

RECHENZENTREN IN EUROPA – CHANCEN FÜR EINE NACHHALTIGE DIGITALISIERUNG

Teil 1

Stand: 19. Mai 2020

Ralph Hintemann
Simon Hinterholzer

IMPRESSUM

Autoren / Autorinnen

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

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

Zitiervorschlag

Hintemann, R. & Hinterholzer, S (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung. 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
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Rechenzentren und Nachhaltigkeit	9
3 Cloud Computing und Colocation Rechenzentren in Europa	13
4 Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa	17
5 Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren	22
6 Ausblick und Fazit	26
7 Literaturverzeichnis	30

EINORDNUNG UND ABGRENZUNG DER VORLIEGENDEN UNTERSUCHUNG

Die vorliegende Studie befasst sich mit den Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren und fasst die Ergebnisse des ersten Teils einer Untersuchung zu diesem Themenfeld zusammen. Die Studie zeigt die Bedeutung des Energie- und Ressourcenbedarfs und weiterer Nachhaltigkeitswirkungen der Rechenzentren in Europa auf und ermittelt die Entwicklung von Energieeffizienz und Energiebedarf der Rechenzentren in Europa. Außerdem wird der Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren für Europa und seine Regionen ermittelt. Die Studie liefert damit die Grundlagen für den zweiten Teil der Untersuchung, in dem die Potenziale von Technologien und organisatorischen Handlungsoptionen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Senkung der Treibhausgasemissionen in Rechenzentren ermittelt und dargestellt werden. Außerdem stellt der zweite Teil der Studie Fallbeispiele für energie- und ressourceneffiziente Rechenzentren in Europa vor und diskutiert Chancen und Herausforderungen regulatoriver Rahmensetzung.

Gegenstand der Untersuchung sind die Rechenzentren in Europa als Teil der digitalen Infrastrukturen. Breitbandnetze werden nur insofern mitbetrachtet, wie sie in ihrer Funktion für den Betrieb der Rechenzentren notwendig sind. Der Begriff Rechenzentren wird entsprechend den Definitionen der DIN EN 50600 und vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik weit gefasst. Zu Rechenzentren gehören die zentralen IT-Betriebsbereiche innerhalb von kleinen und großen Organisationen sowie IT-Betriebsbereiche, aus denen Services für Dritte erbracht werden. Damit reicht die Spannweite des Begriffs vom Serrack oder Serrraum in einem kleinen oder mittleren Unternehmen über Colocation Rechenzentren, Supercomputer für Forschung & Entwicklung bis hin zu Hyperscale-Cloud Rechenzentren. Auch speziell errichtete Rechensysteme, die z.B. für Krypto-Mining oder künstliche Intelligenz entwickelt werden, werden als Rechenzentren verstanden. In der räumlichen Abgrenzung fokussiert diese Studie auf die Europäische Union (EU 27), betrachtet aber zusätzlich auch Großbritannien, die Schweiz und Norwegen.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen	9
Abbildung 2: Nachhaltigkeitsziele und Wertschöpfungsketten von Rechenzentren.	11
Abbildung 3: Nutzung von bezahlten Cloud Services in Unternehmen mit mehr als zehn Mitarbeitern (EU28+Norwegen)	13
Abbildung 4: Einzelpersonen, die in den letzten 3 Monaten das Internet für Soziale Netzwerke nutzten (2019).....	14
Abbildung 5: Überblick über Studien zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa im Zeitraum von 2010 bis 2020	18
Abbildung 6: Energiebedarf von Rechenzentren in Europa (ab 2020: Prognose)	19
Abbildung 7: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa nach Art der Rechenzentren (ab 2020: Prognose).....	20
Abbildung 8: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa nach Region (ab 2020: Prognose).....	21
Abbildung 9: Spezifische CO ₂ -Emissionen der nationalen Stromerzeugung in europäischen Ländern im Jahr 2017 (CO ₂ -Intensität).....	23
Abbildung 10: CO ₂ -Emissionen durch den Strombedarf von Rechenzentren in Europa.	24
Abbildung 11: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 in drei Szenarien	28
Abbildung 12: Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 in verschiedenen Szenarien	29

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASIC

Application Specific Integrated Circuit, anwendungsspezifische integrierte Schaltung

BMU

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

CAPEX

Capital expenditures (Investitionsausgaben)

EE

Erneuerbare Energien

EEcS-GoO

European Energy Certificate System - Guarantee of Origin

EU

Europäische Union

OPEX

Operational expenditures (laufende Ausgaben)

PPA

Power Purchase Agreement

RZ

Rechenzentrum

SDGs

Sustainable Development Goals

UNFCCC

Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen

WBGU

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

1 EINLEITUNG

Die Digitalisierung verändert die Welt. Sie hat massive Auswirkungen auf gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Ebene. Digitale Technologien bieten aber auch enorme Potenziale zur nachhaltigen Gestaltung unserer Zukunft, wie das Gutachten „Unsere gemeinsame digitale Zukunft“ des Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) aufzeigt (WBGU, 2019). Der WBGU vergleicht die Wirkungen des digitalen Wandels mit den Veränderungen durch die Entwicklung der menschlichen Sprache, das Aufkommen produzierender Wirtschaftsweisen wie Ackerbau und Viehzucht, die Entstehung der Städte, die Erfindung der Druckerpresse und die industrielle Revolution.

