



RECHENZENTREN IN EUROPA – CHANCEN FÜR EINE NACHHALTIGE DIGITALISIERUNG

Teil 2

Stand: 10. November 2020

Ralph Hintemann
Simon Hinterholzer
Jens Clausen



Vodafone Institut
für Gesellschaft
und Kommunikation

IMPRESSUM

Autoren / Autorinnen

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

Simon Hinterholzer (Borderstep Institut) | hinterholzer@borderstep.de

Dr. Jens Clausen (Borderstep Institut) | clausen@borderstep.de

Zitiervorschlag

Hintemann, R.; Hinterholzer, S; Clausen, J. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung – Teil 2. Berlin: Borderstep Institut.

Titelbild

Heinrich Holtgreve/OSTKREUZ

Auftraggeber

eco – Verband der Internetwirtschaft e. V.



Mit freundlicher Unterstützung
von Vodafone Institut



INHALTSVERZEICHNIS

Einordnung und Abgrenzung der vorliegenden Untersuchung	4
Abbildungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren	8
3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa	19
4 Abwärmenutzung aus Rechenzentren	30
5 Zusammenfassendes Fazit	36
6 Glossar	38
7 Literaturverzeichnis	47

EINORDNUNG UND ABGRENZUNG DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG

Der vorliegende Bericht ist der zweite Teil einer Borderstep-Studie im Auftrag des eco – Verband der Internetwirtschaft e.V., die sich mit den Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren befasst. Im ersten Teil der Untersuchung wurde die Bedeutung des Energie- und Ressourcenbedarfs und weiterer Nachhaltigkeitswirkungen der Rechenzentren in Europa dargestellt und die Entwicklung von Energieeffizienz, Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Europa ermittelt. Der erste Teil der Studie lieferte damit die Grundlagen für den vorliegenden Bericht, in dem die Potenziale von Technologien und organisatorischen Handlungsoptionen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Senkung der Treibhausgasemissionen in Rechen-

zentren ermittelt und dargestellt werden. Für den vorliegenden Bericht wurde neben umfangreichen Recherchen (Desk Research) auch eine Delphi-Befragung von europäischen Rechenzentrumsexperten durchgeführt. In zwei Befragungsrunden wurden 70 Experten aus Industrie, Verwaltung, Wissenschaft und Politik befragt. Zudem wurden mit zehn ausgewählten Experten detaillierte Interviews geführt. Um die identifizierten Potenziale und Handlungsmöglichkeiten für einen nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb zu illustrieren, werden im Bericht sechs Best-Practice-Beispiele vorgestellt. Aufgrund der Vielzahl der betrachteten technologischen Ansätze zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren ist dem Bericht ein umfangreiches Glossar angefügt.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Expertenbefragung – Effizienzentwicklung der IT in der Zukunft	8
Abbildung 2: Delphi-Befragung – Zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren in Europa	9
Abbildung 3: Bereitstellungsmodell für Rechenzentrums- und Cloud-Dienste	10
Abbildung 4: Delphi-Befragung – Einschätzung der Einsparpotentiale von Treibhausgasemissionen in den Technologiebereichen	11
Abbildung 5: Borderstep-Technologieradar Kühlung und Klimatisierung	12
Abbildung 6: Borderstep-Technologieradar Energieversorgung	13
Abbildung 7: Borderstep-Technologieradar Architekturen und Management	15
Abbildung 8: Borderstep-Technologieradar IKT-Hardware	16
Abbildung 9: Technologiefelder, für die ein staatliches Handeln als erforderlich angesehen wird	21
Abbildung 10: Energiekosten für ein Rechenzentrum mit 5 MW mittlerer Leistung im Jahr in Europa	24

1 EINLEITUNG

Leistungsfähige und effiziente Rechenzentren sind die notwendige Voraussetzung für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Digitalisierung. Dieser Sachver-

Rechenzentren bieten vielfältige Chancen für mehr Nachhaltigkeit – Als Basisinfrastruktur der Digitalisierung sind leistungsfähige und nachhaltige Rechenzentren notwendig, um künftig mehr Klimaschutz und Nachhaltigkeit zu erreichen.

halt ist eine wesentliche Erkenntnis des ersten Teils dieser Studie zu den Nachhaltigkeitseffekten von Rechenzentren, der im Mai 2020 veröffentlicht wurde. Teil 1 der Studie gibt einen Überblick über die aktuellen und zu erwartenden künftigen Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren.

Im zweiten Teil der Untersuchung werden Ansatzpunkte und Handlungsmöglichkeiten untersucht, wie die Rechenzentren in Zukunft noch nachhaltiger werden können. Die Ergebnisse dieses zweiten Teils werden mit dem vorliegenden Dokument vorgestellt.

Die zunehmende Digitalisierung führt zu einem deutlich ansteigenden Bedarf an Rechen- und Speicherleistung und damit zu einem verstärkten Ausbau der Rechenzentrumsinfrastruktur. Dieser Ausbau erfolgt sowohl in großen zentralen Cloud- und Colocation-Rechenzentren als auch dezentral in Hybrid Rechenzentren oder Edge Rechenzentren (Hintemann & Hinterholzer, 2020; Mordor Intelligence, 2020). Für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Digitalisierung ist ein Ausbau der digitalen Infrastrukturen zwingend notwendig. Nur mit Hilfe der Digitalisierung kann es gelingen, Industrieprozesse effizienter und ressourcenschonender zu gestalten, Verkehrsströme zu verringern und die Energiesysteme klimaneutral umzubauen. Das Rückgrat der Digitalisierung sind die digitalen Infrastrukturen und in deren Zentrum wiederum stehen die Betreibenden von Rechenzentren in ihren unterschiedlichsten Ausprägungen.

Der mit der weiteren Digitalisierung einhergehende steigende Bedarf an Rechen- und Speicherkapazi-

tät in Rechenzentren führt voraussichtlich – wie der erste Teil der Studie gezeigt hat – trotz weiter deutlich steigender Energieeffizienz zu einem moderaten Anstieg des Energiebedarfs. Während im Zeitraum von 2010 bis 2020 der Energiebedarf der Rechenzentren in Europa um 55% auf 87 TWh/a angestiegen ist, wird für das kommende Jahrzehnt nur noch ein Anstieg auf 98 TWh/a (+ 13%) prognostiziert (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Aufgrund des zunehmenden Einsatzes regenerativer Energien bei der Stromerzeugung sinken die CO₂-Emissionen der Rechenzentren in Europa insgesamt. Individuell können Betreibende von Rechenzentren bereits heute z.B. über Power Purchase Agreements (PPAs) die Stromversorgung ihrer Rechenzentren klimaneutral stellen. Wie in einer Gesamtbetrachtung der CO₂-Emissionen der Rechenzentren die unterschiedlichen regionalen Voraussetzungen (z.B. Atomstrom in Frankreich, Strom aus Wasserkraft in Nordeuropa) bewertet werden können, stellt eine große Herausforderung dar. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf die Ziele der EU-Kommission, Rechenzentren und Telekommunikationsnetze bis 2030 klimaneutral zu betreiben (siehe Kapitel 3).

Trotz der schon erreichten Erfolge bei der Steigerung der Energieeffizienz und der Absenkung der CO₂-Emissionen der Rechenzentren ist es auch künftig geboten, die Anstrengungen zur Verringerung des ökologischen Impacts der Digitalisierung zu verstärken. Wie Kapitel 2 dieses Berichts zeigt, stehen hierzu eine Vielzahl technologischer und organisatorischer Ansätze zur Verfügung. In den allermeisten Fällen werden diese Ansätze aus Eigeninteresse in der Rechenzentrumsbranche schnell umgesetzt. Zum einen bedeuten Energieeinsparungen gleichzeitig Kostensenkungen, zum anderen haben viele Unternehmen der Digitalwirtschaft konkrete Ziele, ihre Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren sehr deutlich zu senken und setzen daher die entsprechenden Maßnahmen meist schnell um. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden aber auch Technologien und Handlungsfelder identifiziert, in denen aufgrund von wirtschaftlichen, organisatori-

schen oder regulatorischen Rahmenbedingungen die Durchsetzung neuer Lösungen nicht in dem aus Nachhaltigkeitssicht wünschenswerten Umfang erfolgt. An diesen Stellen sind Ansatzpunkte für staatliches Handeln erkennbar. Kapitel 3 dieses Berichts befasst sich mit dieser Fragestellung. Insbesondere Technologien aus dem Bereich der Nutzung regenerativer Energien und der Sektorkopplung setzen sich in Rechenzentren aufgrund der bestehenden Rahmenbedingungen oft nicht durch. Weitere Hemmnisse beim Einsatz neuer Technologien bestehen oft im Zusammenhang mit der Modernisierung von Rechenzentren oder durch sich widersprechende Kundenanforderungen.

Besondere Aufmerksamkeit wird in diesem Bericht den Potenzialen der Abwärmennutzung aus Rechenzentren gewidmet. Da hier hohe Potenziale zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren gesehen werden, gerät dieses Themenfeld zunehmend in den Fokus von Politik und Öffentlichkeit. Auch wenn eine Reihe von Praxisbeispielen die prinzipielle Anwendbarkeit dieses Ansatzes in Rechenzentren belegt, gibt es insbesondere in Deutschland noch eine Vielzahl von Herausforderungen, denen begegnet werden muss. In Kapitel 4 wird dieses Themenfeld aufbereitet. Das abschließende Kapitel 5 zieht ein zusammenfassendes Fazit.

2 TECHNOLOGISCHE POTENZIALE ZUR VERRINGERUNG DES ENERGIEBEDARFS UND DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN VON RECHENZENTREN

Technologieentwicklung

Kapitel 2 befasst sich mit technologischen Potenzialen zur Verringerung des Energiebedarfs von Rechenzentren. Die Energieversorgung von Rechenzentren basiert fast ausschließlich auf elektrischem Strom. Damit sind die Treibhausgasemissionen des Betriebs von Rechenzentren deutlich abhängig von der Art der Stromerzeugung. Die spezifischen CO₂-Emissionen pro erzeugter kWh Strom variieren in Europa sehr stark. Während sie aktuell in Norwegen unter 20 Gramm/kWh liegen, betragen Sie in Deutschland etwa 420 Gramm/kWh und in Polen etwa 600 Gramm/kWh (EEA, 2020).

In der Vergangenheit wurde die IT-Hardware durch die fortschreitende Entwicklung der Mikroelektronik

bei ähnlichem Strombedarf immer leistungsfähiger. In Teil 1 der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich der Energiebedarf bezogen auf die Rechen- und Speicherleistung im vergangenen Jahrzehnt um den Faktor sechs bis zwölf verringert hat (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Dieser Trend ist vor allem auf die zunehmende Miniaturisierung entsprechend dem Gesetz von Gordon E. Moore (Moore'sches Gesetz¹) sowie der abnehmenden Leistungsaufnahme der

¹ Das Gesetz von Gordon E. Moore „Moore's Law“ prognostiziert die jährliche Verdopplung von Komponenten auf Silizium Chips in einem Paper von 1965 (Moore, 1965). Im Jahr 1975 wurde die Prognose reduziert auf eine Verdopplung alle 18 Monate (Moore, 1975), was bis Mitte der 10er Jahre dieses Jahrhunderts.

Wie schätzen Sie die zukünftige Entwicklung der IT-Energieeffizienz bis zum Jahr 2030 ein?

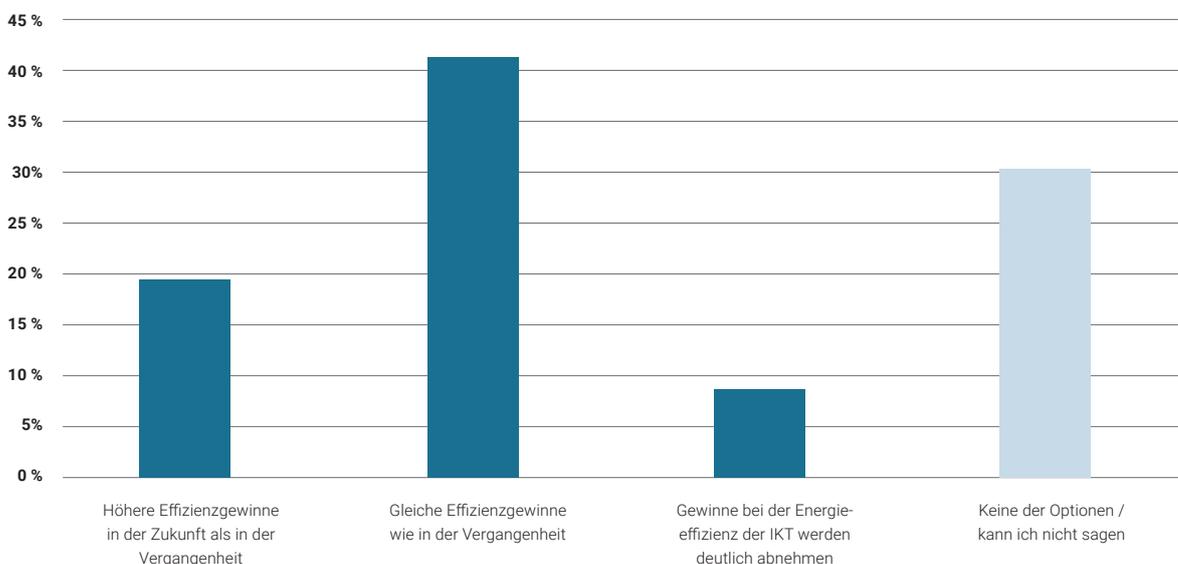


Abbildung 1: Expertenbefragung – Effizienzentwicklung der IT in der Zukunft

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Einzelelemente (Transistoren) bei dieser Miniaturisierung gemäß Robert H. Dennard² zurückzuführen.

Aufgrund von physikalischen Grenzen der Verkleinerung gehen viele Experten davon aus, dass sich diese Leistungssteigerungen und Effizienzgewinne gemäß dem Moore’schen Gesetz in Zukunft nicht mehr mit der gleichbleibenden Geschwindigkeit realisieren lassen (Li, Su, Wong & Li, 2019; Peckham, 2012; Waldrop, 2016). Es ist daher fraglich, ob über andere Mechanismen und Technologiewechsel in der Mikroelektronik auch zukünftig Energieeffizienzfortschritte wie in der Vergangenheit erreicht werden können.

Aus diesem Grunde wurden in dieser Studie internationale Experten und Betreiber von Rechenzentren im Rahmen einer Delphi-Untersuchung befragt, welche zukünftige Entwicklung von Energieeffizienz sie in der IT bis zum Jahr 2030 erwarten (siehe Abbildung 1). Mit ca. 42% gibt der größte Teil der

Befragten an, dass die zukünftigen Effizienzgewinne vergleichbar mit denen der Vergangenheit sein werden, knapp 20% der Befragten gehen davon aus, dass die Effizienzgewinne sogar noch höher sein werden. Nur etwa 8% der Befragten geben an, dass sie erwarten, dass die Effizienzgewinne signifikant zurückgehen. Etwa ein Drittel der Befragten kann oder will dazu keine Aussage machen.

Während im Bereich der IT in den letzten Jahrzehnten enorme Effizienzsprünge gelungen sind, hat gleichzeitig der Bedarf an Rechen- und Speicherkapazität noch stärker zugenommen. Dies führt dazu, dass – wie eingangs ausgeführt – trotz der Effizienzgewinne der Energiebedarf von Rechenzentren in Summe in der Vergangenheit gestiegen ist (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Vor diesem Hintergrund wurde in der Expertenbefragung auch die Einschätzung zur zukünftigen Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren abgefragt. Mit über 60% gehen die meisten Experten davon aus, dass der Energiebedarf weiter steigen wird. 26,1% der Experten nehmen an, dass der Energiebedarf von Rechenzentren bis 2030 moderat ansteigen wird, 34,8% gehen hingegen davon aus, dass dieser signifikant ansteigen wird. Nur ca. 10,9% der Befragten gehen

² Robert H. Dennard sagt bereits im Jahr 1974 in einem Paper voraus, dass bei zunehmender Miniaturisierung die thermische Verlustleistung von elektronischen Chips pro Fläche in etwa konstant bleibt, auch wenn die Anzahl der Komponenten pro Fläche stark zunimmt (Dennard et al., 1974).

Wie erwarten Sie, dass sich der Energiebedarf von Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 entwickelt?

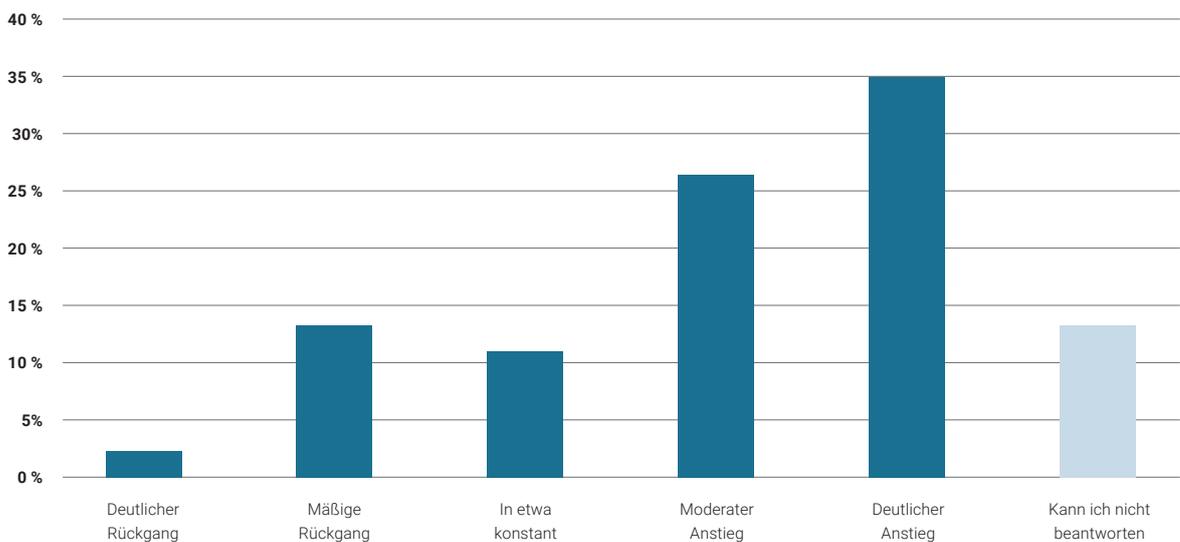


Abbildung 2: Delphi-Befragung – Zukünftige Entwicklung des Energiebedarfs von Rechenzentren in Europa

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

davon aus, dass der Energiebedarf in etwa gleichbleiben wird. Von einem moderaten Rückgang des Energiebedarfs gehen 13,0% der Befragten aus, einen starken Rückgang erwarten nur 2,2% (ein Befragter). Etwa 13% der Befragten konnten dazu keine Antwort geben. Ein Grund für die teilweise unterschiedlichen Einschätzungen der Experten sind vermutlich die unklaren weiteren Leistungsbedarfe in Rechenzentren durch die voranschreitende Digitalisierung.

Die Befragung zeigt, dass kein einheitliches Meinungsbild bei den Experten existiert, wie sich der Energiebedarf von Rechenzentren zukünftig entwickeln wird. Im Gesamtbild geht jedoch eine deutliche Mehrheit an Experten von einem steigenden Energiebedarf aus, wie dies auch im Teil 1 der Untersuchung für den Trendfall prognostiziert wird. Dass die Entwicklung auch deutlich anders verlaufen kann, zeigen die ebenfalls entwickelten Szenarien im ersten Teil der Untersuchung. Die Spannweite der künftigen Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 reicht von 54 TWh/a im Effizienz-Szenario und bis zu 158 TWh/a im

Worst-Case-Szenario. Welcher Entwicklungspfad tatsächlich eintreten wird, ist von der künftigen Technologieentwicklung abhängig. Im Folgenden werden Technologien dargestellt, die einen deutlichen Einfluss auf die zukünftige Nachhaltigkeit von Rechenzentren haben können.

Vier Technologiebereiche und besonders vielversprechende Technologien

Für die Prozesse im Rechenzentrum ist eine ganze Palette an Technologien relevant, entsprechend vielseitig sind auch die technologischen Möglichkeiten zur Steigerung der Nachhaltigkeit.

Betrachtet man die physischen Elemente im Rechenzentrum, so lässt sich vor allem die Aufteilung in die Bereiche Infrastruktur (Stromversorgung, Kühlung und Klimatisierung, u.a.) sowie IT-Hardware treffen. Aber auch die Software inklusive Virtualisierung, Architekturen und Management hat einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und Effizienz von Rechenzentren (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Bereitstellungsmodell für Rechenzentrums- und Cloud-Dienste

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Im Folgenden werden daher die Technologien, mit denen die Nachhaltigkeit von Rechenzentren in Zukunft gesteigert werden kann, anhand der folgenden vier Bereiche vorgestellt:

- Kühlung und Klimatisierung
- Architektur, Management und Software
- IKT-Hardware
- Stromversorgung

In der Expertenbefragung wurde ein Ranking für diese Technologiebereiche hinsichtlich der Potenziale zur Einsparung von Energie durchgeführt. Dabei wurden im Bereich Kühlung und Klimatisierung von

den Experten die höchsten Einsparpotenziale gesehen (siehe Abbildung 4). Diese Einschätzung wurde in der zweiten Runde der Delphi-Befragung noch einmal bestätigt. Im direkten

Vergleich mit dem Bereich Architekturen, Management und Software sahen 63,8% der Befragten (n=69) die höchsten Energieeinsparpotenziale im Bereich Kühlung und Klimatisierung.

Sehr hohe Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz von Rechenzentren existieren bei der Klimatisierung und beim Management der IT.

Wie erwarten Sie, dass sich der Energiebedarf von Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 entwickelt?

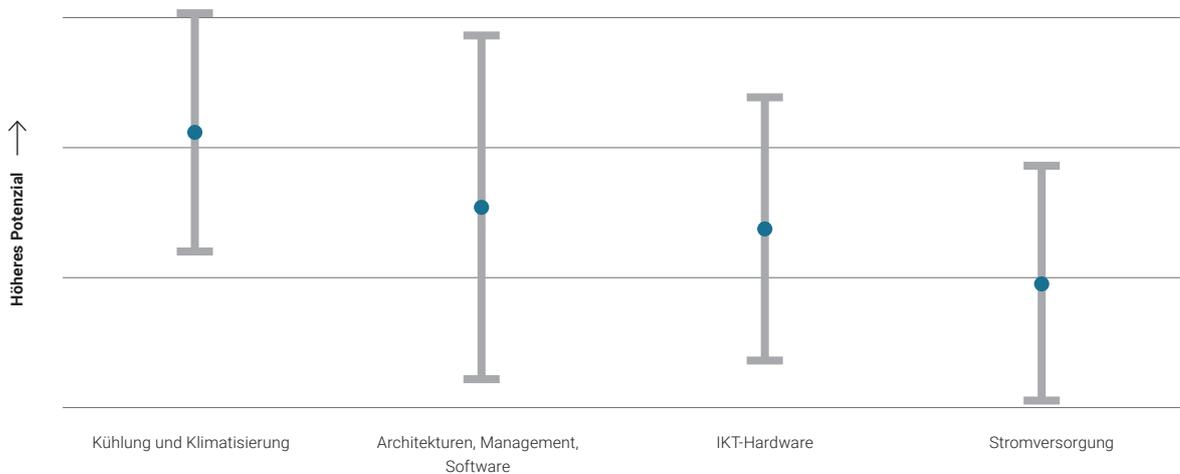


Abbildung 4: Delphi-Befragung – Einschätzung der Einsparpotenziale von Treibhausgasemissionen in den Technologiebereichen

In den vier Technologiebereichen gibt es jeweils eine Vielzahl an Technologien, die einen Beitrag zur Senkung des Energiebedarfs und damit zur Absenkung der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren leisten können. Der Einfluss von Energiebedarfs-senkungen auf die Treibhausgasemissionen ist in Ländern mit verhältnismäßig hohen CO₂-Emissionen in der Stromerzeugung wie z.B. in Deutschland besonders groß.

