwegen holt bei der Datacenter-Ansiedlung auf. Zugriff am 31.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/norwegen-holt-bei-der-datacenter-ansiedlung-auf-a-679373/>
- Pehnt, M. & Bödecker, J.** (2010). Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Karlsruhe und Heidelberg: ifeu, Fraunhofer ISI & IREES. Zugriff am 4.3.2016. Verfügbar unter: [http://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung\\_industrieller\\_Abwaerme.pdf](http://www.ifeu.de/energie/pdf/Nutzung_industrieller_Abwaerme.pdf)
- Reinert, F., Clausen, J. & Hansen, E. G.** (2014). Why companies do district heating. The Business Model Perspective on Network Expansion and Renewable Sources of Energy. 2nd International Sustainable District Heating Conference.
- Sawall, A.** (2016, Mai 19). Cloud: Amazons AWS sucht 130 Beschäftigte in Deutschland – Go-lem.de. Zugriff am 4.3.2018. Verfügbar unter: <https://www.golem.de/news/cloud-amazons-aws-sucht-130-beschaefigte-in-deutschland-1605-121000.html>
- Winter, T.** (2016, Dezember 14). Stromverbrauch: Data-Center hängen Airport ab. FAZ.NET.

## 6 VORGEHENSWEISE UND METHODEN

Zur Bearbeitung der Studie wurden verschiedene wissenschaftliche Methoden angewendet.

**Desk Research:** Zum einen wurde im Rahmen von Desk Research eine umfassende Recherche und eine Zusammenfassung der bisher vorhandenen Informationen zu Rechenzentren in der Literatur (vgl. Kapitel 5) durchgeführt. Einigermaßen belastbare Daten sind aktuell für bestimmte Segmente der Rechenzentrumslandschaft wie den Cloud- und Colocation-Markt oder für den Bereich der ITK-Dienstleistungen verfügbar. Außerdem konnten Ergebnisse genutzt werden, die in Studien zum Thema Green IT und Energieeffizienz von Rechenzentren in Deutschland durchgeführt wurden.

**Modellierung:** Im Rahmen der Forschungsarbeiten zum Thema Green IT ist am Borderstep Institut ein umfassendes Strukturmodell der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland entwickelt worden, das jährlich aktualisiert und weiterentwickelt wird. In dem Modell sind die Rechenzentren in Deutschland in unterschiedlichen Größenklassen in ihrer Ausstattung mit verschiedenen Servertypen, Speichersystemen und Netzwerkinfrastrukturen beschrieben. Das Modell berücksichtigt auch die Altersstruktur der Server und die Energiebedarfe der verschiedenen Servertypen in unterschiedlichen Betriebszuständen. Weiterhin sind die Rechenzentrums-Infrastrukturen wie Klimatisierung, Stromversorgung, USV, etc. für unterschiedliche Größen- und Redundanzklassen modelliert. Auf Basis des Modells können die wirtschaftlichen Kennzahlen für Rechenzentren in Deutschland ermittelt werden.

### Auswertung der Ergebnisse einer schriftlichen Befragung hinsichtlich Colocation-Rechenzentren:

Im Zeitraum 6. April bis 20. Juni 2017 wurde von Borderstep eine online-Befragung von Rechenzentrumsbetreibern durchgeführt. An der Umfrage haben 74 Personen<sup>9</sup>, davon Vertreter von 36 IT-Dienstleistern und 38 sonstige Rechenzentren (Rechenzentren z.B. aus Industrie, Handel, Hochschulen und öffentlicher Verwaltung) teilgenommen. Die Befragten betreiben insgesamt 328 Rechenzentren mit einer Fläche von 475.000 m<sup>2</sup>. Die Umfrage hat explorativen Charakter und ist nicht repräsentativ für den deutschen Rechenzentrumsmarkt. Dennoch sind die Ergebnisse aufgrund der erreichten Marktabdeckung durchaus aussagekräftig. Die Teilnehmer der Befragung repräsentieren – gemessen an der IT-Fläche der Rechenzentren – etwa ein Viertel der Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland. In der Gruppe der Teilnehmer finden sich zwölf Colocation-Rechenzentren.

**Strukturierte Interviews:** Zur Ermittlung wesentlicher Hintergründe und Zusammenhänge wurden elf strukturierte Interviews mit Betreibern, Ausstattern und Planern von Rechenzentren durchgeführt. Bei der Auswahl der Interviewpartner waren vor allem zwei Kriterien von Bedeutung. Zum einen wurden solche Unternehmen ausgewählt, die aufgrund ihrer Marktposition bzw. ihres Marktanteils über einen sehr guten Überblick über die relevanten Marktentwicklungen und -rahmenbedingungen verfügen. Zum anderen wurde ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Rechenzentrumstypen und Wertschöpfungsstufen abgedeckt.

**Tabelle 1: Basisdaten der teilnehmenden Rechenzentren in der Befragung**

Typus	Zahl der Rechenzentren pro Betreiber	Zahl der Standorte pro Betreiber	Zahl der Beschäftigten pro Betreiber	Durchschnittliche IT-Fläche pro Betreiber in m <sup>2</sup>
Colocation Anbieter	13,2	11	196	27.500
Rechenzentren im Eigenbetrieb	2,4	1,8	357	1.220

<sup>9</sup> Ein Datensatz wurde nicht für die Auswertung genutzt, da zu wenige Angaben gemacht wurden.





Projekträger:



Wirtschaftsförderer für Hessen