In der Vergangenheit sind die Themenfelder Digitalisierung und Nachhaltigkeit oft getrennt diskutiert worden. Dies hat auch dazu geführt, dass die Auswirkungen der Digitalisierung¹ nicht immer zu nachhaltigen Entwicklungen geführt haben. Die zentrale Gestaltungsaufgabe der Zukunft liegt daher darin, digitale Technologien vermehrt in den Dienst

der globalen Nachhaltigkeit zu stellen (WBGU, 2019, S. 27) und so die Zukunftsfähigkeit unserer Gesellschaft auf regionaler, nationaler, europäischer und globaler Ebene zu sichern.

Als Basisinfrastrukturen der Digitalisierung haben leistungsfähige Rechenzentren neben einer entsprechenden

Breitband-Infrastruktur einen erheblichen Einfluss auf die aktuelle und künftige wirtschaftliche Entwicklung

und bieten die Grundlage für die hohen zu erwartenden zusätzliche Wertschöpfungspotenziale der Digitalisierung. Rechenzentren und Breitbandnetze sind aber auch eine zentrale Voraussetzung für eine ökologisch nachhaltig ausgerichtete Digitalisierung in Europa. Sie können einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele in Deutschland und Europa beitragen.

Der vorliegende Bericht stellt die Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren dar und liefert neue Ergebnisse zur Entwicklung von Energieeffizienz, Energiebedarf und Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Europa. Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse des Berichts kurz zusammenfassend dargestellt:

- Die Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren werden in der öffentlichen Diskussion oft auf den Energiebedarf und den damit teilweise gleichgesetzten Ausstoß von Treibhausgasen verengt. Rechenzentren haben aber einen weitaus größeren Einfluss auf die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele. Eine leistungsfähige, widerstandsfähige und nachhaltige digitale Infrastruktur fördert eine zukunftsfähige Industrialisierung und unterstützt Innovationen. Die aktuelle Corona-Situation belegt diese Bedeutung der digitalen Infrastrukturen. Die Corona-Pandemie zeigt auch auf, in welchem Maße Verkehr und physische Mobilität in einem solchen Ernstfall durch digitale Lösungen ersetzt werden und damit Treibhausgasemissionen eingespart werden können.
- Eine zunehmende Digitalisierung ist mit einem Anstieg der Nachfrage nach Rechen- und Speicherleistungen verbunden. Im vergangenen Jahrzehnt hat sich die weltweite Leistung der Rechenzentren um den Faktor zehn erhöht. Die weltweit übertragene Datenmenge hat sich sogar um fast den Faktor 20 erhöht. Gleichzeitig konnte die Energieeffizienz der Rechenzentren deutlich verbessert werden. Daher ist der starke Leistungszuwachs nur mit einem moderaten Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa um 55% verbunden.

Rechenzentren sind gemeinsam mit einer leistungsfähigen Breitbandinfrastruktur ein Kernelement einer auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Digitalisierung.

¹ Die Bedeutung der Rechenzentren als digitale Infrastrukturen und eines ausgebauten Öko-Systems von IT-Dienstleistern, Softwareanbietern, Systemhäusern, digitalen Plattformen und Content-Anbietern wird ausführlich in der Studie „Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland“ (Hintemann & Clausen, 2018a) behandelt.

- Die Treibhausgasemissionen der Rechenzentren sind dagegen im vergangenen Jahrzehnt aufgrund der Effizienzsteigerungen und des zunehmenden Einsatz von erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung zurückgegangen. Für die Zukunft ist damit zu rechnen, dass sich dieser Rückgang noch beschleunigt. Bis zum Jahr 2030 ist davon auszugehen, dass die Treibhausgasemissionen um 30% gegenüber heute reduziert werden.
- Cloud Computing stellt einen wesentlichen Trend bei der Bereitstellung von IT-Services dar, sei es als Public Cloud, Private Cloud oder auch zunehmend als Hybrid Cloud. Die Nutzung Cloud-basierter Lösungen entwickelt sich in Europa im Vergleich zu anderen Märkten bisher nur langsam. Im Jahr 2018 nutzten 26% der europäischen Unternehmen bezahlte Cloud Services (Eurostat, 2018). Der weitere Ausbau von Cloud Lösungen bietet hohe Potenziale zur Steigerung von Energieeffizienz und damit zur Verbesserung des Klimaschutzes.
- Mit geeigneten Rahmenbedingungen können Rechenzentren noch deutlich klimafreundlicher werden. Ansatzpunkte liegen in dem beschleunigten Ausbau von Erneuerbaren Energien in der Strom-

erzeugung, z.B. über sogenannten Power Purchase Agreements (PPA) oder dem lokalen Betrieb von regenerativen Stromerzeugungsanlagen. Auch die Nutzung der Abwärme liefert hohe Potenziale für einen nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb.