Im Rahmen dieser Untersuchung können allein 70 aussichtsreiche Technologien vorgestellt und eingeordnet werden – von der freien Kühlung von Rechenzentren bis hin zu lastaptiven Rechenzentren, in denen die Rechenlast zeitlich so verschoben wird, dass sie dem Stromangebot angepasst werden kann.³

³ Eine kurze Darstellung der 70 Technologien findet sich im Anhang (Glossar).

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Es gibt eine Vielzahl von technologischen Potenzialen, den Betrieb von Rechenzentren künftig noch nachhaltiger zu realisieren.

Die Darstellung dieser Technologien erfolgt im Folgenden mit Hilfe von Borderstep-Technologiepartnern. Dieses Instrument wurde am Borderstep Institut zur Darstellung von Energieeffizienztechnologien für Rechenzentren im Jahr 2016 erarbeitet und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Die Potenziale der verschiedenen Technologien wurden

in den vergangenen Jahren in einer Vielzahl von Expertenworkshops und -befragungen analysiert und bewertet (Hintemann & Hinterholzer, 2018a, 2018b). Auch im Rahmen der Delphi-Befragung wurden gezielt Einschätzungen zu den Technologien abgefragt.

Im Bereich **Kühlung und Klimatisierung** wurden für vier Technologien besonders hohe Potentiale zur Energieeinsparung und damit auch zur Senkung der Treibhausgase identifiziert. Diese Technologien sind in Abbildung 5 gelb markiert.

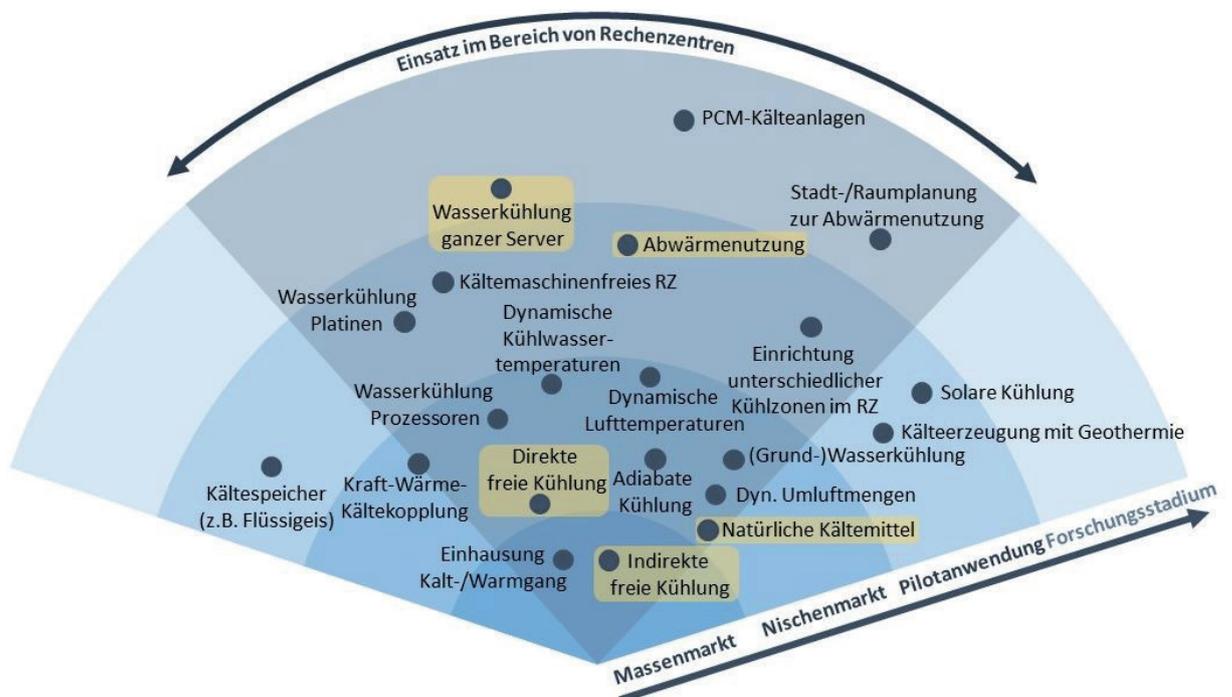


Abbildung 5: Borderstep-Technologieradar Kühlung und Klimatisierung

In diesem Bereich ist insbesondere die **Abwärmenutzung** von hoher Bedeutung, da die entstehende Wärme in vielen Rechenzentren in Europa und in Deutschland meist noch ungenutzt an die Umgebung abgeführt wird. Das Thema wird deshalb in einem eigenen Kapitel aufgegriffen (Kapitel 4).

In direktem Zusammenhang mit der Nutzung von Abwärme steht die **Wasserkühlung ganzer Server**. Dabei wird die gesamte Wärme aller Serverkomponenten über Wasser abgeführt. Dieser technologische Ansatz weist insbesondere zwei Vorteile auf. Einerseits ermöglicht Wasser eine sehr energieeffi-

ziente Entwärmung der Komponenten bei geringer Durchströmung gegenüber großen Umluftmengen. Durch die höhere Wärmekapazität und Dichte von Wasser müssen wesentlich kleinere Volumenströme für die Kühlung bewegt werden und die für den Wärmetransport benötigte Energie ist um Größenordnungen geringer. Damit sind Energieeinsparungen im Bereich der Kühlung in der Größenordnung von 70% möglich. Andererseits ermöglicht das Medium Wasser auch höhere Abwärmertemperaturen, womit die Abwärmenutzung besonders attraktiv wird (Cloud&Heat, 2019).

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Ebenso im Bereich der Kühlung wurde die bereits weit eingeführte **direkte freie Kühlung** sowie die **indirekte freie Kühlung** als Effizienztechnologie identifiziert, mit deren Hilfe die Energieeffizienz der Rechenzentren auch in Zukunft noch weiter verbessert werden kann. Hierbei erfolgt die Kühlung entweder über eine gereinigte Außenluft (direkte freie Kühlung) oder indirekt mit einem Zwischenmedium, das entweder flüssig (z.B. Wasser) oder bewegt (z.B. Kyoto-Rad) die Wärme vom Rechenzentrum an die Außenluft abgibt. Die Technologien ermöglichen es, im Rechenzentrum ganz oder teilweise auf eine ener-

gieintensive Kälteerzeugung mit Kompressionskälteanlagen zu verzichten. Gegenüber einer ganzjährigen Kühlung eines Rechenzentrums mit Kompressionskältemaschinen ermöglichen Freikühltechnologien Kühlereinsparungen in der Größenordnung von 40 bis 90% - abhängig von den klimatischen und technischen Rahmenbedingungen.

Im Bereich der **Energieversorgung** werden besonders für zwei Technologien hohe Potentiale zur Einsparung von Energie und CO₂ im Rechenzentrum erwartet (Abbildung 6).

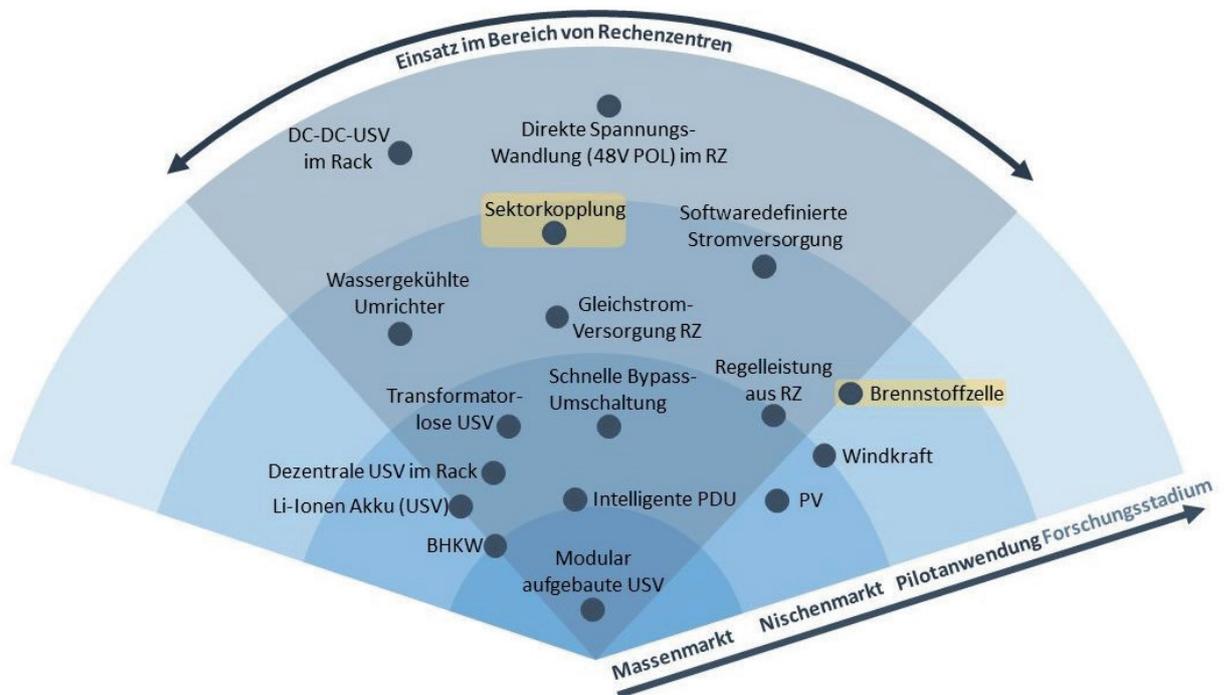


Abbildung 6: Borderstep-Technologieradar Energieversorgung

Einerseits stellen **Brennstoffzellen** eine interessante Möglichkeit dar, um die bisher für die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) üblichen Dieselaggregate durch einen abgasarmen bzw. im Fall von Wasserstoff abgasfreien Stromerzeuger zu ersetzen. Auch in Regionen mit sehr stabilen Stromnetzen wie Deutschland werden standardmäßig Testläufe der Notstromversorgung durchgeführt, um deren Funktionsfähigkeit zu testen. Dabei werden nicht unerhebliche Mengen an Diesel verbrannt und Geräuschemissionen erzeugt, weshalb eine Brennstoffzelle hier eine saubere und leise Alternative darstellen kann.

Mit Hilfe von Technologien der **Sektorkopplung** und der ganzheitlichen Integration von Rechenzentren in die verschiedenen Energiesektoren können diverse Synergien für die Dekarbonisierung der Energieversorgung erschlossen werden. Im Stromsektor können insbesondere Lastadaptivität sowie Regelleistung z.B. aus den vorhandenen Notstromaggregaten oder den USV-Batterien genutzt werden. So stehen in Deutschland insgesamt mehr als 700 MW an Stromerzeugungsleistung in Rechenzentren zur Verfügung, die zur Stabilisierung des Stromnetzes genutzt werden könnten (Hintemann & Clausen, 2018a). Auch im

HEISSWASSERKÜHLUNG IM EUROTHEUM FRANKFURT

Heißwasserkühlung macht Abwärmenutzung wirtschaftlich



Nachhaltigkeitsaspekte

- Effiziente direkte Kühlung mit Heißwasser
- Reduzierung der Stromaufnahme der Server um ca. 10% durch Verzicht auf Serverventilatoren
- Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums zur Beheizung des Gebäudekomplexes
- Bedarfsgerechte und energieeffiziente Datenverarbeitung durch softwaregestützte Steuerung
- Reaktivierung und Modernisierung der vorhandenen Rechenzentrumsinfrastruktur

Das Dresdener Unternehmen Cloud&Heat Technologies hat im Jahr 2018 ein Cloud-Rechenzentrum im Gebäudekomplex Eurotheum in den Räumen des ehemaligen Rechenzentrums der EZB in Frankfurt/Main in Betrieb genommen. Die bestehende Rechenzentrumsinfrastruktur wurde in nur sechs Monaten umgebaut. Dabei wurde von luftgekühlten Serversystemen auf Heißwasserdirektkühlung umgestellt. Dies ermöglicht es, auch unter den in Deutschland schwierigen Rahmenbedingungen die Abwärme des Rechenzentrums ökologisch und ökonomisch attraktiv zu nutzen. Während bei klassisch luftgekühlten Systemen meist nur ein Temperaturniveau von 30 bis 35°C zur Verfügung steht, liefert die Cloud&Heat-Lösung am Serverausgang Heißwasser mit 60°C.

Dank eines wasserbasierten Direktkühlsystems können ca. 70 % der Abwärme direkt vor Ort zum Beheizen der ansässigen Büro- und Konferenzräume, Hotellerie und Gastronomie genutzt werden. CTO Dr. Jens Struckmeier erläutert die ökonomischen Vorteile der Lösung: „Durch Einsatz der nachhaltigen Cloud&Heat-Technologie können wir im Eurotheum jährlich 40% der Energiekosten einsparen“. Die sehr effiziente Heißwasserdirektkühlung des Rechenzentrums spart gegenüber konventioneller Luftkühlung etwa 190.000 € im Jahr an Kühlkosten. Zusätzlich ermöglicht es die Abwärmenutzung 65.000 € pro Jahr an Heizkosten zu sparen.

Mit der Open-Source-Software KRAKE steuert Cloud&Heat zudem eine Softwarelösung bei, mit deren Hilfe sich Daten in verteilten Infrastrukturen immer genau an dem Standort verarbeiten lassen, wo ihre Verarbeitung entweder am energieeffizientesten ist – etwa, weil der Strom aus Windkraftanlagen bezogen wird und vor Ort besonders starker Wind weht – oder wo der Bedarf an (Ab)Wärme am höchsten ist.



„Mit unserem Rechenzentrum im Eurotheum sparen wir pro Jahr über 700 Tonnen CO₂“

Dr. Jens Struckmeier

CTO & Founder Cloud & Heat Technologies GmbH

Daten & Fakten

- Art des Rechenzentrums: Cloud Rechenzentrum
- IT-Fläche: 50 m² plus 25 m² (Ausbaustufe)
- Baujahr: 1999, Modernisierung: 2017/18
- PUE: 1,27 (alter PUE: 1,92)
- Leistung pro Rack: 6 bis 100 kW

Weitere Informationen:

Whitepaper: https://www.cloudandheat.com/wp-content/uploads/2020/02/2019-12-16_WhitepaperEinsparpotenzial.pdf
Fotos: Cloud&Heat Technologies

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

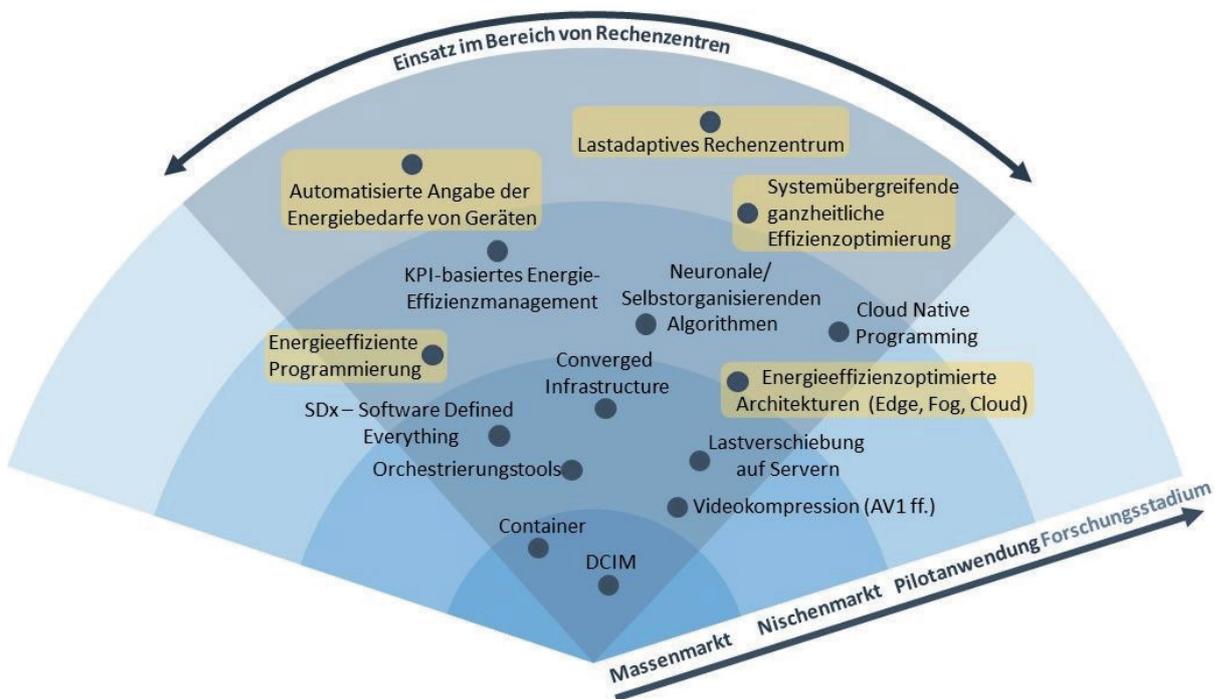


Abbildung 7: Borderstep-Technologieradar Architekturen und Management

Wärmesektor stellen Rechenzentren eine mögliche Energiequelle dar (siehe Kapitel 4).

Im Bereich **Architekturen und Management** wurden gleich fünf Technologien mit besonders hohem Potenzial für die Reduktion des Energiebedarfs und damit auch der CO₂-Emissionen identifiziert (Abbildung 7).

Lastadaptive Rechenzentren können Teile ihrer Rechenlast zeitlich verschieben oder virtualisierte Workload auf andere Rechenzentren verschieben. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik sinnvoll, da diese Energieträger nur entsprechend Sonneneinstrahlung oder Windstärke verfügbar sind und eine Speicherung von Elektrizität nur unter hohen Kosten möglich ist. Eine Verschiebung von Lasten ist schon heute möglich, aber bislang nur begrenzt technisch und wirtschaftlich sinnvoll (Hanstein, 2014). Mit dem Ausbau der Telekommunikationsnetze und der breiten Einführung von Edge Rechenzentren wird erwartet, dass in 10 Jahren ein variables Verschieben von Cloud-Arbeitslasten an Standorte mit fossilfreier Energie möglich ist (Minde & Ostler, 2020).

Die **automatisierte Angabe der Energiebedarfe von Geräten** kann dazu dienen, Energieverbrauch von Einzelkomponenten im Rechenzentrum besser zu erfassen und zu monitorieren. Sie stellt damit die Basis dar, um innerhalb des Rechenzentrums unnötige Verbräuche zu eliminieren.

Sehr grundlegend für den Bedarf an IT-Ressourcen ist die **Programmierung von Software**. Je nachdem, wie effizient Code die Anforderungen ausführt, desto geringer ist der Bedarf an Hardware um diese zu betreiben. Insbesondere im Bereich von Anwendungen auf mobilen Endgeräten werden Softwareprodukte heute bereits oft schon sehr energieeffizient programmiert. Im Bereich der Anwendungssoftware in Rechenzentren werden jedoch noch hohe Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz gesehen. Durch effiziente Algorithmen sowie eine bedarfsgerechte und auf die vorhandene Hardware optimierte Programmierung der Software werden Energieeinsparpotenziale von 10 bis über 30% erwartet (Hilty et al., 2015; Pinto & Castor, 2017).

Energieeffiziente Architekturen stellen eine Möglichkeit dar, die Bereitstellung und Aufteilung von Daten bzw. Diensten in verteilten IT-Strukturen zu

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

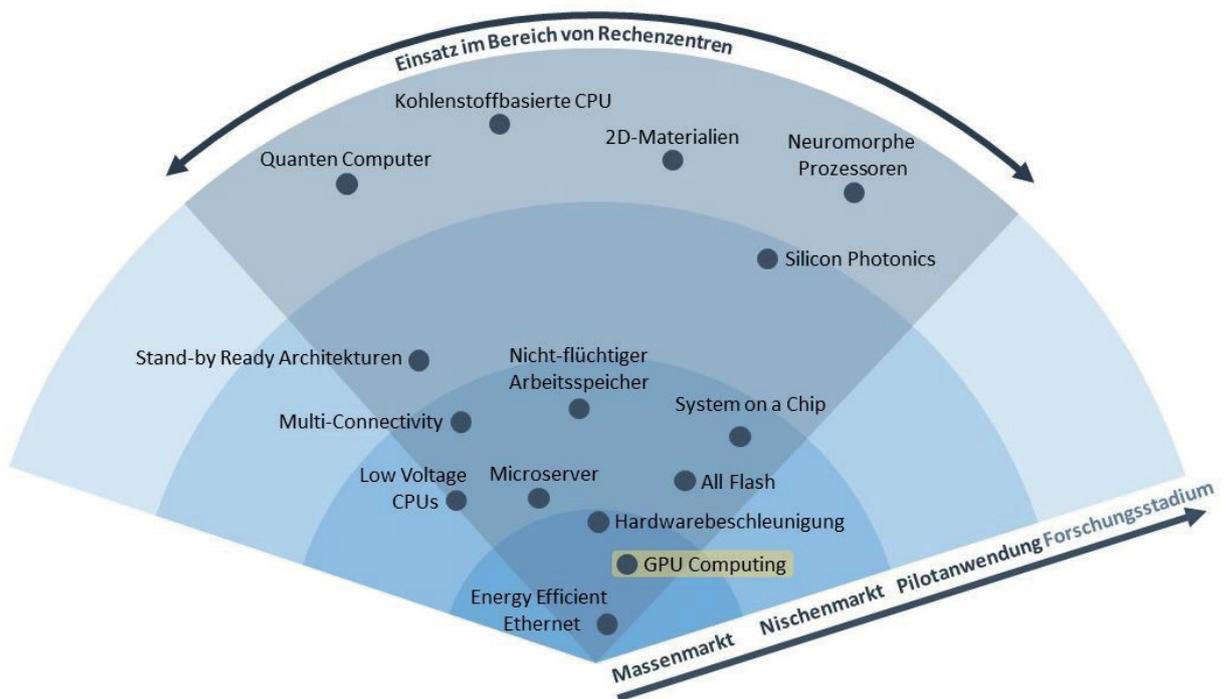


Abbildung 8: Borderstep-Technologieradar IKT-Hardware

optimieren. Mit den zunehmenden Anforderungen an die Latenz von Anwendungen z.B. im Bereich Industrie 4.0, Smart City oder autonomen Fahren kommt verteilten Rechenzentrumsstrukturen (Edge Computing, Fog Computing) eine zunehmende Bedeutung zu. Größere Teile der Datenverarbeitung findet dabei am Rand des Netzwerkes statt (Luber & Karlstetter, 2018). Für die Optimierung der Aufteilung der Daten und Dienste auf diese verteilten Strukturen können neben Latenzkriterien auch Kriterien der Energieeffizienz Berücksichtigung finden (Jalali, Hinton, Ayre, Alpcan & Tucker, 2016). Durch optimierte Architekturen und Managementlösungen kann die Entscheidung, an welcher Stelle welche Prozesse durchgeführt werden, an den notwendigen Energiebedarfen der Datenverarbeitung, -übertragung und -speicherung ausgerichtet werden. Auch eine Verteilung der Daten und Dienste, je nach Angebot an regenerativ erzeugtem Strom im Netz oder nach Bedarf an Abwärme, ist mit diesem Ansatz möglich (siehe Best Practice Beispiel Heißwasserkühlung im Eurotheum Frankfurt).

Bei der **systemübergreifenden ganzheitlichen Effizienzoptimierung** wird ein Ansatz vergleichbar mit dem Enterprise Resource Planning (ERP) verfolgt,

bei dem geschäftsprozessbezogen die verwendeten Ressourcen meist in Echtzeit analysiert und gesteuert werden. Der Einsatz von ERP in IKT-Infrastruktur kann eine hohe Auslastung der IKT gewährleisten.

Im Bereich der **IKT Hardware** wurde insbesondere das GPU⁴ Computing als Technologie identifiziert, bei der hohe Effizienzpotenziale erwartet werden. Hier bestehen für spezielle Anwendungen wie z.B. im Bereich künstlicher Intelligenz durch die speziellen Architekturen hohe Geschwindigkeitsvorteile bei der Berechnung. Gegenüber klassischen CPUs werden Leistungssteigerungen um den Faktor 30 und mehr angegeben (IBM, 2019; Martins & Kobylinska, 2018).

Jede Kilowattstunde, die die IT nicht benötigt, muss auch nicht in Form von Wärme durch die Kühlung abtransportiert werden und in der Stromversorgung abgesichert werden.

⁴ GPU steht für graphics processing unit, englisch für Grafikprozessor. Häufig werden rechenintensive Anwendungen auf leistungsstarken GPUs berechnet, die zum Teil weitaus höhere Rechenleistung aufweisen als Standard CPUs.

2 Technologische Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zur Steigerung der Nachhaltigkeit von Rechenzentren eine Vielzahl von innovativen Technologien zur Verfügung stehen bzw. entwickelt werden. Es ist davon auszugehen, dass es auch in Zukunft gelingen wird, die Energieeffizienz in den Rechenzentren weiter deutlich zu steigern. Bei der Realisierung der Effizienzpotenziale ist allerdings zwischen neu zu bauenden und vorhandenen Rechenzentren zu unterscheiden.

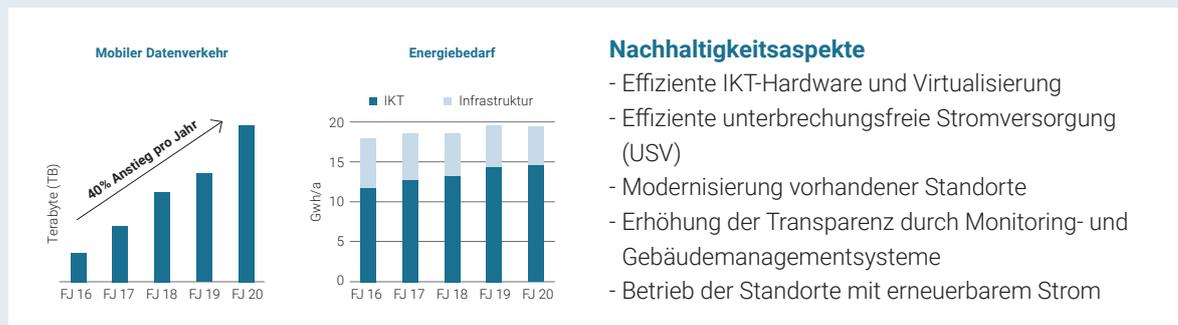
Bei **neu zu bauenden Rechenzentren** werden heute bereits viele der am Markt verfügbaren innovativen Technologien eingesetzt (siehe auch Best Practices Beispiele), so dass eine sehr hohe Energieeffizienz realisiert werden kann. Mit dem Blick auf eine lange Lebensdauer des Gebäudes und der gebäudetechnischen Infrastruktur (>10 Jahre) sollten in diesem Bereich die technologische Weichen auf einen lang-

fristig nachhaltigen Betrieb gestellt werden. Dies gilt nahezu für alle zuvor gezeigten Infrastruktur-Technologien im Bereich der Kühlung und Klimatisierung sowie der elektrischen Energieversorgung.

Für **Rechenzentren im Bestand** bzw. im laufenden Betrieb stellen sich größere Herausforderungen, um mit Hilfe neuer Technologien einen energieeffizienten Betrieb der Infrastruktur zu ermöglichen. Der Ersatz vorhandener Lösungen ist oft nicht problemlos im laufenden Betrieb möglich und auch aus Nachhaltigkeitsgründen oft nicht wünschenswert. Dennoch sollte insbesondere bei der Erneuerung von IT-Hardware und bei der Einführung von Management-Tools ein großes Augenmerk auf möglichst hohe Effizienz gelegt werden. Jede Kilowattstunde, die die IT nicht benötigt, muss auch nicht in Form von Wärme durch Kühlung abtransportiert und in der Stromversorgung abgesichert werden.

ENERGIEOPTIMIERUNG VON VODAFONE PORTUGAL

Energieeffizienz von Telekommunikations-Standorten



Nachhaltigkeitsaspekte

- Effiziente IKT-Hardware und Virtualisierung
- Effiziente unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
- Modernisierung vorhandener Standorte
- Erhöhung der Transparenz durch Monitoring- und Gebäudemanagementsysteme
- Betrieb der Standorte mit erneuerbarem Strom

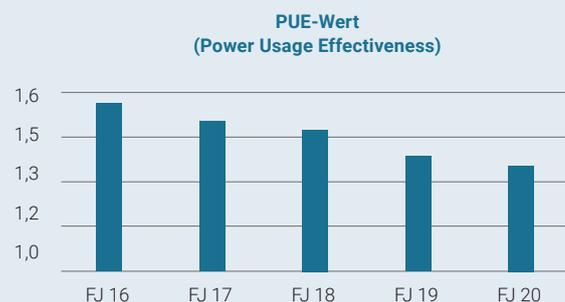
Vodafone betreibt Mobil- und Festnetze in mehreren EU Ländern. Der Betrieb ist auf Rechenzentren und Telekommunikationszentralen angewiesen, die regional verteilt sind, um die erforderliche Flächenabdeckung und Redundanz (z.B. bei Erdbeben) zu gewährleisten. Es stellt eine große Herausforderung dar, diese gewachsenen Standorte energetisch zu optimieren, da sich die baulichen Gegebenheiten von diesen Gebäuden deutlich von modernen Rechenzentren unterscheiden. Gleichzeitig erfordert der deutliche Anstieg des Datenverkehrs um etwa 40% pro Jahr Kapazitätsanpassungen, die durch neue leistungsstarke Hardware bereitgestellt wird.

Da eine Schließung solcher Standorte und die Verlegung der Hardware in moderne effiziente Rechenzentren technisch und wirtschaftlich nur in wenigen Fällen vertretbar ist, wurde im Finanzjahr (FJ) 2015/16 (April 2015 bis März 2016) ein mehrjähriges Optimierungsprogramm gestartet. Mit den folgenden Maßnahmen konnte der PUE-Wert von 1,57 auf heute 1,36 reduziert werden:

- Monitoring von Energiedaten und PUE gemäß Green Grid und EN 50600 Standards.
- Modernisierung der Kühlanlagen mit direkter und indirekter freier Kühlung, und hocheffizienten Kältemaschinen, Optimierung des Rechenzentrumslayouts und der Luftströme.
- Installation von Gebäudemanagement und modernen Steuerungsanlagen, Optimierung des Temperaturprofils und der Sollwerte.
- Einsatz von hocheffizienten modularen USV-Systemen und Abschaltung von -48V DC Gleichrichtern.

Trotz Anstieg des mobilen Datenverkehrs um den Faktor 5.1 blieb der Energiebedarf mit knapp 20 GWh/Jahr nahezu konstant. Der erreichte PUE-Wert von 1,36 ist ein ausgezeichnetes Ergebnis für Standorte dieses Alters, der Gebäudeart sowie der relativ hohen Außentemperaturen in Portugal.

Vodafone nutzt die gewonnenen Erkenntnisse für weitere Optimierungsprojekte in Portugal und auch in anderen Märkten. Ab Juli 2021 werden alle europäischen Standorte mit erneuerbarem Strom versorgt. Ziel von Vodafone ist es, alle Standorte weltweit energetisch zu optimieren und die CO₂-Emissionen durch den Einsatz erneuerbarer Energiequellen zu minimieren.



Daten & Fakten

- Art der Rechenzentren: Telekommunikationsstandorte
- 12 Standorte, 30 bis 500 kW Leistungsaufnahme
- Baujahr: vor 2010, Modernisierung ab 2015
- PUE: Ø 1,36, vor 2015: Ø 1,57

Weitere Informationen:

<https://www.vodafone.com/our-purpose/planet/reducing-emissions-in-our-operations>

3 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR RECHENZENTREN IN DEUTSCHLAND UND EUROPA

Kapitel 3 befasst sich mit den politischen, regulatorischen und sonstigen Rahmenbedingungen für Rechenzentren, die einen Einfluss auf deren Nachhaltigkeit haben. Dazu wird zum einen betrachtet, an welchen Stellen staatliches Handeln zu einer Förderung des Einsatzes neuer Technologien führen kann. Zum anderen werden regulatorische und sonstige Rahmenbedingungen auf europäischer und deutscher Ebene analysiert, bei denen Branchenvertreter Handlungsbedarf sehen.

Wie Kapitel 2 gezeigt hat, gibt es eine Vielzahl von Technologien, mit denen Rechenzentren in Zukunft noch energieeffizienter und nachhaltiger betrieben werden können. Ein Großteil dieser Lösungen tragen dazu bei, dass nicht nur die Energieeffizienz, sondern auch die Wirtschaftlichkeit des Rechenzentrumsbetriebs gesteigert werden kann. Aus der Forschung zur Verbreitung von Innovationen (Diffusionsforschung) ist bekannt, dass effizienzsteigernde Innovationen im Bereich der Investitionsgüter, die von etablierten Anbietern in den Markt gebracht werden, eine hohe Diffusionsdynamik entfalten und schon nach kurzer Zeit hohe Marktanteile erreichen (Fichter & Clausen, 2013). Zu diesem Innovationstyp zählen die meisten der im Umfeld von Rechenzentren neu entwickelten Lösungen. Eine Unterstützung der Diffusion solcher Innovationen durch staatliche Maßnahmen ist daher nur selten notwendig. Finanzielle Zuschüsse können sich bei diesen Technologien daher zumeist auf die generelle Förderung von Forschung und Entwicklung zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz fokussieren. Bei einzelnen innovativen Technologien kann eine Unterstützung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben den Markteintritt erleichtern; für die breite Anwendung von Technologien in der Wirtschaft sollte der Fokus hauptsächlich auf dem Abbau von bürokratischen Hürden liegen.

Wie die Delphi-Befragung zeigt, gibt es aber dennoch bestimmte Technologiebereiche, in denen

ein konkretes staatliches Handeln als erforderlich angesehen wird (Abbildung 9). Außerdem gibt es in der Rechenzentrumsbranche Diffusionshemmnisse, die einer Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz entgegenwirken (Hintemann & Clausen, 2018a, 2018b). Zum einen stellt die Modernisierung existierender Rechenzentren (Retrofit) hohe Herausforderungen. Nicht unbedingt notwendige Modernisierungsmaßnahmen werden häufig unterlassen, um einen störungsfreien Betrieb und die Verfügbarkeit nicht zu gefährden („Never touch a running system“). Gerade bei Bestandsrechenzentren werden jedoch oft noch hohe Optimierungspotenziale gesehen, Energieeinsparungen von bis zu 50% werden als realistisch angesehen (Gröger & Köhn, 2016).

Teilweise wird die energetische Modernisierung von Rechenzentren auch durch die Anforderungen der Kunden erschwert. So wird beispielsweise die energetische Modernisierung von Rechenzentren im laufenden Betrieb als vermeidbares Risiko erachtet, weshalb entsprechende Maßnahmen kritisch bewertet werden. Auch kundenseitige Anforderungen hinsichtlich niedriger Temperaturen in Rechenzentren behindern oft den energieeffizienten Betrieb von Rechenzentren. Bei Colocation-Rechenzentren lassen sich Kunden häufiger sehr hohe Leistungen an Stromversorgung und Kühlung vertraglich zusichern, die aber nur teilweise abgerufen werden (Hintemann & Clausen, 2018b). Damit möchten die Kunden sich die Flexibilität ermöglichen, um im Bedarfsfall einen zügigen Ausbau der IT-Hardware vornehmen zu können. Diese Flexibilität war beispielsweise während des Corona-Lockdowns von Vorteil.

Die energetische Modernisierung von Bestandsrechenzentren konfrontiert die Betreibenden mit sehr hohen ökonomischen und organisatorischen Herausforderungen.

WINDCORES

Rechenzentren in vorhandenen Windenergieanlagen



Nachhaltigkeitsaspekte

- Nutzung vorhandener Windkraftanlagen als Rechenzentrumsgebäude
- Elektrische Versorgung der Rechenzentren direkt aus Windkraft
- Reduktion der Stromeinspeisung kann Netzengpässe reduzieren
- Skalierbare, redundante und verteilte Rechenzentrumsarchitektur

Die WestfalenWIND IT GmbH & Co. KG hat im Jahr 2017 unter der Marke „windCORES“ begonnen, Windkraftanlagen als Rechenzentrumsgebäude zu nutzen. So können die bereits vorhandenen zugangssicheren Räume einer nachhaltigen Zweitnutzung zugeführt werden.

Das windCORES-Konzept ermöglicht es, den Windstrom direkt dort zu nutzen, wo er produziert wird. Damit steht den Rechenzentren nicht nur nachhaltig erzeugter Strom zur Verfügung, es wird auch vermieden, dass unnötigerweise Windkraftanlagen abgeregelt werden müssen. Im Jahr 2019 konnten in Deutschland aufgrund von Abregelung insgesamt 5,4 TWh an regenerativ erzeugten Strom nicht genutzt werden, um das Stromnetz nicht zu überlasten. Diese ungenutzte Energiemenge entspricht in etwa einem Drittel der jährlich in Deutschland von Rechenzentren benötigten Energie.

Die windCORES werden sowohl als Colocation-Flächen als auch im Rahmen von Managed Services genutzt. Pro Rack können Leistungsaufnahmen von bis zu 90 kW realisiert werden. Daher eignet sich das Konzept insbesondere für Anwendungen im Bereich des High Performance Computings wie Klimasimulationen oder aerodynamische Flussberechnungen. Die Standorte sind direkt an den Rechenzentrums-knoten DE-CIX in Frankfurt angebunden. windCORES ermöglicht aufgrund der großen Zahl der schon vorhandenen Gebäude eine schnelle Inbetriebnahme neuer Rechenzentren und

eine dezentrale Verteilung von Rechenlast. Die Direktversorgung mit Strom hat weiterhin den Vorteil, dass die WestfalenWIND IT ihren Kunden günstige Strompreise bieten kann.

windCORES bietet aktuell Rackspace für Systemhäuser, Managed Service Provider sowie einen international tätigen Streaming Dienstleister. Die vielfältigen Anwendungsgebiete der Kunden unterstreichen die Flexibilität der Infrastruktur.



„Wir stärken die nachhaltige Versorgung der Digitalisierung mit Energie. Dafür rekombinieren wir Windenergieanlagen mit Rechenzentren in einem innovativen und wirtschaftlichen Modell“

Dr. Gunnar Schomaker
Ideengeber und Initiator von
windCORES

Daten & Fakten

- Art des Rechenzentrums: Managed Services und Colocation-Rechenzentrum
- IT-Fläche: 100 m² pro Windkraftanlage (insgesamt 100 Windkraftanlagen)
- Max. Leistung: 600 kW pro Windkraftanlage
- Baujahr: ab 2017
- PUE: < 1,3

Weitere Informationen: <https://www.windcores.de/>

3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa

Die im Normalfall geringe Auslastung führt aber zu einem dazu, dass die vorhandenen Infrastrukturen im Teillastbetrieb nicht effizient betrieben werden können. Zum anderen müssen unnötige Ressourcen im Rechenzentrum und in den Stromnetzen bereitgehalten werden.

Im Folgenden wird dargestellt, wie und in welchen Bereichen eine Technologieförderung die Nachhaltigkeit von Rechenzentren weiter erhöhen würde. Außerdem werden ausgewählte regulatorische und sonstigen Rahmenbedingungen in Europa und Deutschland diskutiert.

Bei der **Technologieförderung** kann zwischen Forschungsförderung und der Förderung des Einsatzes energie- und ressourcenschonender Technologien unterschieden werden. Im Bereich der Forschung ist eine weitere allgemeine Förderung von neuen energie- und ressourcensparenden Technologien im Bereich der Informationstechnik und dem Betrieb von Rechenzentren sinnvoll. Insbesondere aufgrund der Grenzen der Miniaturisierung und dem damit zu erwartenden Ende des Moore'schen Gesetzes existiert

erheblicher Forschungsbedarf. Es ist notwendig, alternative Möglichkeiten zu erforschen und zu entwickeln, die es ermöglichen auch künftig weiter die Effizienzfortschritte wie in der Vergangenheit zu realisieren. Mögliche technologische Lösungen können z.B. im Bereich 2D-Materialien, kohlenstoffbasierte Mikroelektronik, Quantencomputer, Silicon Photonics oder neuromorphe Prozessoren liegen. In diesen Technologiebereichen sind europäische Forschungseinrichtungen und Unternehmen international wettbewerbsfähig (Hintemann & Clausen, 2018a). Welche Lösungen künftig dazu beitragen können, die Nachhaltigkeit der Rechenzentren weiter zu erhöhen, ist noch ungeklärt. Auch hier besteht Forschungsbedarf. Die allgemeine Forschungsförderung sollte technologieoffen erfolgen und auch ganz neue und alternative Entwicklungslinien unterstützen.

Im Rahmen der Delphi-Untersuchung wurde ein konkreter Bedarf zur Förderung von Technologien insbesondere in energienahen Lösungen wie Abwärmenutzung aus Rechenzentren, Sektorkopplung, regenerative Energieversorgung von Rechenzentren, Nutzung von Rechenzentren als aktive Elemente

Politischer Handlungsbedarf in einzelnen Technologiebereichen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

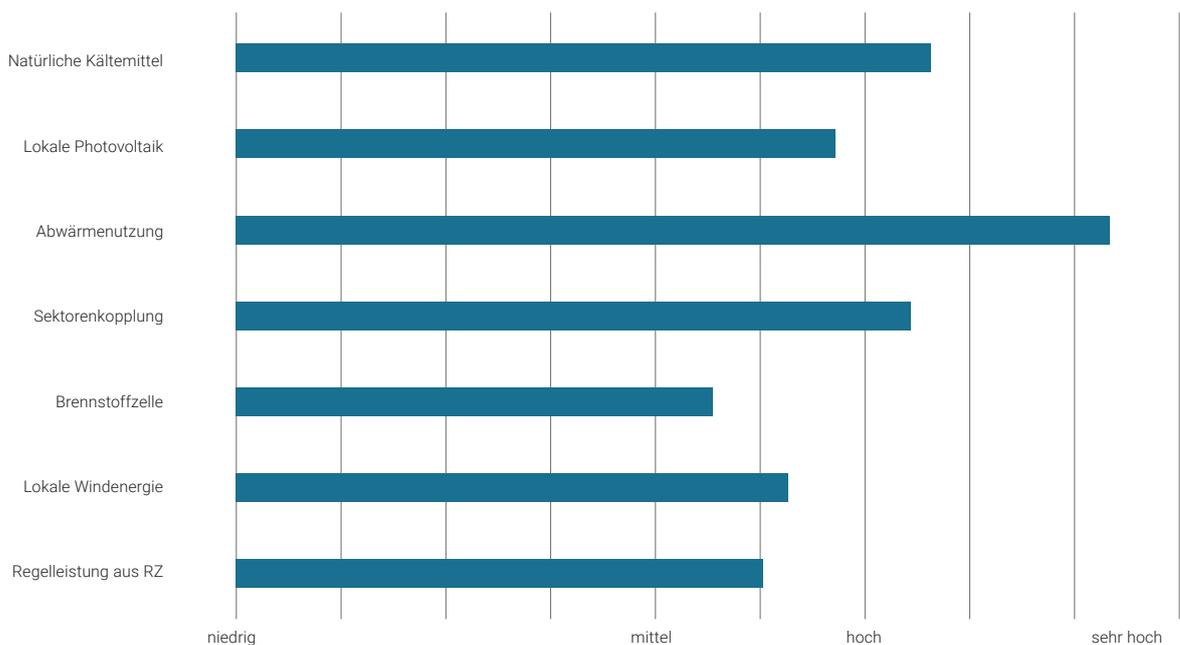


Abbildung 9: Technologiefelder, für die ein staatliches Handeln als erforderlich angesehen wird

3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa

im Energiesystem und im Bereich Brennstoffzellen identifiziert. Außerdem wurde staatlicher Handlungsbedarf bei der Entwicklung und dem Einsatz von natürlichen, weitgehend klimaneutralen Kältemitteln für Rechenzentren gesehen. Diese Fragestellungen sind alle von hoher Bedeutung, wenn der Betrieb von Rechenzentren künftig klimaschonend erfolgen soll. Die Spannweite der Ansätze, den Strombedarf der Rechenzentren klimaneutral zu stellen, ist groß. Die heute meist übliche Vorgehensweise, über entsprechende Verträge mit den Stromanbietern oder CO₂-Zertifikate Klimaneutralität herzustellen, wird teilweise als nicht ausreichend kritisiert (Reveman & Ostler, 2019, 2020). Ein tatsächlicher Betrieb von Rechenzentren mit regenerativ erzeugtem Strom müsste zumindest sicherstellen, dass die Anlagen zur Stromerzeugung speziell für die Rechenzentren errichtet wurden und dass der Strom auch zeitgleich zum Verbrauch erzeugt wird bzw. entsprechende Speicherkapazitäten vorhanden sind. Es wird bereits länger an entsprechenden Lösungen geforscht (Hintemann, Fichter & Schlitt, 2014; Ostler, 2020a). Google hat beispielsweise zugesagt, bis zum Jahr 2030 seinen Strombedarf rund um die Uhr (24/7) mit CO₂-frei erzeugtem Strom zu decken (Google, 2020). Solche Lösungen sind jedoch technisch meist sehr aufwändig und in der Breite aller Rechenzentren und ihrer Standorte nur schwer zu realisieren⁵. Auch aufgrund des steigenden Energiebedarfs der Rechenzentren und ihrer hohen Bedeutung für eine nachhaltige Wirtschaft und Gesellschaft ist daher eine gezielte Forschungsförderung zur 24/7-Versorgung von Rechenzentren mit CO₂-frei erzeugtem Strom wünschenswert.