- Digitale Infrastrukturen im Allgemeinen und Rechenzentren im Besonderen müssen in Zukunft mehr in ein energiewirtschaftliches Gesamtkonzept eingebunden werden. Damit kann eine Basis für eine nachhaltige und wettbewerbsfähige Digitalisierung in Europa geschaffen werden.

Die vorliegende Studie ist wie folgt aufgebaut. Im Anschluss einer Darstellung der Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren werden die aktuellen Marktentwicklungen im Bereich der Rechenzentren, insbesondere in den Segmenten Cloud Computing und Colocation, erläutert. Kapitel vier befasst sich mit der Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa. Im anschließenden Kapitel fünf wird der Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Treibhausgasemissionen in Europa dargestellt. Den Abschluss des Berichts bildet ein Ausblick auf die künftigen Entwicklungen und ein kurzes Fazit.

2 RECHENZENTREN UND NACHHALTIGKEIT

Die Auswirkungen des Betriebs von Rechenzentren auf die Nachhaltigkeit ist ein Thema, das auch in der Öffentlichkeit zunehmend diskutiert wird. Meist wird auf den Energiebedarf der Rechenzentren und den damit teilweise gleichgesetzten Ausstoß von Treibhausgasen fokussiert. Eine ganzheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren wird jedoch nur sehr selten vorgenommen.

Rechenzentren haben jedoch vielfältige Bezüge zu den verschiedenen Facetten des Themas Nach-

haltigkeit. Die alleinige Fokussierung auf den Energiebedarf und die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren wird der Breite der oft positiven Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren nicht gerecht.

Die Vereinten Nationen haben in der Agenda 2030 insgesamt 17 nachhaltige Entwicklungsziele (Sustainable Development Goals - SDGs) verabschiedet, die die verschiedenen Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung berücksichtigen. In Abb. 1 sind diese



Abbildung 1: 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen

Quelle: Vereinte Nationen, CC-BY-SA 3.0

Ziele im Überblick dargestellt. Die Ziele reichen von der Bekämpfung der Armut, über eine saubere und bezahlbare Energieversorgung bis hin zum weltweiten Frieden. Außerdem macht die Zielmatrix der Vereinten Nationen deutlich, dass die ausgerufenen Ziele nur durch Partnerschaften zwischen einzelnen Staaten erreicht werden können. Deshalb ist die Bildung von Partnerschaften ebenso als ein Ziel für nachhaltige Entwicklung formuliert worden.

Der Betrieb von Rechenzentren und die dabei vor- und nachgelagerten Prozesse haben sowohl mittelbaren als auch unmittelbaren Einfluss auf die Erreichung aller Nachhaltigkeitsziele. Dieser Bericht konzentriert sich auf die Nachhaltigkeitsziele, die unmittelbar vom Betrieb der Rechenzentren beeinflusst werden. Diese Auswahl stellt keine Priorisierung dar. Die mittelbaren Einflüsse und Wirkungen sind jedoch so vielfältig, dass eine detaillierte Darstellung den Rahmen dieser Untersuchung deutlich überschreiten würde. Dies betrifft insbesondere die Wirkungen der auf Rechenzentrumsleistungen aufbauenden digitalen Services. Im WBGU-Gutachten „Unsere gemeinsame digitale Zukunft“ werden die Bezüge zwischen digitalen Angeboten und den 17 Nachhaltigkeitszielen im Detail aufgezeigt und analysiert (WBGU, 2019).

In Bezug auf die Klimawirkungen der Digitalisierung existieren sehr hohe Potenziale zur Senkung der Treibhausgasemissionen. Diese können um den Faktor drei bis zehn über den Treibhausgasemissionen liegen, die durch den Betrieb digitaler Geräte

Digitale Technologien haben das Potential, zukünftig wesentlich mehr Treibhausgasemissionen einzusparen, als ihr Betrieb verursacht.

und Infrastrukturen direkt entstehen, wie verschiedene Studien ermitteln (GeSI & Accenture Strategy, 2015; GeSI & Deloitte, 2019; GeSI & The Boston Consulting Group, 2012; Hilty & Bieser, 2017; Malmmodin & Bergmark, 2015). Digitale Technologien ermöglichen es, Wirtschaftsprozesse ressourcenschonender zu realisieren, Verkehrsströme effizient und intelligent und die Gesellschaft insgesamt nachhaltiger zu gestalten. Die Hebung dieser Potenziale ist eine zentrale Aufgabe einer auf Klimaschutz ausgerichteten Digitalisierung.

Die aktuelle Corona-Pandemie zeigt auf, welche Potenziale zum Klimaschutz die Digitalisierung im Ernstfall bieten kann. Der europäische Flugverkehr wie auch der innerdeutsche Bahnverkehr sind um 85% zurückgegangen (Tagesschau, 2020). In NRW wurde 70% weniger Straßenverkehr gemessen (Dwertmann, 2020). Dies führt zumindest kurzfristig zu einer starken Senkung des Treibhausgasausstoßes in Deutschland (Deutschlandfunk, 2020). Dennoch werden die Geschäfts- und Privatkommunikation aufrechterhalten und neue Kommunikations- und Arbeitsformen wie das Videoconferencing oder die Arbeit im Homeoffice bestimmen das Leben von Millionen von Arbeitnehmenden und Selbständigen. Die positiven Klimawirkungen können auch nach Ende der Pandemie weiter bestehen. In einer Befragung gehen 71% der Deutschen davon aus, dass sich das Homeoffice auch nach der Coronakrise weiter etablieren wird (Schuster, 2020).

Auch auf vorgelagerten Wertschöpfungsstufen nehmen Rechenzentren mittelbar Einfluss auf verschiedene Nachhaltigkeitsziele (Abbildung 2). Über ihre Beschaffung können insbesondere große, global agierende Unternehmen einen deutlichen Einfluss ausüben.

Unmittelbar mit dem Rechenzentrumsbetrieb verbunden sind insbesondere die **Nachhaltigkeitsziele „Bezahlbare und saubere Energie“, „Maßnahmen zum Klimaschutz“ sowie „Nachhaltiges Konsumieren und Produzieren“**. Dieser Bericht befasst sich in den Kapiteln 4 und 5 mit diesen Themenfeldern.

Großen Einfluss hat der Rechenzentrumsbetrieb auch auf die Zielsetzung **„Industrie, Innovation und Infrastruktur“**, bei der es um den Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur geht, um breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung zu fördern und Innovationen zu unterstützen. Rechenzentren stellen neben den Breitbandnetzen eine Basisinfrastruktur für viele neue Technologien und Anwendungen dar. Unternehmen benötigen Rechenzentren, um ihre Produkte und Dienstleistungen in der erforderlichen

Rechenzentren sind als Basisinfrastruktur eine wichtige Voraussetzung für eine nachhaltige Industrialisierung und unterstützen Innovation.