Neben der Forschungsförderung ist auch die Förderung des Einsatzes von energie- und ressourceneffizienten Technologien wichtig. Dies gilt insbesondere bei der Modernisierung von Bestandsrechenzentren.

Staatliche Unterstützung wäre hier neben den bereits existierenden Programmen für Energieeffizienzberatungen und Investitionsförderungen durch entsprechende Kriterien in der öffentlichen Beschaffung möglich. Staatliche Institutionen auf Ebene von Bund, Länder und Gemeinden sind für mehr als 10% der gesamten Nachfrage nach Rechenzentrumsleistung in Deutschland verantwortlich (Hintemann, 2014). Damit können staatliche Institutionen eine deutlich sichtbare Vorbild- und Steuerungsfunktion bei der Formulierung von Nachhaltigkeitszielen einnehmen⁶. Auch rechenzentrumsspezifische Pilot- und Leuchtturmprojekte sowie Reallabore können die Durchsetzung neuer nachhaltiger technologischer Ansätze im Rechenzentren fördern.

Die gezielte Berücksichtigung von ökologischen Aspekten in öffentlichen Ausschreibungen stellt einen mächtigen Hebel für die Diffusion neuer Effizienztechnologien dar.

In Hinsicht auf die Rahmenbedingungen für nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb auf europäischer Ebene wurden in den im Rahmen der Studie durchgeführten Interviews insbesondere die Themen Green Deal/Digital-Strategie, Ökodesign, GAIA-X und die Energiesteuerrichtlinie diskutiert. Die wesentlichen Ergebnisse der Interviews werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Der **Green Deal** der Europäischen Union adressiert die Themen Klimawandel und Umweltzerstörung, die eine existenzielle Bedrohungen für Europa und die Welt darstellen. Für Europa soll eine neue Wachstumsstrategie entwickelt werden, die einen Übergang zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft ermöglicht. Bis 2050 sollen keine Netto-treibhausgasemissionen mehr freigesetzt werden und das Wirtschaftswachstum soll von der Ressourcennutzung abgekoppelt werden. Der europäische Green Deal stellt den Fahrplan für eine solche nachhaltige EU-Wirtschaft (European Commission, 2019). Gemäß einer Mitteilung der EU-Kommission zur Gestaltung der digitalen Zukunft Europas (EU Kommission, 2020) ist vorgesehen, dass Rechenzentren und Telekommunikationsnetze bis zu Jahr 2030 klimaneutral werden. In den Interviews mit Vertretern der Rechenzent-

⁵ An Standorten mit viel Strom Wasserkraft oder Kernenergie ist bereits heute ein 24/7-Betrieb von Rechenzentren mit CO₂-frei erzeugtem Strom möglich. An vielen anderen Standorten wie z.B. in Deutschland wird dies insbesondere für kleinere und lokale Rechenzentren auch in den kommenden zehn Jahren kaum realisierbar sein.

⁶ Zur Unterstützung bei der umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung von Rechenzentrumsdienstleistungen gibt es Hilfestellungen vom Umweltbundesamt (Gröger & Köhn, 2016) und von der Europäischen Kommission (European Commission, 2020).

3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa

rumsbranche wurden die Zielsetzungen des Green Deals unterstützt. Auch die Notwendigkeit, die digitalen Infrastrukturen in Zukunft klimafreundlich zu gestalten, wurde betont. Wie genau „Klimaneutralität“ von digitalen Infrastrukturen definiert werden soll und wie der Weg dahin ausgestaltet werden soll, ist aber bislang nicht bekannt. Nach den aktuellen Planungen wird in Deutschland frühestens 2038 der Kohleausstieg stattgefunden haben. Somit stellen sich die Fragen, wie ein klimaneutraler Betrieb von digitalen Infrastrukturen in Deutschland realisiert werden kann und wie sich eine mögliche regulatorische Sonderbehandlung der digitalen Infrastrukturen auf ihre Entwicklung und auf die Energiemärkte auswirken kann.



„Rechenzentren erfahren in den letzten Jahren deutlich mehr Aufmerksamkeit in Öffentlichkeit und Politik. Um die Nachhaltigkeit von Rechenzentren weiter voranzubringen, fehlt aber oft noch die konkrete politische Unterstützung.“

Dr. Béla Waldhauser

Sprecher der Allianz zur Stärkung Digitaler Infrastrukturen in Deutschland

Die Interviewpartner betonten, dass die steigende Aufmerksamkeit für die Branche und ihre Bedeutung generell sehr begrüßt werde. Es sei aber dringend geboten, die Ausgestaltung möglicher Regulierungen und Fördermaßnahmen in enger Zusammenarbeit mit der Branche zu diskutieren.

Im Jahr 2019 wurde die EU-Verordnung (2019/424) zur Festlegung von **Ökodesign-Anforderungen an Server und Datenspeicher-**

produkte im Amtsblatt der EU veröffentlicht. In der Verordnung werden Anforderungen hinsichtlich Energie- und Ressourcenbedarf von Servern und Datenspeicherprodukte definiert. Erste Anforderungen gelten ab 1. März 2020. Im Einzelnen regelt die Verordnung die Wirkungsgrade von Netzteilen, die

Leistung im Leerlaufzustand, die Effizienz im Aktivzustand, die Austauschbarkeit von Komponenten, die Datenlöschung sowie Informationspflichten der Hersteller. Auch wenn Branchenvertreter bei einzelnen Anforderungen die konkrete Ausgestaltung für verbesserungsfähig halten, wird die Verordnung im Grundsatz begrüßt. Sie unterstütze die Betreibenden von Rechenzentren bei der Beschaffung von Server- und Speichersystemen. Allerdings wurde in den Interviews betont, dass die aktuellen Diskussionen um die Ausweitung der Ökodesign-Anforderungen für Rechenzentren bzw. Komponenten von Rechenzentren gemeinsam mit der Branche geführt werden müssen. Die Ökodesign-Richtlinie gelte für energieverbrauchsrelevante Produkte – Rechenzentren als Oberbegriff einer Vielzahl unterschiedlicher Konzepte und Geschäftsmodelle sollten nicht einer pauschalen Regulierung unterworfen werden. Für welche Produkte, die in digitalen Infrastrukturen eingesetzt werden, ein konkreter Handlungsbedarf hinsichtlich weiterer Ökodesign-Anforderungen besteht und wie diese ausgestaltet werden können, sollte gemeinsam mit der Branche erarbeitet werden.

Auf dem Digitalgipfel 2019 wurde der Öffentlichkeit das Projekt **GAIA-X** vorgestellt. In der Initiative, die von einem breiten Kreis aus Vertretern von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft getragen wird, soll eine leistungs- sowie wettbewerbsfähige, sichere und vertrauenswürdige Dateninfrastruktur für Europa entwickelt werden. Damit soll die europäische „Datensouveränität“ erhalten bleiben. GAIA-X soll zentrale und dezentrale digitale Infrastrukturen zu einem homogenen und nutzerfreundlichen System vernetzen und europäische Anforderungen an die digitalen Infrastrukturen definieren (BMW i & BMBF, 2019). Das Projekt GAIA-X wird auch von einem breiten Kreis von Unternehmen getragen, die Rechenzentren betreiben und nutzen. Aktuell arbeiten bereits mehr als 300 Anwender und Anbieter digitaler Infrastrukturen im Rahmen der Initiative zusammen. In den durchgeführten Interviews wurde das Projekt positiv bewertet und insbesondere die Chancen betont, mit GAIA-X auch europäische Standards hinsichtlich der Nachhaltigkeit von Rechenzentren zu formulieren und zu etablieren. Nationale Alleingänge solle es in Hinblick auf das Ziel eines europäisch digitalen Binnenmarktes gerade in diesem Zukunftsfeld nicht mehr geben.

3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa

Ein Thema, das im Rahmen der durchgeführten Interviews sehr häufig angesprochen wurde, ist die europäische **Energiesteuerrichtlinie** (2003/96/EG). Die aktuellen Regelungen führen dazu, dass die Steuern und Abgaben auf elektrischen Strom in Europa sehr unterschiedlich gestaltet sind. Dies führt dazu, dass die Strompreise für den Rechenzentrumsbetrieb in Europa stark variieren. In Abbildung 10 sind die typischen jährlichen Stromkosten für ein Rechenzentrum mit einer Stromleistungsaufnahme von durchschnittlich 5 Megawatt (MW) für das Jahr 2019 in verschiedenen europäischen Staaten dargestellt. Es wird deutlich, dass Rechenzentrumsbetreiber in Deutschland im Vergleich zu anderen Standorten deutlich höhere Stromkosten tragen. Die Unterschiede reichen bis zu einer Größenordnung von 5 Millionen Euro pro Jahr. Die hohen Strompreise für Rechenzentren sind in Deutschland insbesondere durch die EEG-Abgabe begründet, die im Jahr 2019 bei 6,405 ct/kWh lag, im Jahr 2020 stieg diese auf 6,756 ct/kWh. Neben der EEG-Umlage müssen Rechenzentrumsbetreiber in Deutschland die volle Stromsteuer von 2,05 ct/kWh bezahlen, da diese Branche nach dem Stromsteuergesetz keine Ermäßigung oder Erstattung der Stromsteuer erhält.

Im Gegensatz zu vielen anderen energieintensiven Unternehmen, z.B. im Bereich der Stahl- oder chemischen Industrie, sind Betreiber von Rechenzentren in Deutschland nicht von der EEG-Umlage befreit. Während in Deutschland also ein zusätzlicher Preisbestandteil die Stromkosten erhöht, reduzieren andere Staaten wie Norwegen oder Schweden die Steuern und Abgaben für Betreiber von großen Rechenzentren, um gezielt die Ansiedlung von Rechenzentren zu fördern (Hintemann & Clausen, 2018a; Ostler, 2018a). In den Interviews wurde betont, dass eine Angleichung der Strompreise innerhalb von Europa begrüßt werden würde, um vergleichbare Wettbewerbsbedingungen zu schaffen.

Hinsichtlich der Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene wurde in der Delphi-Befragung festgestellt, dass in Deutschland vor allem für Hyperscale-Rechenzentren deutlich schlechtere Bedingungen herrschen als in Skandinavien. Während 75% der Befragten angaben, dass Skandinavien ein Top-Standort für Hyperscale-Rechenzentren ist, waren nur 13% der Ansicht, dass das auch für Deutschland gelte. Für kleine und mittlere Rechenzentren wurde allerdings die Attraktivität von Deutschland und Skandinavien

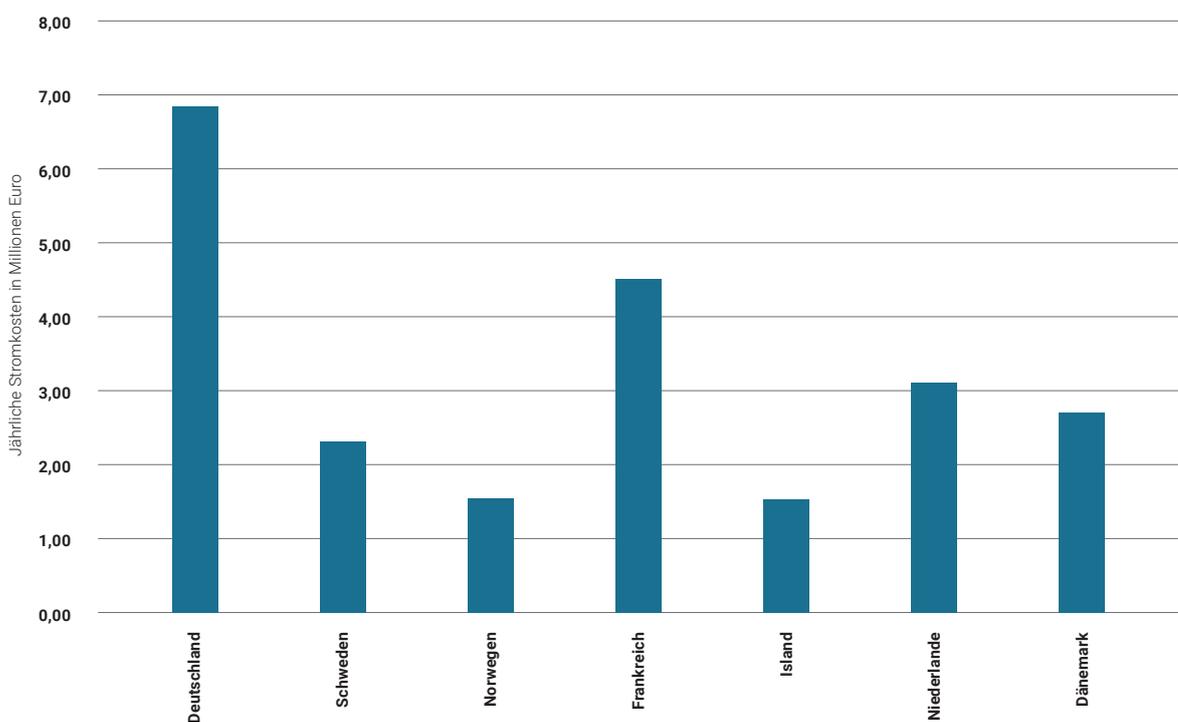


Abbildung 10: Energiekosten für ein Rechenzentrum mit 5 MW mittlerer Leistung im Jahr in Europa

gleich bewertet. Als wesentlicher Grund für diese Bewertung wurden in den Interviews die vergleichsweise sehr hohen Strompreise für Rechenzentren in Deutschland diskutiert. Eine Reduzierung oder Abschaffung der EEG-Umlage wurde von den Branchenvertretern als wichtig für den Standort Deutschland erachtet. Eine im Rahmen der Einführung der CO₂-Abgabe mögliche Reduzierung der EEG-Umlage wurde begrüßt (Huesmann, 2019). Weitere wesentliche Themen in den Interviews waren insbesondere die Digitalstrategie der Bundesregierung in Verbindung mit der Umweltpolitischen Digitalagenda und die Aktivitäten für freiwillige Umweltlabels wie dem Blauen Engel für Rechenzentren.



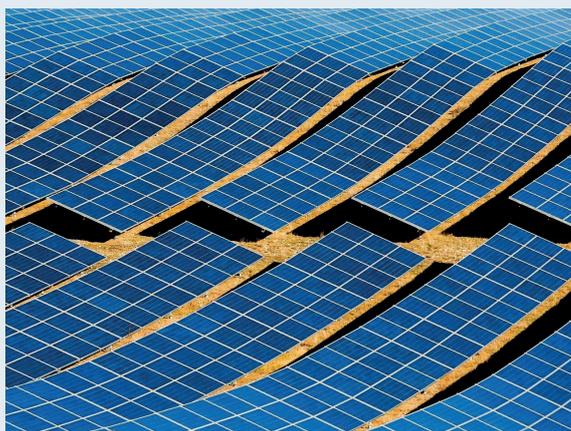
„Die Internetbranche begrüßt die umweltpolitische Digitalagenda als gelungenen Auftakt für weitere Diskussionen im Spannungsfeld der Nachhaltigkeit und Digitalisierung.“

Alexander Rabe

Geschäftsführer, eco –
Verband der Internetwirtschaft e.V.

PPA VON AWS ERMÖGLICHT PV-ANLAGE IN SEVILLA

IT-Branche ist wichtiger Käufer regenerativen Stroms



Nachhaltigkeitsaspekte

- Direkte Förderung von neuen regenerativen Erzeugungsanlagen
- Jährliche Erzeugung von 300.000 MWh regenerativen Stroms
- Planungs- und Finanzsicherheit über die Stromabnahme unterstützt den Investor
- Die PV-Module werden einachsiger nachgeführt, um den Ertrag zu steigern
- Spanien ist aufgrund der hohen Solareinstrahlung bestens geeignet für PV

Amazon Web Services (AWS) hat sich im „Climate Pledge“ das Ziel gesteckt, bis 2040 klimaneutral zu sein und die Energieversorgung bis 2024 auf 80% Erneuerbare Energie umzustellen. In diesem Rahmen wurde auch ein langfristiger Stromliefervertrag mit der Encavis AG über eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) mit einer Leistung von 149 Megawatt geschlossen.

Zum Stand Juni 2020 betreibt Amazon insgesamt 91 Projekte mit regenerativer Energieerzeugung. Insgesamt entspricht dies einer Erzeugungskapazität von 2.900 Megawatt und einer Stromerzeugung von 7,6 TWh pro Jahr.

Die Gesamtinvestition beträgt 158 Mio. €. Die Umsetzung wird ohne jegliche staatliche Förderung realisiert.

Regenerative Stromabnahmeverträge (Renewable Power Purchase Agreements – RE-PPA) sind Verträge zwischen einem Stromerzeuger und einem Käufer, die den langfristigen Kauf von Strom aus erneuerbaren Energieerzeugung regeln. Diese aus dem konventionellen Kraftwerksbetrieb bekannten Verträge sind besonders wirksame Instrumente um für Neuanlagen bzw. deren Investition eine Abnahme- und Preissicherheit darzustellen. Sie stoßen daher bei Investoren und Erzeugern von regenerativen

Anlagen sowie deren (Industrie-)Kunden auf großes Interesse und stellen für die weitere Entwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien eine vielversprechende Perspektive dar. Aufgrund der zunehmenden Bereitschaft von Unternehmen, klimaverträglich zu agieren, steigt die Nachfrage nach regenerativ erzeugter Elektrizität.

In Deutschland ist aus Sicht der Anlagenbetreiber die Vermarktung des Stromes im Rahmen der Einspeisevergütung attraktiver als durch ein PPA. Da die Einspeisevergütung jedoch laufend absinkt und ältere Anlagen aufgrund der maximalen Förderdauer aus dem EEG fallen, könnte die Stromvermarktung mittels PPA in Deutschland in den nächsten Jahren stark an Bedeutung gewinnen.

Daten & Fakten

- Cloud Anbieter AWS
- 149 MW PV-Anlagenleistung unter PPA-Vertrag
- Betreiber ist die Encavis AG aus Hamburg
- Gesamtumfang: 3.000 GWh über 10 Jahre
- Geplante Inbetriebnahme Q3 2020
- Vermittlung des PPAs durch Pexapark

Weitere Informationen:

<https://www.encavis.com/en/news/press-releases/press-release/encavis-ag-signs-power-contract-with-amazon/>

Mit der **Umsetzungsstrategie Digitalisierung** will die Bundesregierung den digitalen Wandel gestalten und Deutschland auf die Zukunft vorbereiten. Ziel ist es dabei auch, die ökologischen Potenziale der Digitalisierung zu entfalten. Die Strategie umfasst daher zunehmend Vorhaben mit Bezug zur Nachhaltigkeit von digitalen Infrastrukturen (Die Bundesregierung, 2020). Das Bundesumweltministerium hat im März 2020 seine **umweltpolitische Digitalagenda** vorgestellt. Im Rahmen dieser Agenda sind insbesondere die Einrichtung eines Rechenzentrums-Katasters und die Förderung der Energie- und Ressourceneffizienz von Rechenzentren im kommunalen Umfeld angekündigt worden. Außerdem sollen Rahmenbedingungen und Anreize gesetzt werden, um den ökologischen Fußabdruck der Digitalisierung zu begrenzen. Als ein wesentliches Instrument hierfür wird das Umweltzeichen Blauer Engel gesehen⁷.

Die interviewten Branchenvertreter begrüßten grundsätzlich die dargestellten Initiativen der Bundesregierung, sahen aber in einigen Punkten durchaus noch weiteren Bedarf zur Diskussion und Abstimmung zwischen Bundesregierung und Rechenzentrumsbranche. Der eco – Verband der Internetwirtschaft e.V. hat zur umweltpolitischen Digitalagenda ein Positionspapier erstellt (eco, 2020).

Grundsätzlich wäre aus Sicht der Branchenvertreter eine höhere Transparenz hinsichtlich des jeweils federführenden Ressorts der Bundesregierung und eine einheitliche Koordinierung der Aktivitäten im Themenfeld Nachhaltigkeit von Rechenzentren wünschenswert. Aufgrund der Vielzahl der in der Bundesregierung beteiligten Ressorts zu den Themenfeldern Digitalisierung und Energieeffizienz bestehe hier Handlungsbedarf. Aktuell würden die Aktivitäten zur umweltpolitischen Digitalagenda des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und des unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) laufenden Dialogprozess „Roadmap Energieeffizienz 2050“ noch nicht als abgestimmt wahrgenommen werden.

Das einzurichtende Rechenzentrums-Kataster wird in den Interviews zwar im Grundsatz begrüßt, es wurden aber Befürchtungen geäußert, dass in diesem Rahmen Betriebsangaben, Geistiges Eigentum und

Geschäftsgeheimnisse der Betreibenden abgefragt und erfasst würden, die möglicherweise zu wettbewerbsrechtlichen Problemstellungen führen könnten. Daher ist die konkrete Ausgestaltung des Katasters und seiner Erstellung von hoher Bedeutung. Insbesondere die Empfehlung eines verpflichtenden Energieausweises für Rechenzentren aus dem Projekt Green Cloud-Computing des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt, 2020) wird abgelehnt. Die Entwicklung und Erstellung des Katasters müsste in enger Zusammenarbeit mit der Branche erfolgen. Insbesondere die durch das Kataster mögliche Verbesserung der Abstimmung von Abwärmequellen in Rechenzentren mit Wärmebedarfen in der Umgebung wurde als Chance angesehen.

Die starke Fokussierung der umweltpolitischen Digitalagenda auf das Umweltzeichen Blauer Engel hinsichtlich möglicher Effizienzparameter von Rechenzentren wurde in den Interviews als bedenklich bewertet.

Mit dem Blauen Engel können besonders umweltschonende Produkte und Dienstleistungen ausgezeichnet werden. Im Bereich der Rechenzentren kann der

Blauer Engel für

„Energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ 161) und seit Januar 2020 auch für „Klimaschonende Colocation-Rechenzentren“ (DE-UZ 214) vergeben werden. Obwohl der Blaue Engel für Rechenzentren schon seit dem Jahr 2012 vergeben wird, konnten sich das Umweltzeichen in der Branche nicht etablieren. Mit dem Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrenbetrieb sind aktuell lediglich drei

Die Bemühung um einheitliche Effizienzstandards für Rechenzentren werden von Branchenvertretern unterstützt, allerdings wird eine Fokussierung auf das Umweltzeichen Blauer Engel eher kritisch gesehen.

⁷ Diese Forderung wird auch in den politischen Handlungsempfehlungen des Projekts „Green Cloud-Computing“ des Umweltbundesamtes gestellt. Weitere Empfehlungen in dem Projekt sind unter anderem ein verbindlicher Energieausweis für Rechenzentren, die verbindliche Berücksichtigung von Abwärmenutzung und ein Weiterverwenden noch funktionsfähiger Technik in Rechenzentren (Umweltbundesamt, 2020).