2 Rechenzentren und Nachhaltigkeit

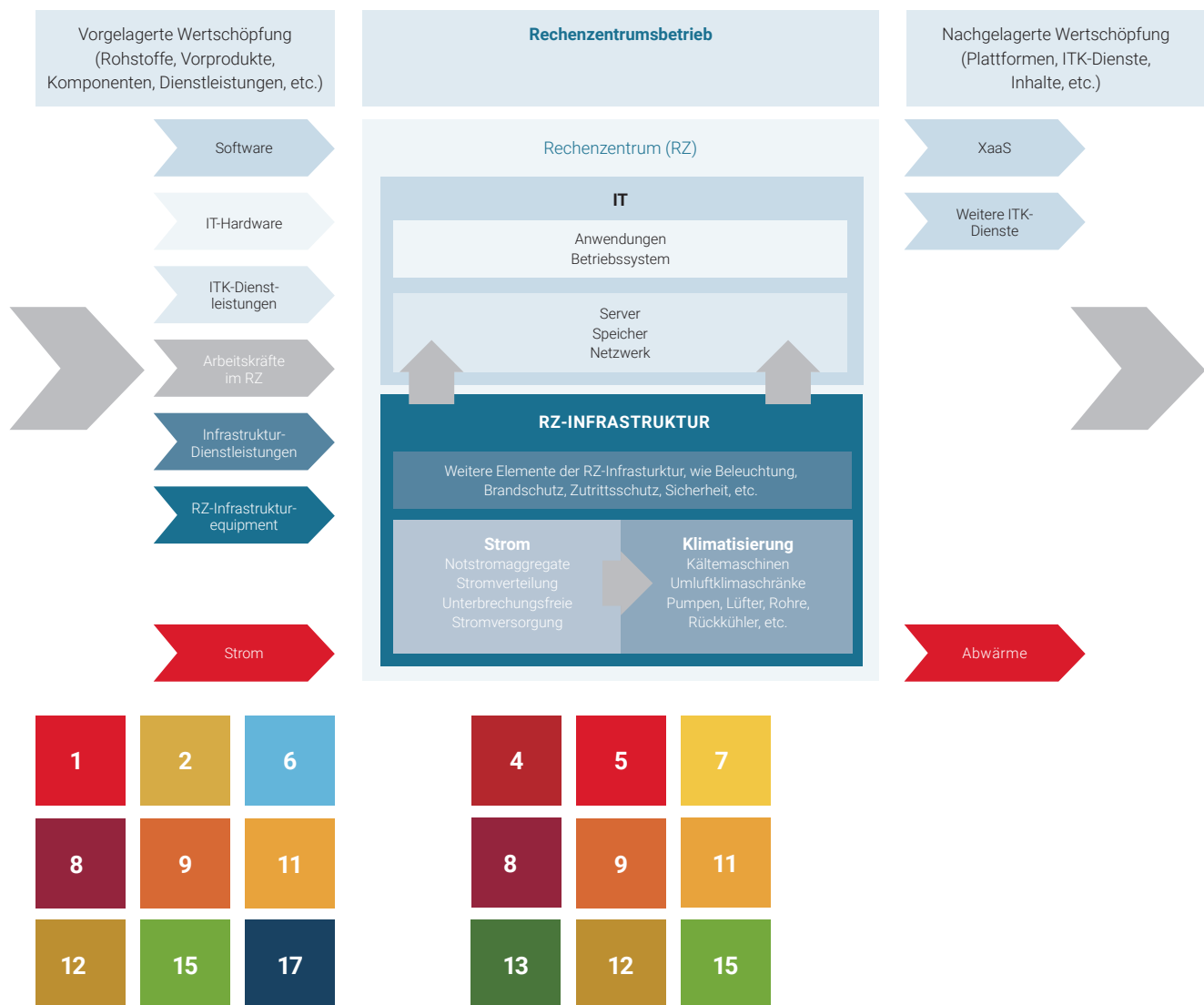


Abbildung 2: Nachhaltigkeitsziele und Wertschöpfungsketten von Rechenzentren

Abbildung aus (Hintemann & Clausen, 2018a) mit Ergänzungen

Qualität zu erstellen und zu wettbewerbsfähigen Preisen anzubieten (Hintemann & Clausen, 2018a). Zudem sind Rechenzentren ein Innovationsmotor in mehrfacher Hinsicht. Zum einen benötigen Neuentwicklungen von Produkten oft leistungsfähige Recheninfrastrukturen für Simulationen und Analysen. Immer mehr Anwendungen der künstlichen Intelligenz ermöglichen neue und verbesserte Produkte und Dienstleistungen, die unter anderem auch zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können (Jetzke, Richter, Ferdinand & Schaat, 2019). Technologien wie Autonomes Fahren, Lösungen im

Bereich von Smart City oder Industrie 4.0 sind ohne leistungsfähige Rechenzentrumsinfrastrukturen gar nicht möglich (Deloitte Consulting, 2016). Insbesondere für solche Anwendungen mit einem hohen Datenaufkommen und/oder hohen Anforderungen an die Latenz wird erwartet, dass in den nächsten Jahren zusätzlich zu den bestehenden Rechenzentren eine große Zahl weiterer, kleiner - sogenannte Edge Rechenzentren - aufgebaut werden (Ostler, 2019a; Vertiv, 2019). Die lokale, anwendungsspezifische Bereitstellung von Rechenleistung in Edge Rechenzentren bringt in vielen Fällen Effizienzvorteile gegen-

2 Rechenzentren und Nachhaltigkeit

über einer hoch zentralisierten Datenverarbeitung, da große Datenmengen nahe dem Entstehungsort (vor-) verarbeitet werden können und nur noch destillierte Daten an zentrale Rechenzentren übertragen werden müssen.

Leistungs- und widerstandsfähige digitale Infrastrukturen sind auch eine wesentliche Voraussetzung für die wirtschaftliche Entwicklung und das menschliche Wohlergehen. In der aktuellen Corona-Ausnahmesituation wird dies besonders deutlich: Trotz deutlich angestiegenem Datenverkehr mit durchschnittlich 10% höherem Traffic und einem neuen Übertragungsrekord von 9,1 Tbit/s am DE-CIX in Frankfurt (DE-CIX, 2020a) arbeiten die digitalen Infrastrukturen reibungslos (Martin-Jung, 2020). Rechenzentren und Breitbandnetze ermöglichen es, private und geschäftliche Kommunikation aufrechtzuerhalten und bieten in vielen Situationen Alternativen für die Arbeitswelt und das gesellschaftliche Leben. Mehr noch: Die digitalen Infrastrukturen wirken in der Corona-Krise sogar als Innovationstreiber, z.B. in den Bereichen E-Health oder E-Bildung (Apobank, 2020; BR, 2020; Krahnert, 2020)