3 Rahmenbedingungen für Rechenzentren in Deutschland und Europa

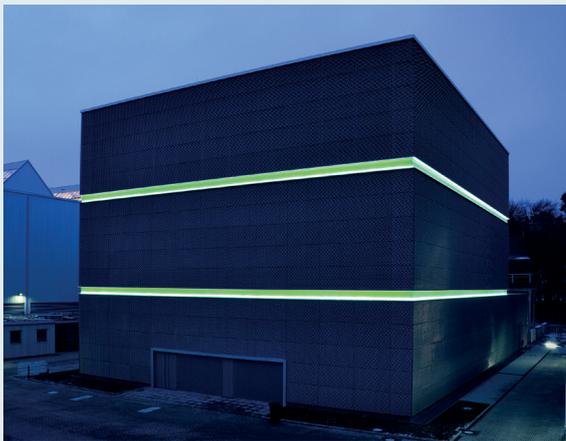
Rechenzentren ausgezeichnet, Colocation-Rechenzentren mit Blauen Engel gibt es bislang nicht.

Generell wurde an der Fokussierung auf den Blauen Engel kritisiert, dass es sich hierbei um ein nationales Label handelt, womit das stark international geprägte Unternehmensumfeld im Bereich der digitalen Infrastrukturen nicht ausreichend berücksichtigt würde. Die konkreten Anforderungen dieses Umweltzeichens seien für Rechenzentren in der freien Wirtschaft kaum zu erfüllen, wie auch die Zahl der bisherigen Zeichennehmer zeigt. Insbesondere die geforderte Nutzung halogenfreier Kältemittel für Rechenzentren mit Inbetriebnahme ab 2013 sei bei kommerziellen Rechenzentren bislang praktisch kaum umsetzbar. Auch die – zusätzlich zur Gesamteffizienz der Rechenzentrumsinfrastrukturen – sehr hohen Anforderungen an die Effizienz der Kühlsysteme

wären in vielen Rechenzentren nicht erreichbar. Alternativ zum Blauen Engel sollte gemeinsam mit der Branche ein Energieeffizienzlabel für Rechenzentren in Europa entwickelt werden. Dies wäre zum Beispiel im Rahmen des Dialogprozesses der Bundesregierung „Roadmap Energieeffizienz 2050“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie möglich. Es wäre denkbar, dass die branchenübergreifend eingerichtete Arbeitsgruppe zum Thema Digitalisierung über die Entwicklung solcher Energieeffizienzlabel für die verschiedenen Infrastrukturtypen berät. Als weitere Plattform, auf der Energieeffizienzanforderungen für Rechenzentren diskutiert und entwickelt werden könnten, wurde die europäische Cloud-Initiative GAIA-X genannt, in der Anwender und Anbieter digitaler Infrastrukturleistungen zusammenarbeiten, um den Digitalstandort Europa nachhaltig und wettbewerbsfähig zu gestalten.

GREEN IT CUBE

Energie- und ressourceneffizienter Supercomputer



Nachhaltigkeitsaspekte

- Sehr hohe Energieeffizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur und der IT-Systeme
- Einsparung von 30% Fläche und 50% Bauvolumen gegenüber konventionellen Rechenzentren
- Wassergekühlte Racks mit ganzjähriger freier Kühlung als Systemlösung für ein ganzes Rechenzentrum
- Verzicht auf USV-Lösung
- Einsparung von jährlich 15.000 Tonnen CO₂-Emissionen gegenüber konventionellen Supercomputern

Der Green IT Cube ist das Rechenzentrum des Internationalen Beschleunigerzentrum FAIR am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt.

Insgesamt werden im Green IT Cube rund 800 wassergekühlte Rechnerschrank in einem Hochregal-lager-ähnlichen Bau auf Stahlträgern in sechs Ebenen untergebracht. Dieser Aufbau ist erheblich kompakter als bei herkömmlicher Bauweise. Das Rechenzentrum ist auf 12 MW ausgelegt und kann 40.000 Server aufnehmen. Die Baukosten für den Vollausbau belaufen sich auf 16 Mio. €.

Die Technologie des GreenCube ist geeignet, große Wärmemengen effizient abzuführen. Die in allen Servern vorhandenen Ventilatoren bewegen dafür die warme Luft durch eine von Kühlwasser durchströmte Wärmetauscher-tür an der Rückseite der Racks, die bis zu 35 kW kühlen können. Sie benötigen wegen des niedrigen Luftwiderstandes der Wärmetauscher dazu nicht mehr Strom als im Standardbetrieb. Aufgrund des niedrigen Temperaturunterschieds zwischen der Vorlauf-temperatur des Kühlwassers und der Raumluft-temperatur im IT-Raum kann ganzjährig frei gekühlt werden. Die Rückkühlung erfolgt durch einfaches Verdunsten von Wasser.

Für die energiesparende Kühlstruktur haben die Frankfurter Goethe-Universität und das GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung ein europäisches Patent erhalten.

Der Green IT Cube ist aktuell (Stand Oktober 2020) eines von drei Rechenzentren in Deutschland, die mit dem Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrenbetrieb (DE-UZ 161) ausgezeichnet sind.



„Für unser Rechenzentrums-konzept liegen bereits Anfragen aus verschiedenen Regionen der Welt vor“

Prof. Volker Lindenstruth, Professor für die Architektur von Hochleistungsrechnern, Goethe Universität Frankfurt a.M.

Daten & Fakten

- Art des Rechenzentrums: Forschungs-Rechenzentrum
- Größe: bis zu 40.000 Server, ca. 800 Rechnerschranke, 12 MW Kühlleistung
- Bauzeit: 12/2014 bis 07/2015

Weitere Informationen:

<https://ttsp-hwp.de/de/projects/green-it-cube/>
https://www.gsi.de/start/aktuelles/detailseite/2020/02/12/erfolgreiche_patentierung_und_vermarktung_fuer_gruenen_supercomputer.htm

4 ABWÄRMENUTZUNG AUS RECHENZENTREN

Auch wenn in Deutschland etwa die Hälfte des Energiebedarfs für die Wärmeerzeugung verwendet wird (Wilke, 2020), wird dieses Themenfeld oft nur nachrangig als Potentialfeld erkannt und diskutiert (Witsch, 2020). Für eine weitgehend klimaneutrale Arbeits- und Lebensweise ist es allerdings zwingend notwendig, auch das Wärmeenergiesystem nachhaltig und klimaschonend umzubauen. Mit der Verwendung von Abwärme aus Rechenzentren könnte hierzu ein wichtiger Beitrag geleistet werden. Hierfür sprechen gleich mehrere Gründe. Zum einen wird in Rechenzentren insbesondere in den IT-Komponenten Strom in Wärme umgewandelt. Diese Wärme könnte für verschiedene Zwecke weitergenutzt werden. Bislang ist dies aber eher die Ausnahme als die Regel. Aktuell wird die in Rechenzentren entstehende Wärme unter erheblichem zusätzlichem energetischen Aufwand an die Umgebung abgegeben. Zum anderen ist davon auszugehen, dass der Energiebedarf der IT-Komponenten in Rechenzentren auch in den kommenden Jahren zunehmen wird. Im Teil 1 der Studie wird prognostiziert, dass der IT-Strombedarf der Rechenzentren in Europa zwischen 2020 und 2030 um 40% auf über 70 TWh/a ansteigen kann. Dieser Strombedarf wird zu einem sehr hohen Anteil in großen Rechenzentren bestehen, so dass große Abwärmemengen zur Verfügung stehen (Hintemann & Hinterholzer, 2020). Dabei eröffnet insbesondere die Abwärmennutzung in Ballungsräumen vielseitige Möglichkeiten (siehe Best Practice Beispiele). So hat z.B. die Stadt Frankfurt am Main das Ziel, bis zum Jahr 2050 zu 100% klimaneutral zu sein. Das bedeutet, dass im Jahr 2050 eine Wärmemenge zwischen 5,2 TWh/a und 8,8 TWh/a klimaneutral erzeugt und angeboten werden muss (Energierreferat Stadt Frankfurt am Main, 2016). Aufgrund der schon heute sehr hohen Rechenzentrumsdichte im Raum Frankfurt am Main und dem immer weiter steigenden Ausbau des Rechenzentrumsstandortes (CBRE, 2020; Liggitt, 2020) ist davon auszugehen, dass bis zum Jahr 2050 ein großer Teil dieser Wärme aus Rechenzentren bereit gestellt werden könnte. Aktuell könnte theoretisch bereits mehr als 10% des Wärmebedarfs

der Stadt Frankfurt am Main aus Rechenzentren zur Verfügung gestellt werden (Clausen, Hintemann & Hinterholzer, 2020).

Wie viel dieser Abwärme in der Praxis genutzt werden kann, hängt von den verwendeten Technologien und den vorhandenen Möglichkeiten zur Abnahme der Abwärme ab (Funke et al., 2019). Wie Beispiele aus Schweden zeigen, ist eine systematische Nutzung der Abwärme von Rechenzentren heute schon technisch sehr gut umsetzbar (siehe Best Practice Beispiel „Data Parks Stockholm“).

Auch in Deutschland wird bereits von einigen Rechenzentren die Abwärme genutzt – in der Regel allerdings nur ein sehr geringer Anteil der technisch verfügbaren Wärme. In Befragungen des Borderstep Instituts gaben ca. ein Drittel der befragten Rechenzentrumsbetreibenden an, zumindest einen Teil der Abwärme für angrenzende Büroräume oder für die Warmwasserversorgung zu nutzen. Aktuell plant etwa ein weiteres Drittel die Nutzung von Abwärme beim nächsten größeren Modernisierungs- oder Neubauprojekt. Dass nicht mehr Abwärme genutzt wird, hat nach Angaben der Rechenzentrumsbetreibenden vor allem zwei Ursachen: die mangelnde Wirtschaftlichkeit und das Nicht-Vorhandensein eines Abwärmennutzers in der räumlichen Umgebung zum Rechenzentrum (Hintemann, 2017).

Die **mangelnde Wirtschaftlichkeit** der Abwärmennutzung in Deutschland ist durch die erheblichen Investitionskosten und durch die Stromkosten für den oft notwendigen Betrieb einer Wärmepumpe zur Erhöhung des Temperaturniveaus begründet. Soll die Abwärme eines Rechenzentrums in ein Wärmenetz eingespeist werden, so ist dies in Deutschland aufgrund der hohen Strompreise in der Regel wirtschaftlich nicht darstellbar (Clausen et al., 2020). Wie Beispielrechnungen zeigen, würde eine Anhebung der Abwärmetemperatur von 25°C auf 70°C bei einem Strompreis von ca. 16 Cent/kWh schon Stromkosten von 5 Cent/kWh_{Wärme} bedeuten. Das ist in vielen Fällen

4 Abwärmenutzung aus Rechenzentren

deutlich zu teuer, um eine Investition in die notwendige Technik zu refinanzieren. Demgegenüber kann ein Rechenzentrum in Schweden mit einem Strompreis von unter 4 Cent/kWh kalkulieren (Hintemann & Clausen, 2018a, S. 40), so dass die Stromkosten



„Das Beispiel Schweden zeigt sehr gut, dass Abwärmenutzung von Rechenzentren im großen Umfang möglich ist. In Deutschland fehlen hierzu die notwendigen Rahmenbedingungen. Die, die Wärme erzeugen und die, die Wärme verbrauchen, sollten ohne bürokratische Hindernisse und unnötige Auflagen zusammenarbeiten können.“

Staffan Reveman

Geschäftsführer/Inhaber bei Reveman Energy Academy.

nur ca. 1,3 Cent/kWh_{Wärme} ausmachen. In Deutschland könnte eine Abschaffung der EEG-Umlage bei der Stromnutzung für Wärmepumpen in Rechenzentren und ein damit realisierbarer Strompreis von etwa 10 Cent/kWh die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung deutlich erhöhen. Das Temperaturniveau der Abwärme dann mit akzeptablen Stromkosten von etwa 3 Cent/kWh_{Wärme} auf 70°C angehoben werden (Clausen et al., 2020). Dieses Temperaturniveau reicht aus, um die Wärme

in Niedertemperaturwärmenetzen einzuspeisen. In Stockholm wird beispielweise die Abwärme der Rechenzentren mit Wärmepumpen auf ein Temperaturniveau von 68°C angehoben bevor sie in das Wärmenetz eingespeist wird (Open District Heating & Stockholm Exergi, 2020).

Werden die Server in den Rechenzentren direkt mit Heißwasser gekühlt, so ist für viele Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme keine Wärmepumpe notwendig. Damit erhöht sich die Wirtschaftlichkeit erheblich. Mit dieser Technologie gelingt es schon heute, 70% der entstehenden Abwärme zu nutzen (siehe Best Practice-Beispiel „Heißwasserkühlung

im Eurotheum Frankfurt“). Mit dem bei Heißwasserkühlung erreichbaren Temperaturniveau kann ohne Wärmepumpe in Niedertemperaturwärmenetze eingespeist werden. Die Abwärme auf diesem Niveau ist zudem potenziell geeignet, um mit Hilfe einer Adsorptionskältemaschine Kühlleistung zu erzeugen. Eine solche Lösung wird im Leibniz-Rechenzentrum in München verfolgt (Häuslein, 2019) und auch im Projekt HotFIAd an der TU Berlin sowie bei Noris Networks getestet (Hintemann, 2019a). Allerdings werden wassergekühlte Serversysteme bislang noch eher in Nischenanwendungen eingesetzt - vor allem im Bereich des High-Performance-Computings. Aufgrund des steigenden Anteils von High-Performance-Anwendungen (Hintemann, 2019b; Market Research Future, 2018) ist davon auszugehen, dass sich der Anteil wassergekühlter Systeme weiter erhöht. Mit zunehmenden Anwendungen im Bereich Künstlicher Intelligenz könnte sich dieser Trend verstärken, da die hierzu verwendete Hardware oft direkt mit Heißwasser gekühlt wird (Bayer, 2017; Ostler, 2018b). Auch im Bereich der Standardserver gibt es mittlerweile zunehmend Systeme, die wassergekühlt werden (Müller & Schmitz, 2018; Ostler, 2019a, 2020b). Gelingt es in den kommenden Jahren, den Einsatz direkt wassergekühlter Server aus der Nische in eine breite Anwendung zu bringen, so wird die Abwärmenutzung aus Rechenzentren damit wirtschaftlich deutlich attraktiver.

Grundsätzlich ist eine wirtschaftliche Nutzung von Abwärme fast ausschließlich bei Rechenzentren denkbar, die neu gebaut werden bzw. bei denen aus anderen Gründen erhebliche Modernisierungen vorgenommen werden. Für Bestandsrechenzentren sind die notwendigen Umbaumaßnahmen in der Regel so aufwändig, dass eine Refinanzierung durch die Wärmebereitstellung nicht möglich ist.

Das konkrete **Vorhandensein eines Nutzers für Abwärme** stellt eine weitere wesentliche Herausforderung für die Nutzung von Abwärme dar. Ist lokal kein Wärmebedarf vorhanden oder generierbar, so ist eine externe Nutzung der Abwärme auch wenig sinnvoll. Die Abwärme kann für unterschiedliche Zwecke genutzt werden. Interessant ist insbesondere die Nutzung für Raumwärme oder Warmwasserbereitung über Nah- und Fernwärmenetze (Hintemann, 2019c). Da in den meisten Fällen hierfür eine Erhöhung der Abwärmtemperatur mit Hilfe einer Wärmepumpe

4 Abwärmenutzung aus Rechenzentren

notwendig ist, bestehen hier oft die oben bereits ausgeführten wirtschaftlichen Herausforderungen. Eine zusätzliche Herausforderung für bestehende Wärmenetze in Deutschland ist, dass diese bisher in der Regel auf einem sehr hohen Temperaturniveau von etwa 100 bis 120 °C arbeiten. Erst mit modernen Wärmenetzen der 4. Generation sinkt das Temperaturniveau bis unter 70 °C, womit die Einspeisung von Abwärme aus Rechenzentren attraktiver würde. Einem Anschluss an bestehende Wärmenetze steht oft auch die Tatsache entgegen, dass die Infrastruktur der Wärmenetze nicht in direkter Umgebung von existierenden Rechenzentren verlaufen.

Aufgrund der dargestellten Herausforderungen ist es wenig verwunderlich, dass in Deutschland bislang kaum Projekte existieren, bei denen Rechenzentren ihre Abwärme in Wärmenetze einspeisen. So setzt das Projekt „Rechenzentren als Baustein der Energiewende auf Quartiersebene“ der Technischen Universität Darmstadt auf Abwärme aus wassergekühlten Prozessoren. Das Projekt zielt auf die Kopplung eines Hochleistungsrechners mit Rücklauftemperaturen von 60 °C mit dem Fernwärmenetz der Universität. Eine Wärmepumpe soll das Temperaturniveau um 10 °C auf 70 °C anheben. Der geringe Temperaturhub ermöglicht eine Arbeitszahl deutlich oberhalb von 10. Durch die Wärmepumpe wird parallel der Rücklauf des Kaltwassers zur Serverkühlung von 60 °C auf 50 °C abgekühlt (Weis, 2017). Auch die Abwärme des neuen Rechenzentrums an der Universität Greifswald wird auf dem Campus genutzt (Oberdörfer, 2017). Das Rechenzentrum von Volkswagen Financial Services in Braunschweig trägt zur Wärmeversorgung eines Neubaugebietes im Süden von Braunschweig mit rund 400 Wohneinheiten und angegliedertem Gewerbegebiet bei (Müller & Ostler, 2019). Das hier entstehende Wärmenetz ist auf eine Vorlauftemperatur von 70 °C ausgelegt. Die Wärmepumpe hebt die Rücklauftemperatur des Rechenzentrums von 25 °C auf die Vorlauftemperatur des Wärmenetzes von 70 °C (Müller & Ostler, 2019) an. Ein weiteres Projekt, bei dem die Abwärme eines Rechenzentrums für Wohneinheiten zur Verfügung gestellt werden soll, ist von Telehouse/KDDI in Frankfurt am Main in der Kleyerstraße geplant. Hier laufen bereits vielversprechende Verhandlungen. Wesentliche Herausforderung liegen nach Einschätzung eines Vertreters der Stadt Frankfurt noch im Bereich der Wirtschaftlichkeit des geplanten Konzepts (Lutz & Ostler, 2020a).

Aus den Ausführungen wird deutlich, dass eine deutlich erhöhte Einspeisung der Abwärme von Rechenzentren in Wärmenetze nur unter veränderten Rahmenbedingungen möglich erscheint. Technisch ist es sinnvoll, ein möglichst hohes Temperaturniveau der Abwärme aus Rechenzentren zu erreichen. Dies kann bei luftgekühlten Rechenzentren dadurch geschehen, dass die Raumtemperatur im Rechenzentrum weiter angehoben wird. Deutlich höhere Potenziale liefert die Verwendung von heißwassergekühlten Servern in Rechenzentren. Auf Ebene der Nah- und Fernwärmenetze wäre eine weitere Reduktion der Betriebstemperatur sehr förderlich. Durch diese technischen Maßnahmen würde eine wirtschaftliche Bereitstellung von Abwärme aus Rechenzentren deutlich realistischer werden. Ein Absinken des Strompreises für den Betrieb von Wärmepumpen würde die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung in Deutschland deutlich erhöhen. Wird gleichzeitig die Nutzung fossiler Energiequellen teurer, so ergibt sich ein zusätzlicher Anreiz zur Abwärmenutzung. Mit der Einführung der CO₂-Abgabe in Deutschland könnten diese beiden Entwicklungen beschleunigt werden. Zum einen verteuert die CO₂-Abgabe die Nutzung von Gas oder Erdöl zur Wärmeherzeugung, zum anderen ist geplant, den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland zukünftig anteilig auch aus der CO₂-Abgabe zu finanzieren. Mit dem Anstieg der CO₂-Abgabe auf 55€ pro Tonne bis 2025 könnte die EEG-Umlage auf lange Sicht deutlich sinken (Huesmann, 2019).

Neben den notwendigen Veränderungen der technischen und ökonomischen Rahmenbedingungen ist es unabdingbar, dass die künftige Stadt- und Raumplanung integrierte Konzepte entwickelt, bei denen die Standorte von Rechenzentren mit dem Ausbau von Wärmenetzen und dem räumlichen Vorhandensein von Wärmenutzern kombiniert bzw. synchronisiert werden. Hierzu ist es notwendig, die verschiedenen Akteure zusammenzubringen, insbesondere die Verantwortlichen der Stadt- und Raumplanung, die Betreibenden von Rechenzentren, die Energienetzbetreibenden und mögliche Nutzer der Abwärme. Das Best Practice Beispiel der Data Parks aus Schweden zeigt eine mögliche Vorgehensweise. Auch in Deutschland gibt es bereits Ansätze zu ähnlichen Cluster-Konzepten für Rechenzentren (Lutz & Ostler, 2020b).

4 Abwärmenutzung aus Rechenzentren

Auch wenn die aktuellen Rahmenbedingungen insbesondere in Deutschland noch dazu führen, dass sich Projekte zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren nur selten in größerem Maße realisieren lassen, so ist durchaus davon auszugehen, dass dieses Anwendungsfeld langfristig deutlich an Bedeutung gewinnen wird. Zum einen wird die oben bereits dar-

Um die Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland kurz- und mittelfristig voranzubringen braucht es gezielte staatliche Unterstützung.

gestellte Notwendigkeit des klimafreundlichen Umbaus der Wärmeversorgung zu einer deutlich steigenden Nachfrage nach diesen Lösungen führen. Insbesondere in Ballungsgebieten ist mit dem weiteren Ausbau der Rechenzentrumsinfrastruktur davon auszugehen, dass die Kommunen entsprechende Anforderungen stellen werden (Lutz & Ostler, 2020c; Ostler, 2019b). Mit erhöhtem Temperaturniveau der Abwärme, dem Ausbau von Niedertemperaturwärmenetzen und möglicherweise sinkenden Strompreisen werden die Lösungen wirtschaftlich attraktiver, während die fossile Wärmeerzeugung vermutlich immer unattraktiver wird. Aus aktueller Sicht werden diese Entwicklungen aber frühestens in einem Zeitraum von fünf bis zehn Jahren deutliche Wirkung entfalten. Daher

ist ohne Anpassung der Rahmenbedingungen für Abwärmenutzung nicht davon auszugehen, dass die großen neuen Rechenzentren, die in den nächsten Jahren in Deutschland aufgebaut werden, Abwärme in größerem Umfang kostendeckend bereitstellen können. Um die Entwicklung zu beschleunigen, wäre neben Initiativen aus der Rechenzentrumsbranche auch staatliches Handeln notwendig. Dies zeigt auch die Expertenbefragung, in der 85% der Befragten angaben, dass beim Thema Abwärmenutzung aus Rechenzentren staatliches Handeln notwendig wäre. Erste Absichtserklärungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung aus Rechenzentren gibt es bereits im Rahmen der EU-Strategie zur Integration des Energiesystems (Europäische Kommission, 2020) und in der umweltpolitischen Digitalagenda.

Zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung aus Rechenzentren bieten sich aus aktueller Sicht vier generelle staatliche Handlungsmöglichkeiten an: die Technologieförderung, die Umsetzung integrierter Stadt- und Raumplanungskonzepte, die Senkung oder Abschaffung der EEG-Umlage und die Förderung durch die öffentliche Beschaffung. Diese Optionen sind im Folgenden kurz dargestellt.