Einen großen Einfluss können Rechenzentren auch auf die Ziele im Bereich **„Nachhaltige Städte und Gemeinden“** ausüben. Rechenzentren werden oft in Ballungsgebieten errichtet, da hier unter anderem meist eine sehr gut ausgebaute Netzwerkinfrastruktur besteht. Die größten Rechenzentrumsstandorte in Europa liegen in Frankfurt am Main, London, Amsterdam und Paris. In diesen Ballungsgebieten bestehen oft Nutzungskonflikte hinsichtlich der verfügbaren Infrastrukturen und Flächen (Janović, 2019; Lutz & Ostler, 2020a; Ostler, 2019b; Schaefer & Ostler, 2020). Rechenzentren bieten aber auch große Potenziale für nachhaltige Städte und Gemeinden, wenn sie intelligent in die Raumplanung und die Energiesysteme eingebunden werden (Lutz & Ostler, 2020b; Reveman & Ostler, 2016). Das Beispiel Stockholm zeigt, dass die Abwärme von Rechenzentren systematisch für die Wärmeversorgung von Städten genutzt werden kann, wenn entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden (Funke et al., 2019). Auch in Deutschland gibt es erste Beispiele für Abwärmenutzung aus Rechenzentren mit dem Eurotheum in Frankfurt am Main (Ladner, 2017) oder mit einem Rechenzentrum von VW Financial Services in Braunschweig, das ein Wohngebiet mit Wärme versorgt

(Klostermeier, 2019). Das Thema Abwärmenutzung aus Rechenzentren wird im zweiten Teil der Untersuchung detailliert betrachtet.

Auch das Nachhaltigkeitsziel **„Leben an Land“**, mit dem Ländökosysteme geschützt, wiederhergestellt und ihre nachhaltige Nutzung gefördert werden soll, kann von Rechenzentren direkt beeinflusst werden. Auch im ländlichen Raum ist eine ausgebaute Rechenzentrumsinfrastruktur von hoher Bedeutung für die regionale Wirtschaft (Hintemann & Clausen, 2018a). Sehr große Hyperscale-Cloud Rechenzentren werden teilweise bewusst abseits großer Metropolen aufgebaut. Solche Investitionen haben spürbare positive Auswirkungen auf die Entwicklung der regionalen Wirtschaft und gesellschaftliches Leben. Mit Investitionen in eine nachhaltige Energieversorgung wird bei solchen Projekten oft auch der Ausbau regenerativer Energien gefördert (Basalisco, 2018; Dose, 2018). Da mit zunehmender Digitalisierung der Bedarf an Rechenzentrumskapazitäten weiter zunehmen wird, bietet eine intelligente und nachhaltige Verbindung von Stadt- und Raumplanung sowie Energie- und Datennetzen sowohl in Städten als auch im ländlichen Raum hohe Nachhaltigkeitspotenziale. Mit dem zu erwartenden Ausbau von Edge Rechenzentren werden die Möglichkeiten sogar weiter ansteigen.

Rechenzentrumsbetreibende haben in ihrer Funktion als Arbeitgeber auch direkten Einfluss auf die Nachhaltigkeitsziele im Bereich **„Bildung, Gleichstellung und menschenwürdige Arbeit“**. Der Betrieb von Rechenzentren schafft und sichert qualitativ hochwertige Arbeitsplätze. Allein in Deutschland sichern Rechenzentren mehr als 200.000 Arbeitsplätze (Hintemann & Clausen, 2018a).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass zuverlässige digitale Infrastrukturen eine Grundvoraussetzung für eine nachhaltige Wirtschaft und Gesellschaft darstellen. In öffentlichen Diskussionen wird bei der Nachhaltigkeitsbewertung von Rechenzentren hauptsächlich auf den Energiebedarf und die Klimawirkungen fokussiert. Rechenzentren haben aber viele weitere Nachhaltigkeitswirkungen, welche direkt und indirekt Beiträge zu allen 17 Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen leisten, und bieten damit große Chancen für eine nachhaltige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft.

3 CLOUD COMPUTING UND COLOCATION RECHENZENTREN IN EUROPA

Die Rechenzentrumsbranche befindet sich in einem kontinuierlichen Wandel. Während in den 2000er Jahren noch der eigene Betrieb von IT-Hard- und Software (on premise) bei Unternehmen und anderen Organisationen die Regel war, werden heute für Rechenzentrumsleistungen zunehmend Dienstleister in Anspruch genommen. Dies erfolgt durch die Nutzung des Angebots von Colocation Rechenzentren oder auch durch Angebote von IT-Dienstleistern, Hosting- und Cloud Unternehmen.

Cloud Computing entwickelt sich zur dominierenden Art der IT-Nutzung (Eurostat, 2018; IDC, 2015). Vorteile wie Flexibilität, Skalierbarkeit, geringer Administrationsaufwand oder keine Investitionskosten führen dazu, dass sich immer mehr Organisationen dafür

entscheiden, Cloud Technologien zu nutzen. Dabei werden mit Public Clouds, Private Clouds und Hybriden Clouds unterschiedliche Modelle eingesetzt. Auch im privaten Bereich gewinnen Cloud Services – oft in Form von kostenfreien Angeboten oder als Flatrate Service – zunehmende Beliebtheit. Bei der Nutzung von Cloud Services unterscheiden sich die Regionen innerhalb von Europa zum Teil deutlich.

Im Vergleich zu anderen Teilen der Welt liegt Europa bei der Nutzung von Cloud Services in Unternehmen zurück (Lorica & Nathan, 2019). Im Durchschnitt nutzten 26% der EU-Unternehmen im Jahr 2018 bezahlte Cloud Services. In den letzten Jahren hat sich Cloud Nutzung von Unternehmen merklich erhöht, im Jahr 2014 nutzten erst 19% der Unternehmen Cloud

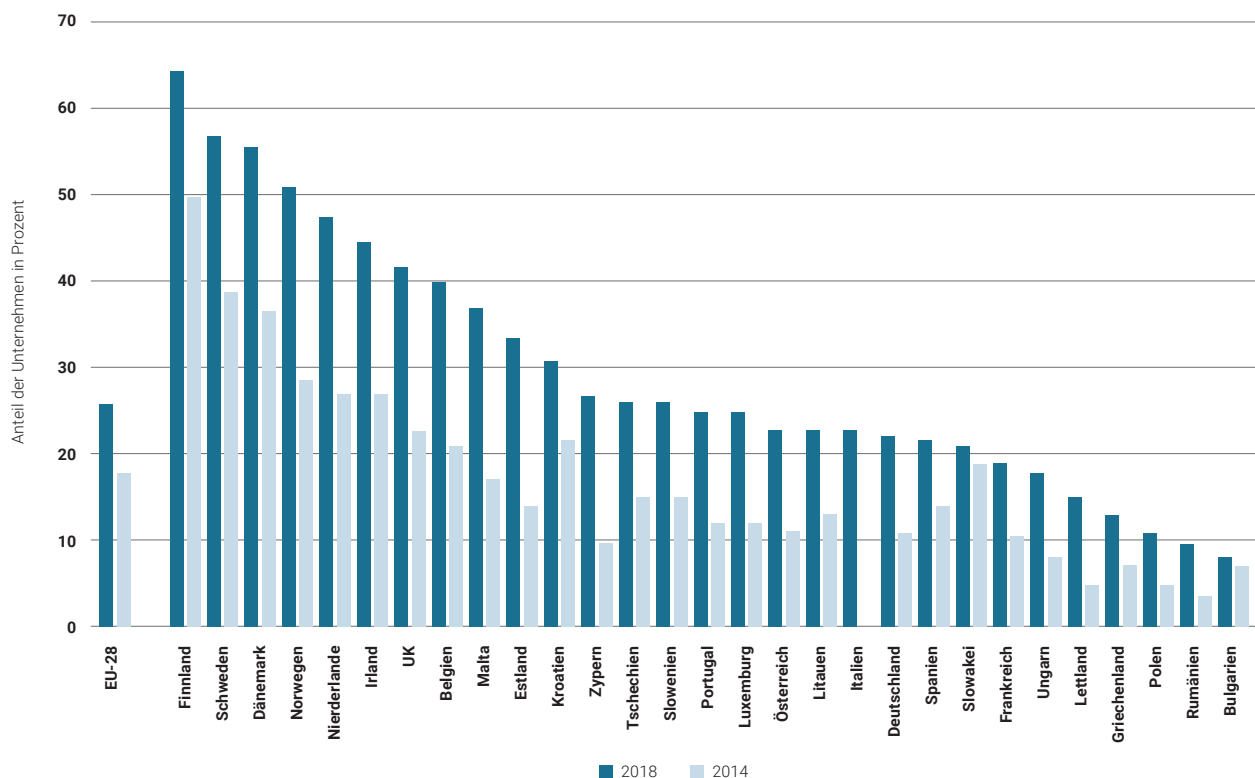


Abbildung 3: Nutzung von bezahlten Cloud Services in Unternehmen mit mehr als zehn Mitarbeitern (EU28+Norwegen)

Quelle: (Eurostat, 2018)

3 Cloud Computing und Colocation Rechenzentren in Europa

Services. Vor allem die skandinavischen Länder liegen mit über 50% Cloud Nutzung an der Spitze, während über die Hälfte der übrigen europäischen Mitgliedsstaaten mit unter 30% eine relativ geringe Nutzung von Cloud Services aufweisen (Abb. 3). In Deutschland gelten vor allem die Bedenken im Hinblick auf Datensicherheit als Hemmnis für die Verbreitung von Cloud Diensten, danach kommt die Angst vor dem Verlust von Daten sowie die Unklarheiten bei der Rechtslage (KPMG & Bitkom, 2019).