STOCKHOLM DATA PARKS

Gemeinschaftlich Abwärmenutzung fördern



Nachhaltigkeitsaspekte

- Nutzung der Abwärme der Rechenzentren im Data Park zur Versorgung des Wärmenetzes von Stockholm
- Ausbau der Kapazitäten erneuerbarer Energien im Angebot des Energieversorgers Stockholm Exergi in der Höhe der in den Dataparks notwendigen Strombedarfe
- Möglichkeit zur Schließung der letzten kohlebefeuerte Wärmeproduktion in Schweden u.a. durch die Einführung offener Fernwärme in den Dataparks

Die Versorgung mit Nah- und Fernwärme auf Basis von Kohle, Erdgas oder Heizöl ist wenig nachhaltig und soll in Zukunft mehr und mehr durch klimafreundliche Alternativen ersetzt werden. Neben solarthermischer oder geothermischer Wärme ist die Nutzung von Abwärme eine wichtige Option. In Stockholm wird bereits systematisch die Abwärme aus Rechenzentren genutzt. Bisher sind schon mehr als 30 Rechenzentren an das Fernwärmenetz angeschlossen. (Ostler, 2017). Bis zum Jahr 2035 ist geplant, dass Rechenzentren ein Zehntel des Heizbedarfs von Stockholm decken (GTAI, 2018).

Der Ausbau der Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren in Stockholm wird durch das Konzept der Data Parks unterstützt. Die Stadtplanung weist Baugebiete für Rechenzentren aus, in denen die Einspeisung von Abwärme ins Wärmenetz möglich ist. Die Flächen werden über Stockholm Data Parks vermarktet. Stockholm Data Parks bietet Rechenzentren eine integrierte Versorgung mit nachhaltiger redundanter Stromversorgung, Dark Fiber Internet und Abnahme der Abwärme. Dies erfolgt bei größeren Rechenzentren (> 10 MW) im Rahmen einer kostenlosen Kältelieferung (Cooling as a Service). Kleinere Rechenzentren bekommen eine Vergütung von 2,5 Ct/kWh_{Wärme} für die Wärmelieferung auf einem Temperaturniveau von 68°C.

Stockholm Data Parks ist eine Initiative des Energieversorgers Stockholm Exergi, der Stadt Stockholm, der

Stockholmer Wirtschaftsförderung, des Stromnetzbetreibers Ellevio und des Telekommunikationsnetzbetreibers Stokab.

Der erste Data Park wurde im Norden Stockholms, im IKT Cluster Kista aufgebaut. Im diesem Data Park sind aktuell vier Rechenzentren an das Wärmenetz angeschlossen. Mit Brista und Skarpnäck werden zur Zeit zwei weitere Standorte vermarktet. Stockholm Data Parks wirbt damit, dass eine Baugenehmigung für ein Rechenzentrum im Data Park Kista in der Regel in 10 Wochen erteilt wird.



„Mit weiteren Rechenzentren werden wir in der Lage sein, etwa 40 MW Wärme zurückzugewinnen, genug, um etwa 80.000 moderne Wohnungen zu beheizen.“

Erik Rylander

CEO Stockholm Data Parks and Open District Heating

Daten & Fakten

- Art der Rechenzentren: Colocation und andere IT-Dienstleister
- Ziel Summe elektrische Leistung: 40 MW
- Ziel beheizte Wohnungen: 80.000
- Gründung: 2016
- Temperatur RZ-Abwärme ca. 35 °C, Abgabe ins Wärmenetz bei 68°C

Weitere Informationen: <https://stockholmdataparks.com>

4 Abwärmenutzung aus Rechenzentren

Im Rahmen von **Technologieförderung** könnte die Entwicklung zu höheren Abwärmemetemperaturen aus Rechenzentren beschleunigt werden. Dies kann durch Forschungsförderung an den entsprechenden Technologien wie insbesondere der Heißwasserkühlung oder auch durch die Förderung des Einsatzes solcher Technologien durch Investitionsprogramme oder Leuchtturmprojekte geschehen.

Insbesondere auf regionaler und auf kommunaler Ebene könnten staatliche Akteure die **Umsetzung integrierter Stadt- und Raumplanungskonzepte** unter Einbeziehung von Rechenzentrumsbetreibenden und mit dem Ausbau von Niedertemperatur-Wärmenetzen fördern. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Wärmeverkauf außerhalb des Geschäftsmodells der Rechenzentren liegt und einschlägige Kompetenzen bisher kaum vorhanden sind. Das Beispiel der Data Parks aus Stockholm, das von der Stadt Stockholm mitgetragen wird, stellt hierzu ein gutes Vorbild für einen solchen Ansatz dar. Viele Kommunen besitzen auch entsprechende Beteiligungen an den lokalen Energieversorgern, die einen Einfluss auf deren Geschäftsmodelle ermöglichen und auch damit die Verwendung von Abwärmenutzungen fördern könnten. Auch eine Verpflichtung zur prioritären Verwendung vorhandener Abwärmequellen vor der

Nutzung fossiler Energiequellen wäre denkbar.

Über eine **Senkung oder Abschaffung der EEG-Umlage** für die Stromnutzung in Wärmepumpen könnte die wirtschaftliche Attraktivität der Abwärmenutzung aus Rechenzentren deutlich gesteigert werden. Bislang wird die Abwärmenutzung durch die EEG-Umlage deutlich verteuert während auf fossile Energieträger entsprechende Abgaben nicht erhoben werden (Bundesverband Wärmepumpe e.V., 2020).

Nicht zuletzt haben staatliche Institution wie oben bereits dargelegt über die eigene **Beschaffung** einen hohen Einfluss auf den Markt. Insbesondere in öffentlichen Forschungseinrichtungen wäre eine weiter verstärkte Nutzung von Heißwasserkühlung in Verbindung mit der Nutzung des Heißwassers zur Wärmeversorgung oder zur Kälteerzeugung mit Adsorptionskältemaschinen gut realisierbar. Rechenzentren, die direkt oder indirekt über entsprechende Beteiligungen von der öffentlichen Hand betrieben werden, könnten künftig auch zunehmend mit Heißwasserkühlung ausgestattet werden oder zumindest mit erhöhter Raumtemperatur betrieben werden, um eine Abwärmenutzung wirtschaftlich zu machen. Auch eine in Ausschreibungen bevorzugte Behandlung von IT-Dienstleistern, die Abwärme nutzen, wäre denkbar.

5 ZUSAMMENFASSENDES FAZIT

Wie die beiden Teile der vorliegenden Studie zu den Nachhaltigkeitspotenzialen von Rechenzentren gezeigt haben, ist eine weitere Digitalisierung und eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung nur mit leistungsfähigen und zuverlässigen Rechenzentren realisierbar. Diese digitalen Infrastrukturen sollten aber selbst so klimaschonend und nachhaltig wie möglich betrieben werden. Zwar konnten im vergangenen Jahrzehnt hohe Effizienzgewinne im Rechenzentrumsbetrieb erreicht werden, der Energiebedarf der Rechenzentren in Europa stieg aber dennoch deutlich um 55% an. Erfreulicherweise konnten die CO₂-Emissionen des Rechenzentrumsbetriebs in Europa aufgrund des zunehmenden Einsatzes regenerativer Energien in der Stromerzeugung dennoch leicht abgesenkt werden. Für die Zukunft ist im Trendfall mit einem weiteren moderaten Anstieg des Energiebedarfs zu rechnen. Allerdings können sich aufgrund der sehr dynamischen Entwicklung der Internetbranche und des hohen Innovationstempos auch deutlich andere Entwicklungen ergeben.

Insofern ist es sehr zu begrüßen, dass die Rechenzentrumsbranche in den vergangenen Jahren einen deutlichen Zuwachs an Aufmerksamkeit in Öffentlichkeit und Politik genossen hat. Zunehmend mehr Initiativen auf nationaler und europäischer Ebene haben die Nachhaltigkeit von Rechenzentren im Fokus. Diese Entwicklung im öffentlichen und politischen Diskurs wird von der Branche begrüßt. Branchenvertreter sehen darin eine Chance, gemeinsam mit Politik und Wissenschaft die Potenziale für mehr Nachhaltigkeit durch und in Rechenzentren aufzudecken und Rahmenbedingungen zu schaffen, um diese zu verwirklichen. Zusätzlich ermöglicht die zunehmende Aufmerksamkeit eine Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Bedeutung der Rechenzentren für die Digitalisierung und Nachhaltigkeit.

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass eine Vielzahl neuer Technologien zur Verfügung stehen, Rechenzentren nachhaltiger zu gestalten. Es konnten etwa 70 solcher Technologien identifiziert werden. Viele der Lösungen werden in der Branche schnell umge-

setzt, da sie oft neben einer höheren Nachhaltigkeit auch wirtschaftliche Vorteile bieten. Es konnten aber auch einige Technologien identifiziert werden, bei denen Hemmnisse für ihren Einsatz bestehen. Hier könnte staatliche Unterstützung hilfreich sein. Im Einzelnen wurden im Rahmen der Studie Handlungsmöglichkeiten in folgenden Bereichen identifiziert.

Zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz der digitalen Infrastrukturen und insbesondere der Rechenzentren ist ein **Ausbau der Forschungsförderung für energie- und ressourcensparende Informations- und Kommunikationstechnik** sowie der unterstützenden Systeme der Rechenzentrumsinfrastrukturen zu empfehlen. Vor allem durch das zu erwartende Ende des Moore'schen Gesetzes könnten sonst die notwendigen Effizienzgewinne für den nachhaltigen Betrieb der weiter auszubauenden digitalen Infrastrukturen nicht erreicht werden.

Vor allem im Bereich der Nutzung regenerativer Energien in Rechenzentren, der Anpassung von Rechenzentrumslast an das bestehende Stromangebot und im Bereich der Sektorkopplung, insbesondere mit Wärmenetzen, könnte **gezielte Forschungsförderung** ansetzen. Auch hinsichtlich der Verwendung von Brennstoffzellen in Rechenzentren besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Eine mögliche **Regulierung von Rechenzentren** hinsichtlich ökologischer Kriterien sollte insbesondere im Hinblick auf die hohe Bedeutung von Rechenzentren als Basis für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Digitalisierung mit Maß und unter Beteiligung der Branche erfolgen. Im internationalen Markt für Rechenzentrumsleistungen könnte es ansonsten zum Carbon-Leakage kommen – also der Abwanderung von Rechen- und Wirtschaftsleistung in Regionen, in denen geringere Anforderungen an den nachhaltigen Betrieb der Rechenzentren gestellt werden. Auch die Entwicklung und Nutzung von freiwilligen Labels sollte mit der gesamten Branche abgestimmt werden.

Die **öffentliche Beschaffung** kann Steuerungswirkung für Nachhaltigkeitskonzepte in Rechenzentren

entfalten. Mit geeigneten auf Klimaschutz und Nachhaltigkeit ausgerichteten Kriterien in öffentlichen Ausschreibungen können daher wichtige Impulse in der Branche gesetzt werden. Aufgrund der hohen Bedeutung der öffentlichen Hand als Kunde – als auch Betreiber - für Rechenzentrumsdienstleistungen und als Vorbild für andere Nachfrager können Anbieter nachhaltiger Lösungen gefördert werden.

Innerhalb von Europa ist die Schaffung **fairer Wettbewerbsbedingungen im Energiemarkt** zu begrüßen. Insbesondere Rechenzentren sind innerhalb von Europa mit deutlich unterschiedlichen Strompreisen konfrontiert. In den mit Branchenvertretern geführten Interviews wird befürchtet, dass die ungleichen Wett-

bewerbsbedingungen im Zuge der Bestrebungen um den klimaneutralen Betrieb von digitalen Infrastrukturen im Rahmen des Green Deals noch verschärft werden könnten. Es wird der Wunsch geäußert, gemeinsam mit der Politik einen strategischen Plan für einen smarten Infrastrukturmix in Deutschland und Europa zu entwickeln.

Die **Abwärmenutzung von Rechenzentren** als ein Element einer nachhaltigen, klimaneutralen Energie- und Wärmeversorgung sollte verstärkt gefördert werden. Dies kann insbesondere durch ökonomische Anreize und durch gemeinsame Initiativen von Kommunen, Energieversorgern, Netzbetreibern, Rechenzentren und Abwärmernutzern erfolgen.

6 GLOSSAR

2D-Materialien

Eine weitere Verkleinerung von Computerchips ist durch sogenannte 2D-Materialien realisierbar. Dies sind aus einer einzigen Atomschicht bestehende kristalline Materialien. Die dadurch möglichen Effizienzgewinne könnten die Gültigkeit von Moores Law für einige Zeit verlängern.

Abwärmenutzung

Der elektrische Energieinput von IKT-Infrastrukturen wird durch die ablaufenden Prozesse in Wärme umgewandelt. Um die Betriebsparameter, wie die zulässige Maximaltemperatur nicht zu überschreiten, muss diese Wärme aus der IKT-Infrastruktur heraus transportiert werden. Wird diese Wärme nicht an die Umgebung abgegeben, sondern für Energieprozesse weiterverwendet, spricht man von Abwärmenutzung.

Adiabate Kühlung

Die adiabate Kühlung nutzt die bei der Verdunstung von Wasser entstehende Kälte („Verdunstungskälte“) zur Kühlung. Entweder wird direkt der einströmenden Außenluft Feuchtigkeit hinzugefügt und diese somit gekühlt oder es wird indirekt die Abluft befeuchtet. Diese gekühlte Abluft kühlt darauf mit einem Wärmetauscher die einströmende Außenluft (Klingenburg GmbH, o. J.) Es wird ausschließlich Energie für die Befeuchtung der Luft (Wasserzerstäubung) benötigt.

All-Flash

Alternativ zu klassischen Festplatten werden Flash-Speicher, also nichtflüchtige Speicher, immer öfters auch in RZ zum Einsatz kommen. Flash-Speicher bieten deutliche Vorteile in Geschwindigkeit und Kapazität bei geringerer Latenz, Ausfallraten und Energieverbrauch gegenüber den meisten herkömmlichen Speichertechnologien.

Automatisierte Angabe der Energiebedarfe von Geräten

Eine automatisierte Erfassung der Energiebedarfe der am IKT-Gesamtsystem beteiligter Geräte im Betrieb ermöglicht eine genauere Berechnung, Darstellung und Monitoring deren Energiebedarfs und den Vergleich verschiedener Systeme und Architekturen.

BHKW

In einem Blockheizkraftwerk (BHKW) wird mittels Kraft-Wärme-Kopplung neben elektrischer Energie auch Wärme erzeugt und nutzbar gemacht. Dies erhöht den Ausnutzungsgrad (bis zu 90%) des Primärenergieträgers. Ergänzend kann mittels Ab- oder Adsorptionskälteprozessen die produzierte Wärme zur Kühlung von RZ genutzt werden. Außerdem können BHKW als Netzersatzanlagen in RZ dienen und so auch die Stromversorgung sicherstellen.

Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle wandelt chemische in elektrische Energie und kann so verschiedene Energieträger, wie Wasserstoff oder Erdgas, zur Stromversorgung auch für RZ nutzbar machen. Für RZ bietet sich die Brennstoffzelle bei gleichzeitiger Nutzung von Strom und Wärme an, dabei ist auch ein Einsatz im Bereich der Unterbrechungsfreien Stromversorgung möglich. Auch die bei der Brennstoffzellen entstehende sauerstoffreduzierte Luft kann in RZ als Brandschutz dienen (Exler & Ostler, 2016).

Cloud-Native Programming

Der hohe Virtualisierungsgrad der Infrastrukturen im Bereich von Cloud Computing ermöglicht eine stark auf den Bedarf zugeschnittene Inanspruchnahme physischer Ressourcen. Dafür muss die Software jedoch

entsprechend gestaltet werden. Hierzu gehört beispielsweise eine Software-Architektur, die aus miteinander verknüpften Einzelkomponenten (Microservices) besteht, die jeweils unabhängig voneinander betrieben, erweitert und im Betrieb skaliert werden können.

Container

Mit der Virtualisierung von Containern, Betriebssystem oder Applikationen kann die Hardware besser ausgelastet werden. Im Vergleich zur Servervirtualisierung findet die Virtualisierung auf einer höheren Abstraktionsebene statt, wodurch sie geringeren Speicherbedarf verursachen und flexibler eingesetzt bzw. skaliert werden können.

Converged Infrastructure

Das RZ (oder Teile davon) sowie die Bereiche Hardware, Software und Operations als Gesamtes zu betrachten, wird Converged Infrastructure genannt, bei der Aufgaben und Anforderungen im Zentrum stehen. Bereits jetzt werden Gesamtlösungen, wo die Komponenten Server, Speicher, Netzwerk und die Orchestrierung der Abläufe optimal auf einander abgestimmt sind von Hardwareanbietern angeboten.

DC-DC-USV im Rack

Eine DC-DC-USV (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) ist eine Gleichspannungsversorgung (DC) der Server, die direkt und ohne zwischenzeitliche Wandlung in Wechselspannung mit der USV verbunden ist. Dies ist eine Alternative oder zusätzliche Sicherheit zu einer zentralen USV.

DCIM

Datacenter Infrastructure Management (DCIM) zeigen den Administratoren einen umfangreichen Überblick über das RZ und dessen Leistung. Das Gesamtsystem kann so optimal betrieben werden und die Verknüpfung von IT und Gebäude-Funktion eines Unternehmens ermöglicht werden. DCIM hat als Ziel die RZ-Prozesse zu optimieren und den Energieverbrauch zu verringern.

Dezentrale USV im Rack

Eine kleine USV (meist 19-Zoll Rack-Einschub) in jedem Rack macht eine bessere Skalierbarkeit sowie eine optimalere Auslastung im Vergleich zu einer zentralen USV möglich. Die kleinen Effizienzpotentiale, die dadurch erschlossen werden, können alternativ mit einer zentralen, jedoch modular anpassbaren USV erreicht werden.

Direkte Freie Kühlung

Das Rechenzentrum wird direkt mit Außenluft gekühlt. Die Qualität der einströmenden Luft wird mit Filtern sowie Steuerungstechniken sichergestellt. Bei hohen Umgebungstemperaturen oder Luftfeuchtigkeit ist gegebenenfalls eine weitere Kühlung bzw. Entfeuchtung der Luft erforderlich.

Direkte Spannungs-Wandlung (48V POL) im RZ

Um die Übertragungs- und Wandlungsverluste zu verringern, werden die Server mit einer konstanten 48 Volt Gleichspannung versorgt. Dies benötigt kein zentrales Netzteil innerhalb des Servers und erst am Point-of-Load (POL) wird auf die spezifisch benötigten Spannungen (z.B. 0,9 V oder 1,2 V) umgewandelt. Dabei kann die USV am Rack oder dezentral angebracht werden.

Dynamische Kühlwassertemperaturen

Dynamische Kühlwassertemperaturen machen es möglich, die Eingangstemperatur an die momentane Wärmelast anzupassen. Dadurch ist es möglich bei geringerer Wärmeproduktion des Rechenzentrums höhere Kühlwassertemperaturen zuzulassen beziehungsweise dynamisch auf Laständerungen zu reagieren. Eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Kühlwasser und Umgebungstemperatur führt zu höherer Effizienz (Energy Efficiency Ratio) der Kälteanlage.

Dynamische Lufttemperaturen

Dynamische Lufttemperaturen machen es möglich, die Eintrittstemperatur an die momentane Wärmelast anzupassen. Dadurch ist es möglich bei geringerer Wärmeproduktion des Rechenzentrums höhere Temperaturen der zufließenden Luft zuzulassen beziehungsweise dynamisch auf Laständerungen zu reagieren. Eine geringere Temperaturdifferenz zwischen Kühlluft und Umgebungstemperatur führt zu höherer Effizienz (Energy Efficiency Ratio) der Kälteanlage.

Dynamische Umluftmengen

Die Wärmeproduktion der Betriebsmittel eines Rechenzentrums schwankt mit der Auslastung und somit auch der Kühlungsbedarf. Mit der dynamischen Steuerung der zugeführten Luftmengen kann zeitlich auf diese Schwankungen reagiert werden.

Einhausung Kalt-/Warmgang

Die Kalt-/Warmgang Einhausung dient dazu, dass die kalte Zuluft und die warme Abluft im Rechenzentrum voneinander getrennt geführt werden. Dieses Konstruktionsdesign wird dadurch erreicht, dass die Serverschränke so platziert werden, dass sich die Seiten, an denen die Kühlluft zugeführt wird sich gegenüberstehen. Auf der anderen Serverseite wird die warme Luft abgeführt. Dadurch entsteht abwechselnd ein Warmgang und ein Kaltgang, womit eine Luftdurchmischung und somit Effizienzminderungen vermieden werden.

Einrichtung unterschiedlicher Kühlzonen im RZ

IT-Betriebsmittel haben teils verschiedene Temperaturanforderungen. Zentrale Kühlsystem in einem RZ werden üblicherweise auf das thermisch sensibelste Gerät eingestellt. Ein RZ mit verschiedenen Kühlzonen, in denen die IT-Geräte nach ihrer Temperatur-Anforderung sortiert sind, optimiert die Kühlung und kann spezifischere Anforderungen erfüllen.

Energieeffiziente Architekturen (Edge, Fog, Cloud)

Mit dem Ausbau von Edge Computing bzw. Edge RZ werden die IT-Infrastrukturen zunehmend dezentral organisiert. Die dezentrale Datenverarbeitung findet dabei, im Gegensatz zum zentralen Cloud-Computing, am Rand des Netzwerkes statt. Fog-Computing, oft synonym zu Edge Computing verwendet, verbindet die Datenverarbeitung im Edge und in der Cloud: Vorverarbeitung im Edge-RZ und Übertragung in die Cloud (Luber & Karlstetter, 2018). Fog Computing wird besonders zur Minimierung von Latenzen und der Bearbeitungszeit verwendet. Durch diese Architektur und ein entsprechendes Management kann die Entscheidung, an welcher Stelle welche Prozesse durchgeführt werden an den notwendigen Energiebedarfen der Datenverarbeitung, -übertragung und -speicherung ausgerichtet werden.

Energieeffiziente Programmierung

Die programmiertechnische Umsetzung einer Anwendungssoftware hat wesentlichen Einfluss auf die Menge der IKT-Ressourcen (z.B. Rechenleistung, Speicher, Netzwerkbandbreite), also auch den Energieverbrauch, die durch die Software beansprucht wird. Eine energieeffiziente Programmierung reduziert somit den Energiebedarf im Betrieb der Software.

Energy Efficient Ethernet

Für den Aufbau lastadaptive IKT-Infrastruktur spielt Energy Efficient Ethernet (Industriestandard IEEE 802.3az) eine wichtige Rolle. Nach der Veröffentlichung des Standards Ende 2010 bildet er die Basis für die Entwicklung neuer Ethernet -Netzwerkkomponenten. Vorteil von EEE ist, dass solange kein aktiver Datentransport im Netzwerkgerät stattfindet, die elektrische Leistungsaufnahme stark reduziert ist.

Gleichstrom-Versorgung RZ

Unter eine Gleichstrom-Versorgung im Rechenzentrum versteht man die zentrale Umwandlung der Versorgungsspannung in Gleichspannung am Netzanschluss. Innerhalb des RZ wird der Strom mit Gleichstrom ver-

teilt und alle Komponenten mit Gleichstrom versorgt. Die benötigte Spannung einer Komponente wird mittels Elektronik (DC-DC-Wandler) jeweils angepasst.

GPU Computing

Um die Geschwindigkeit von wissenschaftlichen und einigen technischen Anwendungen zu erhöhen, werden beim GPU (Graphics Processing Unit) -Computing ergänzend zu klassischen CPUs Grafikprozessoren genutzt. GPU's bieten aufgrund ihres Designs insbesondere bei parallelisierbaren Workloads häufig Vorteile in der Performance und auch in der Effizienz. Beispielsweise für künstlichen Intelligenz, bei Mustererkennung und auch beim Krypto-Mining, also sehr großen Rechenlasten wird GPU Computing angewandt (Ostler, 2019c; de Vries, 2018).

Grundwasserkühlung

Eine Grundwasserkühlung nutzt die übers gesamte Jahr vorwiegend gleichbleibende Temperatur des Grundwassers als Kältequelle für das Klimasystem. Das mit einem Saugbrunnen entnommene und gefilterte Grundwasser im primären Kühlkreislauf kühlt über Wärmetauscher den sekundären Kühlwasserkreislauf und führt somit die Wärme ab. Daraufhin wird das Grundwasser über einen Schluckbrunnen wieder zurückgegeben (Nowitzky, 2012).

Hardware Acceleration

Flexibel konzipierte Standard-Prozessoren machen eine vielseitige Anwendung möglich. Durch spezifisch designte Hardware-Logikbausteine ist es möglich spezielle Berechnungsvorgänge mit einer zum Teil wesentlich geringeren Schrittzahl (=schneller/effizienter) zu bearbeiten. Grafikberechnungen oder Kodierungs-/ Dekodierungsprozesse sind klassische Anwendungsbeispiele. Diese Auslagerung wird Hardware Acceleration (Hardware Beschleunigung) genannt.

Indirekte Freie Kühlung

Mit einem Luft-Wasser-Wärmetauscher wird die Temperatur eines flüssigen Kühlmittels mit Außenluft gesenkt. Daraufhin dient das Kühlmittel zur Abkühlung der Innenluft. Vorteilhaft ist, dass im Gegensatz zur direkten freien Kühlung stoffliche Verunreinigungen der Außenluft vernachlässigt werden können. Je nach Kühlmittel und Temperaturanforderungen im Rechenzentrum ist eine freie Kühlung jedoch nur in bestimmten Temperaturgrenzen möglich.

Intelligente PDU

Für genaues Monitoring des Strombedarfs einzelner Komponenten oder System können intelligente Stromverteiler (PDU, Power Distribution Units) an den Racks eingesetzt werden. Zusätzlich erheben intelligente PDUs Umgebungsdaten wie die Temperatur und Auslastung der Stromversorgung.

Kältemaschinenfreies RZ

Ein Kältemaschinenfreies RZ nutzt keine zusätzliche Kälteerzeugung (z.B. (Kompressions-)Kältemaschine). Es wird ausschließlich mit Kälte aus der unmittelbaren Umgebung versorgt. Dazu gehört die Umgebungsluft, Grund- und Oberflächenwasser, Geothermie sowie die adiabate Verdunstungskühlung. Dafür sind umfangreiche Daten über den Kältebedarf des RZ sowie die Umgebungsbedingungen notwendig. Um zudem gleichmäßige Luftströmung zu erreichen ist eine genaue Luftführung innerhalb der Racks zwingend erforderlich.

Kälteerzeugung mit Geothermie

Für kleine Rechenzentren und für Bürogebäude mit angeschlossenem Rechenzentrum kann eine Bohrung von oberflächennahe Geothermie zur Abführung von Wärme in das Erdreich genutzt werden. Besteht im Winter zusätzlich zur Abwärme des Rechenzentrums ein Heizwärmebedarf, kann diese Geothermie-Bohrung auch zur Wärmeerzeugung genutzt werden.

Kältespeicher (z.B. Flüssigeis)

Ein Kältespeicher, wie Flüssigeis, macht die zeitliche Verlagerung von Kälteerzeugung und Nutzung möglich, um diese in Zeiten von beispielsweise hohen Stromkosten zu nutzen und Kostenvorteile zu sichern. Darüber hinaus ermöglicht es, Spitzenlasten abzufangen und im Notfall Kälte bereitzustellen. Flüssigeis wird mit dem Vakuumisverfahren hergestellt, bei dem Wasser im Vakuum bei $-0,5^{\circ}\text{C}$ verdampft wird. Es ist pumpfähig und besitzt eine sehr hohe Energiedichte.

Kohlenstoffbasierte CPU

Um Moores Law zeitweise zu überwinden, wird viel Hoffnung auf Kohlenstoff an Stelle von Silizium als Basis für Prozessoren gesetzt. Kohlenstoff-Nanoröhrchen in Prozessoren können in höhere Anzahl an Transistoren pro Flächen auf dem Chip eingesetzt werden als die Siliziumtechnik es zulässt und verringert zudem den Energiebedarf. Derzeitige Prozessoren in der Forschung erreichen noch nicht die selbe Leistungsfähigkeit wie Silizium-Chips (Amarnath, Bagherzadeh, Tan & Dreslinski, 2019).

KPI-basiertes Energie-Effizienzmanagement

Da die vielzähligen Einflussfaktoren auf den Energiebedarf ein ganzheitliches Energiemanagement sehr umfangreich und komplex machen, werden Key-Performance-Indikatoren als einheitliche Bewertungsgrößen genutzt. Mit Hilfe der KPI kann die Energieeffizienz in bestimmten Systemgrenzen technologieunabhängig bewertet werden.

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung erweitert die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), indem die produzierte Wärme mittels Sorptionstechnik zur Kälteerzeugung genutzt wird.

Lastadaptives Rechenzentrum

Ein lastadaptives RZ kann seine Rechenlast und somit auch die elektrische Leistungsaufnahme an äußere Gegebenheiten anpassen. Vor allem von erneuerbaren Energien versorgte RZ können dadurch auf die Fluktuation der Stromproduktion durch hoch- oder herunterfahren der Rechenlast reagieren. Anhand von Virtualisierung und Orchestrierung können Aufgaben bzw. Workload entweder räumlich (geografisch alternatives Rechenzentrum) oder zeitlich (verschiebbare Aufgaben) verlagert werden.

Lastverschiebung auf Servern

Um die mittlere Auslastung zu optimieren kann mit Hilfe von Virtualisierung und Container-Technologie die Last auf den Servern optimal verteilt werden. Erhebliche Einsparpotentiale entstehen, wenn dadurch Server in Standby oder Aus-Zustand gebracht werden können. In einem durchschnittlichen RZ können so ca. 25% der Energie gespart werden, wie im AC4DC-Projekt berechnet wurde (Hintemann, 2014).

Li-Ionen Akku (USV)

Eine USV mit Lithium-Ionen-Akkus funktioniert grundlegend wie die mit Bleiakkumulatoren über einen chemischen Energiespeicher. Lithium-Ionen-Akkus haben jedoch den Vorteil einer nahezu verlustfreien Speicherung, höherer Belastbarkeit, höherer massebezogener Energiedichte und wesentliche höheren Zyklenfestigkeit.

Low Voltage CPUs

Low Voltage CPUs oder Ultra Low Voltage CPUs wurden vor allem für Notebooks entwickelt. Sie arbeiten mit einer geringeren Ausstattung, niedrigerer Spannung sowie niedrigeren Takt und erreichen somit geringere Stromverbräuche. Diese Prozessoren eignen sich für passiv gekühlte Systeme (ITwissen.info, 2019). Solange eine geringe Prozessorleistung vorliegt, ist ein Einsatz dieses Prozessortyps auch für sehr energieeffiziente Server möglich (Roderer, 2007).

Microserver

Server mit sehr kleiner Bauweise relativ zu klassischen Serverbauarten (Rackserver, Towerserver) werden Microserver genannt. Microserver werden in sehr kleinen Gehäusen installiert oder zusammen mit vielen anderen auf einer kleinen Platine innerhalb eines einzigen Gehäuses gebaut und gelten als sehr energieeffizient (Steinhaus, 2013).

Modular aufgebaute USV

Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) ist oftmals deutlich überdimensioniert, um für einen folgenden Ausbau der IT-Infrastruktur ausreichend gerüstet zu sein. Der Teillastbetrieb ist jedoch meist sehr ineffizient, sodass eine modulare USV eine Lösung zur optimalen Auslastung darstellt. Die modulare USV kann für die momentane Last dimensioniert werden und erweitert werden, sobald zusätzliche IKT-Komponenten hinzugefügt werden.

Natürliche Kältemittel

Natürliche Kältemittel, wie Propan (R290), Ammoniak (R717) oder Wasser (R718), ersetzen in Kühlsystemen teilfluorierte Kohlenwasserstoff (HFKW), welche ein sehr hohe Treibhauspotenzial haben, das 2.000 bis 3.000-mal höher als CO₂ sein kann.

Neuromorphe Prozessoren

Um die Gehirn-Funktionsweise nachzubilden werden neuromorphe Prozessoren entwickelt, welche besonders in der Mustererkennung und -analyse eingesetzt werden. Da diese Prozessoren fehlertolerant sind, bringen sie eine einfachere Fertigung mit sich und ermöglichen größere Prozessoren bei geringerer Ausschussquote zu produzieren. Sie sind sehr energieeffizient, da die einzelnen Neuronen ereignisgesteuert arbeiten und so nur zeitweise Energie benötigen (Bitkom, 2018). So beziehen neuromorphe Prozessoren nur einen Bruchteil an Energie von klassischen Prozessoren. IBM fertigte einen neuromorphen Chip mit einem Echtzeitbetriebsverbrauch von 70mW (IBM, 2017). Praxisbezogen bietet sich eine gemeinsame Nutzung von neuromorphen und klassischen Chips sodass die Prozessoren jeweils den Prozess bearbeiten, den er am effizientesten durchführt.

Neuronale/Selbstorganisierende Algorithmen

Die Daten die eine Vielzahl von Sensoren in modernen RZ erheben sind auch für den Energieverbrauch von höchster Relevanz, meist liegen jedoch schwierig zu interpretierende Rohdaten vor. Neuronale und selbstorganisierende Algorithmen, Analytics-Tools und KI können bei der Datenaufbereitung und -auswertung unterstützen und Energieeinsparpotentiale ermöglichen. Mittels Künstlicher Intelligenz (KI) konnte Google den Energiebedarf der Kühlung eines Rechenzentrums um 40% senken (Evans & Gao, 2016).

Nichtflüchtiger RAM (NVDIMM)

Nichtflüchtige Arbeitsspeicher (Persistent Memory, auch NVDIMM Module), einzuordnen zwischen SSDs und klassischen Arbeitsspeicher, erhalten auch bei Herunterfahren des Systems den Speicherinhalt. Sie sind kompatibel zu normalen DDR4 Arbeitsspeicher und können in die vorhandenen Steckplätze platziert werden. Weiter wird mit der Anbindung an den Prozessor eine signifikante Latenzverringerung erreicht und die Verarbeitungsgeschwindigkeit datenintensiver Arbeitslasten erhöht (Bitkom, 2018).

Orchestrierungstools

Virtualisierte IKT-Ressourcen werden häufig physisch heterogen und örtlich getrennt bereitgestellt und haben gleichzeitig hohe Anforderungen an dynamische Anpassung (Bedarf, Latenz, Resilienz). Das Management dieser Ressourcen kann nur durch ein hohes Maß an Automatisierung ermöglicht werden. Besonders für diese virtuellen Cloud-Architekturen gibt es vielfältige Orchestrierungstools, die die Aufgabe des automatisierten Managements möglichst agil und effizient ermöglichen.

PCM-Kälteanlagen

Latentwärmespeicher (PCM, engl. Phase Change Material) nutzen die Abgabe bzw. Speicherung von Wärme, die bei einem Phasenwechsel (Änderung des Aggregatzustands, meist fest/flüssig) eines Mediums auftreten. Das Medium, oftmals Salzhydrate oder Paraffine, nimmt bei der Verflüssigung Wärme auf und gibt bei der Erstarrung Wärme ab (TU Berlin IZE, 2008). In Latentwärmespeichern ist es möglich in einem engen und eingeschränkten Temperaturintervall Energie zu speichern und dabei hohe Energiedichten zu erreichen.

Photovoltaik

Eine Photovoltaikanlage (PV) kann genutzt werden, um direkt am Rechenzentrum elektrische Energie zu erzeugen und den elektrischen Energiebedarf in Teilen zu decken.

Power Usage Effectiveness (PUE)

Die Power Usage Effectiveness (PUE) gibt das Verhältnis des jährlichen Gesamtenergiebedarfs eines Rechenzentrums zum jährlichen Energiebedarf der IT-Komponenten eines Rechenzentrums an. Der PUE-Wert ist damit ein Maß für die Effizienz der Infrastrukturen (Kühlung, USV, Transformatoren, Brandschutz, etc.). Aufgrund der komplexen technischen Zusammenhänge im Rechenzentrum und der Abhängigkeit des PUE-Wertes von verschiedenen Technologiekonzepten sowie von den klimatischen Rahmenbedingungen ist die Aussagekraft des Wertes jedoch begrenzt und als alleinige Effizienzkennzahl für Rechenzentren nicht geeignet (Schödwel, Zarnekow, Gröger, Liu & Wilkens, 2018).

Quanten Computer

Ein Quanten-Computer arbeitet nach den Gesetzen der Quantenmechanik und somit auf Basis der quantenmechanischen Zustände und Prinzipien. Mit Quantencomputern ist beispielsweise eine effiziente Suche in extrem großen Datenbanken möglich. Derzeit wird an ersten Prototypen geforscht.

Regelleistung aus RZ

Mit dem Angebot von Regelleistung können RZ ihr Notstromaggregat oder die Batteriespeicher der USV netzdienliche Leistung zur Verfügung stellen. Mit Hilfe einer Steuerbox werden diese Komponenten in ein virtuelles Kraftwerk integriert und werden dadurch fähig, Regelleistung bereitzustellen. Alleine die Vorhaltung wird mit einem Leistungspreis (€/MW) vergütet. Je nach tatsächlichem Abruf wird zusätzlich ein Arbeitspreis vergütet (€/MWh). Bei einem Stromausfall hat weiterhin die Versorgung des RZ Priorität.

Schnelle Bypass-Umschaltung

Neue Erkenntnisse in der Leistungselektronik ermöglichen, die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) von RZ direkt über einen Bypass und ohne Umwandlungen mit Hilfe einer Umschalteinrichtung verzögerungsfrei zu gewährleisten. Dies ersetzt den normalerweise üblichen Double-Konversion Modus (der gesamte Strom wird, gleichgerichtet, im Akkumulator stabilisiert und wieder in Wechselstrom umgewandelt) von Rechenzentren, bei dem vor allem im Teillastbetrieb hohe Ineffizienzen auftreten.

SDx - Software Defined Everything

Der umfassende Begriff des Software-Defined-Everything (SDx oder auch Software Defined Anything) deckt ein breites Technologie-Feld ab. Anfänglich im Netzwerkbereich (Software Defined Networking SDN), wird SDx nun umfassend alle Aspekte des RZ, von Software-Defined-Storage SDS bis hin zu Automatisierung und Management der gesamten Infrastruktur. Durch SDx kann der Administrator softwarebasiert mit Hilfe einer einzigen, zentralen Lösung die Ressourcen und Betriebsmittel verwalten, ohne dass ein physischer Zugriff notwendig ist.

Sektorkopplung

Sektorkopplung beschreibt die gesamtheitliche Betrachtung und Optimierung der Energiesektoren Strom, Wärme, Verkehr und Industrie. Primär wird der Austausch von Energie durch die Wandlung von Energieträ-

gern zwischen den Sektoren betrachtet. Die Sektorkopplung macht vor allem die Nutzung von erneuerbarem Strom in nicht elektrifizierbaren Anwendungen möglich (z.B. mit Power-to-X). In IKT-Infrastruktur spielt die Sektorkopplung insbesondere in der Abwärmenutzung, im Angebot von Regelleistungen, lastadaptiven RZ und Integration von erneuerbaren Energiequellen eine Rolle.

Silicon Photonics

Silicon Photonics ermöglicht die Datenübertragung durch Licht zwischen Computerchips durch die Kombination von Lichtwellenleiter und Siliziumtechnologie. Dadurch werden eine größere Bandbreite sowie höhere Übertragungsgeschwindigkeiten erreicht. Somit wird die Prozessgeschwindigkeit und die Leistung von Computern deutlich erhöht sowie die Energieeffizienz verbessert (Asghari & Krishnamoorthy, 2011; Barwicz et al., 2007; Mrejen, Suchowski, Bachelard, Wang & Zhang, 2017). Zwar wird bei Pilotprojekten eine Verdopplung der Energieeffizienz angestrebt (Bergman et al., 2018), eine reale Abschätzung ist jedoch noch nicht möglich. Im Wissenschaftspark Adlershof/Berlin wird weltweit führend an dieser Technologie geforscht.

Softwaredefinierte Stromversorgung

Die Integration vieler IT-Komponenten der Stromversorgung in das softwarebetriebene Management des RZ optimiert die Stromversorgung. So kann besser auf die realen Betriebslasten reagiert und beispielsweise die jeweilige Spannung an die Bauteilalterung angepasst werden (DataCenter Insider, 2017; electronicspecifier.com, 2017).

Solare Kühlung

Die mit solaren Energiesystemen gewonnene Energie kann auf drei Arten zur Kühlung genutzt werden: PV-Strom-betriebene Kompressionskältemaschine, thermomechanische Systeme und solarthermische System. Die solarthermischen Systeme können offen (Sorptionsgestützte Kälteerzeugung) oder geschlossen (Ab- oder Adsorptionstechnik) geführt werden. Sorptionsgeschützte Kältesysteme senken die Temperatur direkt ab und entfeuchten die Luft. Ab- oder Adsorptionskälteprozesse produzieren Kaltwasser zur Kühlung (Morgenstern, Safarik, Wiemken & Zachmeier, 2016).

Stadt-/Raumplanung zur Abwärmenutzung

Aufgrund des aufwändigen Transports von Wärme über längere Strecken, ist es sinnvoll die Abwärmenutzung von IKT-Infrastruktur in der Energieversorgung der Städteplanung zu beachten. Dies ermöglicht eine effiziente und langfristige Nutzung der Abwärme von RZ. Bebauungspläne können beispielsweise von Beginn an eine verpflichtende Wärmeversorgung über ein Niedertemperatur-Wärmenetz einplanen, wenn sich ein RZ in der Nähe befindet.

Stand-by Ready Architekturen

Um in Zeiten niedriger Auslastung die Leistungsaufnahme von nicht gebrauchter Serverleistung zu senken, kann durch automatisiertes Management ein Teil der Hardware in einem besonders energiesparenden Bereitschaftszustand gesetzt werden. Dies wird Standby Ready genannt. Bisher benötigt IKT-Betriebsmittel im Leerlauf weiterhin bis zu 50% der Nennleistung. Sicherheitsreserven, Redundanzen und der fortlaufende Ausbau von RZ und Datennetzen machen Standby Ready Architekturen signifikant, für einen effizienten Betrieb komplexer IKT-Systeme.

System on a Chip

Wird ein Großteil oder die gesamten Funktionen eines programmierbaren elektronischen Systems auf einem Chip integriert, spricht man von System-on-a-Chip (SoC). Mobile System können durch SoC möglichst klein und energieeffizient gehalten. Auch in RZ können die kompakte Bauweise und hohe Energieeffizienzpotentiale von System-on-a-Chip genutzt werden, wie IBM Power-Prozessoren sowie die TheMachine-Technologie von HPE zeigen.

Systemübergreifende Ganzheitliche Effizienzoptimierung

Bei der Optimierung der Energieeffizienz von IKT-Systemen werden bisher nur einzelne Elemente betrachtet und keine umfassende ganzheitliche Betrachtungsebene angewandt. Dies kann aber zu weiteren großen Effizienzpotentialen führen. Hierfür wird der Ansatz des Enterprise Resource Planning (ERP) verfolgt, bei dem geschäftsprozessbezogen die Ressourcen innerhalb eines Unternehmens, meist in Echtzeit analysiert und gesteuert werden. Der Einsatz von ERP in IKT-Infrastruktur kann eine hohe Auslastung der IKT gewährleisten. Die Geschäftsprozessorientierung ermöglicht die Optimierung der eigentlich dezidierten Leistung des Systems und erreicht deutlich bessere Ergebnisse als heutige DCIM-Lösungen.

Transformatorlose USV

Mit Hilfe von IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) aus der Leistungselektronik werden Transformator und somit Wandlungsverluste in der USV hinfällig, da damit Spannungsumwandlung sowie Gleich-/Wechselrichtung ohne Induktionsbasierten Transformator möglich sind. Mit IGBT sind Wirkungsgrade von bis zu 99% realisierbar.

Videokompression (AV1 ff.)

Die Größe des Datenvolumens hat eine direkte Auswirkung auf die zukünftige Energieeffizienz und Verbesserungen im Bereich der Videokompression haben somit ein großes Potential zur Energieeinsparung. Derzeit konkurrieren lizenzkostenfreie Verfahren mit proprietären Videocodecs (z.B. AOMedia Video 1 (AV1) oder HEVC/H.265 Codec).

Wassergekühlter Umrichter

In RZ wird an verschiedenen Stellen elektrische Energie umgewandelt zwischen Gleich- und Wechselspannung sowie bei Spannungsänderungen. Mit wassergekühlten Komponenten kann die bei den Wandlungsprozessen entstehende Wärme effizienter als durch Luftkühlung abgeführt werden.

Wasserkühlung ganzer Server

Die Wasserkühlung des gesamten Servers macht kompakte lüfterlose Systeme (Racks sowie Stand-Alone-Lösungen) möglich. Dabei wird die gesamte Wärme aller Serverbestandteile über Wasser abgeführt. Dies macht Einsparungen in Volumen und Gewicht sowie Energieersparnisse möglich. Zudem wird ein hohes Temperaturniveau des abfließenden Wassers erreicht, was eine vielseitige Nachnutzung ermöglicht (Thomas Krenn AG, 2017).

Wasserkühlung Platinen

Einzelne Platinen können mittels einer Wasserkühlung und einem an die Platine angepassten großen Kühlkörper individuell gekühlt werden. Für die Wasserkühlung dieser einzelnen Komponenten eines Servers sind verbindende Leitungen zu weiteren Komponenten sowie zu den Wärmeüberträgern notwendig.

Wasserkühlung Prozessoren

Prozessoren können mit direkt aufgesetzten Wasser-Kühlkörpern entwärmt werden. Vorteil davon ist die besonders hohe Wärmekapazität von Wasser sowie die Möglichkeit höherer Kühleffizienz, Leistungsdichten sowie Platzersparnissen. Zudem kann das warme Abwasser als Wärmeträger genutzt werden (Hanstein & Abels, 2017).

Windkraft

Die direkte Nutzung des mit Windkraft erzeugten elektrischen Stromes im Rechenzentrum mit örtlichem und zeitlichem Zusammenhang.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Amarnath, A., Bagherzadeh, J., Tan, J. & Dreslinski, R. G. (2019). 3DTUBE: A Design Framework for High-Variation Carbon Nanotube-based Transistor Technology. *2019 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)* (S. 1–6). Gehalten auf der 2019 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED). <https://doi.org/10.1109/ISLPED.2019.8824874>
- Ascierto, R. & Lawrence, A. (2020). *Uptime Institut global data center survey 2020*. Uptime Institute.
- Asghari, M. & Krishnamoorthy, A. V. (2011). Energy-efficient communication. *Nature Photonics*, 5(5), 268–270. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2011.68>
- ASKJA Energy. (2018). The Energy Sector. The Energy Sector. Reykjavik. Zugriff am 9.2.2018. Verfügbar unter: <https://askjaenergy.com/iceland-introduction/iceland-energy-sector/>
- Barwicz, T., Byun, H., Gan, F., Holzwarth, C. W., Popovic, M. A., Rakich, P. T. et al. (2007). Silicon photonics for compact, energy-efficient interconnects [Invited]. *Journal of Optical Networking*, 6(1), 63. <https://doi.org/10.1364/JON.6.000063>
- Bayer, M. (2017, Dezember 6). Getunt für KI und Machine Learning: IBM hofft mit Power9 auf Comeback im Server-Markt. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.computerwoche.de/a/ibm-hofft-mit-power9-auf-comeback-im-server-markt,3332178>
- Bergman, K., Shalf, J., Michelogiannakis, G., Rumley, S., Dennison, L. & Ghobadi, M. (2018). PINE: An Energy Efficient Flexibly Interconnected Photonic Data Center Architecture for Extreme Scalability. 2018 IEEE Optical Interconnects Conference (OI) (S. 25–26). Gehalten auf der 2018 IEEE Optical Interconnects Conference (OI), Santa Fe, NM: IEEE. <https://doi.org/10.1109/OIC.2018.8422036>
- Bitkom. (2018). *Technologie Trends: Server, Speicher, Netzwerk*. Berlin: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V (BITKOM). Verfügbar unter: www.bitkom.org
- Bitkom. (2020, Januar 24). Deutsche Rechenzentren haben höchste Stromkosten in Europa | Bitkom e.V. Zugriff am 20.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Deutsche-Rechenzentren-haben-hoechste-Stromkosten-in-Europa>
- BMWi & BMBF. (2019). Das Projekt GAIA-X. Zugriff am 12.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/das-projekt-gaia-x.html>
- BMWi (Hrsg.). (2020). *Energiedaten: Gesamtausgabe [Tabellenfassung]*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Zugriff am 15.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (2020). Energiepreise. Zugriff am 15.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/>
- CBRE. (2020). *Europe Data Centres Q4 2019*. Zugriff am 19.3.2020. Verfügbar unter: <https://www.cbre.de/en/global/research-and-reports/featured-reports-global/featured-reports-emea>
- Clausen, J., Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). *Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung in Rechenzentren in Deutschland - Hintergrundpapier*. Berlin.

- Cloud&Heat. (2019). *CO₂- und Kosteneinsparpotenziale durch das Cloud&Heat-Kühlsystem mit Abwärmenutzung in Rechenzentren*. Zugriff am 16.8.2020. Verfügbar unter: https://www.cloudandheat.com/wp-content/uploads/2020/02/2019-12-16_Whitepaper-Einsparpotenzial.pdf
- DataCenter Insider. (2017). Neue Stromversorgungsarchitekturen drücken die Datacenter-Kosten. Zugriff am 25.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/neue-stromversorgungsarchitekturen-druecken-die-datacenter-kosten-a-590569/>
- Dennard, R. H., Gaensslen, F. H., Hwa-Nien, W., Rideout, V. L., Bassous, E. & Leblanc, A. R. (1974). *Design of Ion-Implanted MOSFET's with Very Small Physical Dimensions*. IEEE.
- Die Bundesregierung. (2020). *Digitalisierung gestalten. Umsetzungsstrategie der Bundesregierung*. Berlin. Zugriff am 15.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1552758/c34e443dbe732e79c9439585b4fbade5/pdf-umsetzungsstrategie-digitalisierung-data.pdf?download=1>
- eco. (2020, Juli 8). eco zur umweltpolitischen Digitalagenda: so kann die Energieeffizienz von Rechenzentren weiter gesteigert werden. eco. Zugriff am 21.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.eco.de/news/eco-zur-umweltpolitischen-digitalagenda-so-kann-die-energieeffizienz-von-rechenzentren-weiter-gesteigert-werden/>
- EEA. (2020). *CO₂ Intensity of Electricity Generation*. Data table. European Environmental Agency (EEA). Zugriff am 23.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/co2-intensity-of-electricity-generation>
- electronicspecifier.com. (2017). On the road to software defined power architecture. Zugriff am 25.10.2017. Verfügbar unter: <http://www.electronicsspecifier.com/power/on-the-road-to-software-defined-power-architecture>
- Energierreferat Stadt Frankfurt am Main. (2016). „Masterplan 100 % Klimaschutz“ – Frankfurt am Main - Generalkonzept Kurzfassung. Frankfurt am Main: Energierreferat Stadt Frankfurt am Main (Hrsg.). Zugriff am 1.8.2016. Verfügbar unter: <https://frankfurt.de/themen/klima-und-energie/klimaschutz/masterplan>
- EU Kommission. (2020). *Gestaltung der digitalen Zukunft Europas (COM/2020/67 final)*. Zugriff am 29.4.2020. Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:67:FIN>
- Europäische Kommission. (2020, Juli 8). Fragen und Antworten: Eine EU-Strategie zur Integration des Energiesystems. *European Commission - European Commission*. Text, . Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_20_1258
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. Nr. COM(2019) 640 final. European Commission COM (2019) 640 final. Zugriff am 11.2.2020. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- European Commission. (2020, März 11). EU criteria - GPP - Data centres, server rooms and cloud services. Zugriff am 26.10.2020. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/gpp/eu_gpp_criteria_en.htm
- Evans, R. & Gao, J. (2016, Juli 20). DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%. *DeepMind*. Zugriff am 15.4.2019. Verfügbar unter: <https://deepmind.com/blog/>
- Exler, A. & Ostler, U. (2016, September 6). Wer heute noch löscht, steht auf dem Schlauch. Zugriff am 17.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/wer-heute-noch-loescht-steht-auf-dem-schlauch-a-547783/>

- Fichter, K. & Clausen, J. (2013). *Erfolg und Scheitern „grüner“ Innovationen*. Marburg: Metropolis.
- Funke, T., Hintemann, R., Kaup, C., Maier, C., Müller, S., Paulußen, S. et al. (2019). *Abwärmenutzung im Rechenzentrum: Ein Whitepaper vom NeRZ in Zusammenarbeit mit dem eco – Verband der Internetwirtschaft e. V.* Berlin.
- Google. (2020). *Realizing a carbon-free future Google's Third Decade of Climate Action*. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/carbon-free-by-2030.pdf>
- 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>
- Hanstein, B. (2014). *Abschlussbericht Verbundprojekt AC4DC - Adaptive computing for green data centres*. Zugriff am 11.5.2016. Verfügbar unter: https://www.tib.eu/de/suchen?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=getDocument&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bd%5D=89ce474be708d3076c2ec0153e5156f2&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A858992612&cHash=77853715a74fd73fd8474eae52725b2e
- Hanstein, B. & Abels, C. (2017). *Planung: Klimakonzepte für Rechenzentren*. Haustec. Zugriff am 23.11.2017. Verfügbar unter: <https://www.haustec.de/kaelte-klima/kaeltetechnik/planung-klimakonzepte-fuer-rechenzentren>
- Häuslein, S. (2019, Juli 23). *Wasserbasierte Kühlung für mehr Energieeffizienz im Rechenzentrum*. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/wasserbasierte-kuehlung-fuer-mehr-energieeffizienz-im-rechenzentrum-a-848970/>
- Hilty, L., Lohmann, W., Behrendt, S., Evers-Wölk, M., Fichter, K. & Hintemann, R. (2015). *Grüne Software. Ermittlung und Erschließung von Umweltschutzpotenzialen der Informations- und Kommunikationstechnik (Green IT)*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Hintemann, R. (2014). *Consolidation, Colocation, Virtualization, and Cloud Computing – The Impact of the Changing Structure of Data Centers on Total Electricity Demand*. In L. Hilty & B. Aebischer (Hrsg.), *ICT Innovations for Sustainability. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hintemann, R. (2017). *Energieeffizienz und Rechenzentren in Deutschland – weltweit führend oder längst abgehängt? - Präsentation*. Berlin: Netzwerk energieeffiziente Rechenzentren - NeRZ. 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. (2019a, März 13). *Neues Projekt zur Abwärmenutzung in Rechenzentren*. Zugriff am 26.2.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/neues-projekt-zur-abwaermenutzung-in-rechenzentren-a-809390/>
- Hintemann, R. (2019b, April 26). *Leistungsdichte in Hochschulrechenzentren steigt weiter an*. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/leistungsdichte-in-hochschulrechenzentren-steigt-weiter-an-a-824150/>
- Hintemann, R. (2019c, Juli 31). *Whitepaper von NeRZ und eco zum Thema Abwärmenutzung*. Zugriff am 26.2.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/whitepaper-von-nerz-und-eco-zum-thema-abwaermenutzung-a-851830/>

- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018a). *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin: Borderstep Institut. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018b). *Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 26.4.2018. Verfügbar unter: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., Fichter, K. & Schlitt, D. (2014). Adaptive computing and server virtualization in German data centers - Potentials for increasing energy efficiency today and in 2020. In Marx Gómez, Sonnenschein, Vogel, Winter, Rapp & Giesen (Hrsg.), *Proceedings of the 28th Conference on Environmental Informatics - Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management* (S. 477–484). Gehalten auf der EnviroInfo 2014 - ICT for Energy Efficiency, Oldenburg: BIS. Zugriff am 25.1.2015. Verfügbar unter: <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol8514/0477.pdf>
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2018a). Innovation alliances for sustainable ICT - Good practices and success factors, using the example of initiatives to improve the energy efficiency of data centers. *EPIC Series in Computing* (Band 52, S. 125–136). Gehalten auf der ICT4S2018, Toronto. <https://doi.org/10.29007/k8d7>
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2018b). Technology radars for energy-efficient data centers: A transdisciplinary approach to technology identification, analysis and evaluation. *Sustainable Technologies. World Congress. 2018. (WCST 2018)*. Gehalten auf der World Congress on Sustainable Technologies, Cambridge: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Zugriff am 24.1.2019. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/330359801_Technology_radars_for_energy-efficient_data_centers_A_transdisciplinary_approach_to_technology_identification_analysis_and_evaluation
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2020). *Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung - Teil 1*. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Zugriff am 11.6.2020. Verfügbar unter: <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>
- Huesmann, F. (2019, Dezember 18). EEG-Umlage: Das bringt Verbrauchern die Entlastung im Klimapaket.
- IBM. (2017). Brain Power. Zugriff am 28.11.2017. Verfügbar unter: <http://www.research.ibm.com/cognitive-computing/neurosynaptic-chips.shtml#fbid=mEDcZAZt96Q>
- IBM. (2019, Januar 31). GPU-beschleunigte KI in der Cloud. Zugriff am 27.10.2020. Verfügbar unter: <https://www.ibm.com/de-de/cloud/info/gpu-accelerated-ai>
- Jalali, F., Hinton, K., Ayre, R., Alpcan, T. & Tucker, R. S. (2016). *Fog Computing May Help to Save Energy in Cloud Computing*. IEEE. Zugriff am 10.6.2019. Verfügbar unter: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/46054239/Fog_Computing_May_Help_to_Save_Energy.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DFog_Computing_May_Help_to_Save_Energy_in.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20190615%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20190615T200823Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=d18e0d8dfa6a67c0f5ba25dcf631fcdf5af671d10e0788a9d-ea8bc106a92f76b
- Klingenburg GmbH. (o. J.). Adiabate Kühlung - „Kühlen ohne Strom“. Zugriff am 23.11.2017. Verfügbar unter: <http://www.klingenburg.de/wissen/adiabate-kuhlung/>
- Li, M.-Y., Su, S.-K., Wong, H.-S. P. & Li, L.-J. (2019). How 2D semiconductors could extend Moore's law. *Nature*, 567(7747), 169–170. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00793-8>

- Liggitt, D. (2020). 2Q 2020 Data Center Market Overview for North America and Europe. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenterhawk.com/blog/2q-2020-data-center-market-overview-for-north-america-and-europe>
- Luber, S. & Karlstetter, F. (2018, Juli 27). Was ist Fog Computing? Zugriff am 17.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.cloudcomputing-insider.de/was-ist-fog-computing-a-736757/>
- Lutz, H. & Ostler, U. (2020a, März 10). Nutzung von Datacenter-Abwärme? Es gibt nicht nichts. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/nutzung-von-datacenter-abwaerme-es-gibt-nicht-nichts-a-911135/>
- Lutz, H. & Ostler, U. (2020b, September 9). Städtisches Planungsamt will über Cluster aktiv ein Angebot für Datacenter-Bauten schaffen. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/staedtisches-planungsamt-will-ueber-cluster-aktiv-ein-angebot-fuer-datacenter-bauten-schaffen-a-962042/>
- Lutz, H. & Ostler, U. (2020c, März 12). „Ich kann die Entscheidung von Amsterdam gut verstehen“. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/ich-kann-die-entscheidung-von-amsterdam-gut-verstehen-a-910872/>
- Market Research Future. (2018, März). High Performance Computing (HPC) Market Report- Forecast to 2023 | HPC Market. Zugriff am 25.6.2018. Verfügbar unter: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/high-performance-computing-market-2698>
- Martins, F. & Kobylinska, A. (2018). KI Beschleuniger. *KI im Rechenzentrum*, 15–22.
- Minde, T. B. & Ostler, U. (2020, September 24). KI, maschinelles Lernen und Selbstoptimierung für Rechenzentren. Zugriff am 27.10.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/ki-maschinelles-lernen-und-selbstoptimierung-fuer-rechenzentren-a-966223/>
- Moore, G. E. (1965). *Cramming more components onto integrated circuits*. Nr. Volume 38. Intel. Verfügbar unter: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/05/moores-law-electronics.pdf>
- Moore, G. E. (1975). *Progress In Digital Integrated Electronics*. Intel. Verfügbar unter: http://www.eng.auburn.edu/~agrawvd/COURSE/E7770_Spr07/READ/Gordon_Moore_1975_Speech.pdf
- Mordor Intelligence. (2020). Edge Computing Market | Growth, Trends, Forecasts (2020-2025). Zugriff am 21.10.2020. Verfügbar unter: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/edge-computing-market-industry>
- Morgenstern, A., Safarik, M., Wiemken, E. & Zachmeier, P. (2016). *Solare Klimatisierung von Gebäuden*. Themeninfo Nr. III/2016. Bonn: BINE Informationsdienst. Zugriff am 23.11.2017. Verfügbar unter: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/mit-solarer-waerme-kuehlen-1/>
- Mrejen, M., Suchowski, H., Bachelard, N., Wang, Y. & Zhang, X. (2017). Low-loss and energy efficient modulation in silicon photonic waveguides by adiabatic elimination scheme. *Applied Physics Letters*, 111(3), 033105. <https://doi.org/10.1063/1.4994024>
- Müller, D. & Ostler, U. (2019, April 5). RZ-Abwärme versorgt 400 Wohnungen. *Datacenter Insider*. Zugriff am 10.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/rz-abwaerme-versorgt-400-wohnungen-a-816813/>
- Müller, D. & Schmitz, L. (2018, April 5). Asetek und Intel kühlen gemeinsam. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/asetek-und-intel-kuehlen-gemeinsam-a-700819/>

- Nowitzky, G. (2012). Brunnenkühlung als Alternative: Kühlung aus der Tiefe. *IT-Zoom*. Zugriff am 23.11.2017. Verfügbar unter: <https://www.it-zoom.de/it-mittelstand/e/kuehlung-aus-der-tiefe-4663/>
- Oberdörfer, E. (2017, Februar 24). Uni bekommt neues Rechenzentrum. *OZ - Ostsee-Zeitung*. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.ostsee-zeitung.de/Vorpommern/Greifswald/Uni-bekommt-neues-Rechenzentrum>
- Open District Heating & Stockholm Exergi. (2020). Recover your excess heat with Open District Heating. Zugriff am 10.8.2020. Verfügbar unter: <https://www.opendistrictheating.com/our-offering/>
- Ostler, U. (2018a, 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/>
- Ostler, U. (2018b, Mai 14). Googles Machine-Learning-Chip braucht Flüssigkeit. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/googles-machine-learning-chip-braucht-fluessigkeit-a-714421/>
- Ostler, U. (2019a, August 1). OVH ist Familienbetrieb und Hyperscaler. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/ovh-ist-familienbetrieb-und-hyperscaler-a-851799/>
- Ostler, U. (2019b, Juli 17). Keine neuen Datacenter mehr! Region Amsterdam verfügt Baustopp. Zugriff am 25.2.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/keine-neuen-datacenter-mehr-region-amsterdam-verfuegt-baustopp-a-847190/>
- Ostler, U. (2019c, September 26). Nvidia-VP zu Energie-Effizienz, Cloud und der KI-Beschleuniger-Konkurrenz. Zugriff am 28.9.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/nvidia-vp-zu-energie-effizienz-cloud-und-der-ki-beschleuniger-konkurrenz-a-868471/>
- Ostler, U. (2020a). Google will Datacenter-Workloads auf Sonnenstunden legen. *DataCenter-Insider*. Zugriff am 11.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/google-will-datacenter-workloads-auf-sonnenstunden-legen-a-927614/>
- Ostler, U. (2020b, Juli 3). Die ersten Thomas-Krenn-Server mit Flüssigkühlung sind da. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/die-ersten-thomas-krenn-server-mit-fluessigkuehlung-sind-da-a-945916/>
- Peckham, M. (2012). The Collapse of Moore's Law: Physicist Says It's Already Happening. *Time*. Zugriff am 15.4.2019. Verfügbar unter: <http://techland.time.com/2012/05/01/the-collapse-of-moores-law-physicist-says-its-already-happening/>
- Pinto, G. & Castor, F. (2017). Energy efficiency: a new concern for application software developers. *Communications of the ACM*, 60(12), 68–75. ACM New York, NY, USA.
- Reveman, S. & Ostler, U. (2019, September 10). „7 Mio Tonnen CO₂! Und wir treffen auf Ignoranz & Betrug, nicht auf Einsicht & Ideen“. Zugriff am 24.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/7-mio-tonnen-co2-und-wir-treffen-auf-ignoranz-betrug-nicht-auf-einsicht-ideen-a-862989/>
- Reveman, S. & Ostler, U. (2020, August 6). Kopf in den Sand! Die verfügbare Energie schwindet, aber digitale Infrastrukturen wachsen. Zugriff am 21.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/kopf-in-den-sand-die-verfuegbare-energie-schwindet-aber-digitale-infrastrukturen-wachsen-a-954083/>
- Roderer, U. (2007, Oktober 12). Energieoptimierte Rechenzentren: Hardware, Software und das Kühldesign müssen zusammenpassen. Zugriff am 17.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/energieoptimierte-rechenzentren-hardware-software-und-das-kuehl-design-muessen-zusammenpassen-a-99827/>

- Schödwell, B., Zarnekow, R., Gröger, J., Liu, R. & Wilkens, M. (2018). *Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit*. Nr. 19/2018. Dessau-Roßlau. Zugriff am 10.7.2018. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>
- Steinhaus, I. (2013, Februar 8). Das nächste große Ding ist winzig. Zugriff am 17.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.it-zoom.de/it-director/e/das-naechste-grosse-ding-ist-winzig-5089/>
- Thomas Krenn AG. (2017). Hot-Fluid® Computing | Thomas-Krenn.AG. Zugriff am 19.10.2017. Verfügbar unter: <https://www.thomas-krenn.com/de/loesungen/hot-fluid-computing.html>
- Troms AS. (2018). Low electricity cost | Data Center in Troms. *dcit*. Zugriff am 2.9.2019. Verfügbar unter: <https://www.dcit.no/low-electricity-cost>
- TU Berlin IZE. (2008). *Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren. Studie zur Erfassung und Bewertung von innovativen Konzepten im Bereich der Anlagen-, Gebäude und Systemtechnik bei Rechenzentren*. Berlin: TU Berlin - Innovationszentrum Energie (IZE). Zugriff am 25.2.2015. Verfügbar unter: http://www.energie.tu-berlin.de/uploads/media/IZE_Konzeptstudie_Energieeffizienz_in_Rechenzentren.pdf
- Umweltbundesamt. (2020). *Ergebnisse des Forschungsprojektes „Green Cloud-Computing“: Politische Handlungsempfehlungen*. Zugriff am 15.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energie-ressourceneffizienz-digitaler>
- de Vries, A. (2018). Bitcoin's Growing Energy Problem. *Joule*, 2(5), 801–805.
- Waldrop, M. M. (2016). The chips are down for Moore's law. *Nature*, 530(7589), 144–147. <https://doi.org/10.1038/530144a>
- Weis, T. (2017). Abwärmenutzung aus Rechenzentren: Möglichkeiten – Potenziale – Einsatzgebiete. *IKZ Gebäude- und Energietechnik*.
- Wilke, S. (2020, März 16). Energieverbrauch für fossile und erneuerbare Wärme. Umweltbundesamt. Text, Umweltbundesamt. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-fuer-fossile-erneuerbare-waerme>
- Witsch, K. (2020, August 13). Kommentar: Die vergessene Wärmewende. Zugriff am 19.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.handelsblatt.com/meinung/kommentare/kommentar-die-vergessene-waermewende/26088292.html>

ÜBER DIE ALLIANZ ZUR STÄRKUNG DIGITALER INFRASTRUKTUREN IN DEUTSCHLAND

Die Internetwirtschaft ist Schlüsselbranche und Wachstumsmotor unserer Zeit: Ihr Anteil an der Gesamtwirtschaft steigt seit Jahren kontinuierlich. Doch während Provider und große Anbieter sozialer Plattformen häufig im Fokus von Politik und Öffentlichkeit sind, bleiben die Unternehmen, die am Anfang der Wertschöpfungskette Internet stehen – nämlich Betreiber digitaler Infrastrukturen wie Rechenzentren oder Colocation Anbieter – bislang weitgehend unbekannt. Gleichwohl ist diese Branche von herausragender Bedeutung für eine gelingende digitale Transformation in Deutschland. Die Allianz

zur Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland ist ein Zusammenschluss führender Unternehmen aus verschiedenen Branchen digitaler Infrastrukturen wie etwa Rechenzentrumsbetreiber, Co-Location-Anbieter, Internet Service Provider, Carrier, Cloudanbieter, Softwarehersteller und Vertreter aus der Anwendungsindustrie unter dem Dach von eco – Verband der Internetwirtschaft e.V.. Ihre Mitglieder wollen auf die Bedeutung ihrer Branche für den Digitalstandort Deutschland aufmerksam machen und in einen konstruktiven Dialog mit Politik und Öffentlichkeit treten.

Unterstützer