Einige Untersuchungen (CIF, 2017; IDC, 2015; KPMG & Bitkom, 2018) ermitteln eine deutliche höhere Cloud Nutzung in Unternehmen als die Eurostat-Befragung. Wie die Abweichungen in den Ergebnissen zu erklären sind, lässt sich nur vermuten. Statistisch ist die Eurostat-Untersuchung mit 158.000 befragten Unternehmen in allen Staaten der EU28 (Eurostat, 2018) mit großem Abstand am besten abgesichert. Daher ist davon auszugehen, dass diese Ergebnisse repräsentativ sind. Dass andere Untersuchungen zu abweichenden Ergebnissen kommen, könnte an

der jeweiligen konkreten Fragestellung liegen. Auch könnte es sein, dass in diesen Untersuchungen verhältnismäßig mehr große Unternehmen befragt wurden. Gemäß der Eurostat-Untersuchung nutzen 56% der großen Unternehmen Cloud Services, während nur 25% der kleinen und mittleren Unternehmen auf Cloud Services zurückgreifen. Weiterhin ist es möglich, dass bei Befragungen aus dem Umfeld von IT-Analysten verstärkt IKT-affine Unternehmen erreicht wurden, die mehr Cloud Services nutzen als der Durchschnitt der Unternehmen. Unabhängig von der aktuellen Höhe des Prozentsatzes der Cloud Nutzer, kommen aber alle Untersuchungen zu der Schlussfolgerung, dass die Nutzung von Cloud Services in Unternehmen deutlich zunimmt und die Cloud Nutzung zum Mainstream wird (CIF, 2017; Cisco, 2018; Dutch Data Center Association, 2017; eco & Arthur D. Little, 2015; Eurostat, 2018; IDC, 2015; KPMG & Bitkom, 2018).

Auch im privaten Bereich steigt die Nutzung von Cloud Services an. In Deutschland sind die unter

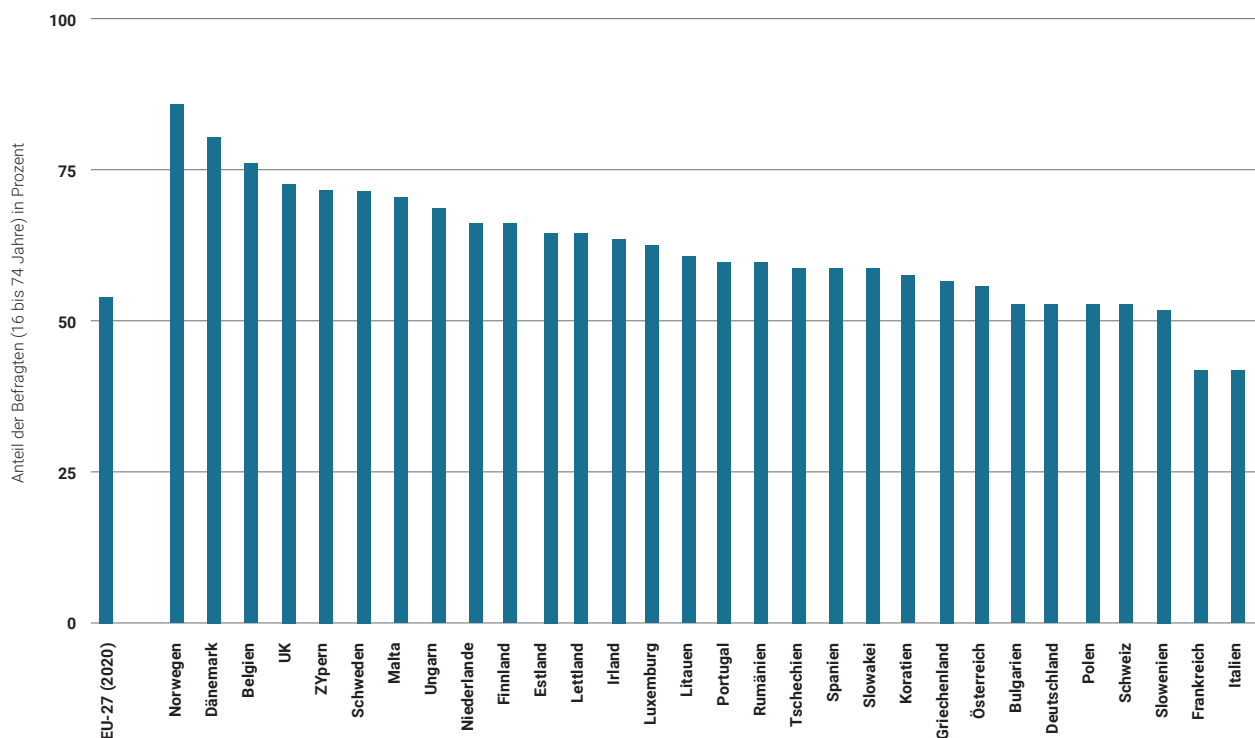


Abbildung 4: Einzelpersonen, die in den letzten 3 Monaten das Internet für Soziale Netzwerke nutzten (2019)

Quelle: (Eurostat, 2020)

40-jährigen pro Woche fast 75 Stunden online (Postbank, 2020). Diese Entwicklung wird zum Beispiel durch die Nutzung von sozialen Netzwerken dokumentiert. In der EU nutzten 54% der Personen zwischen 16 und 74 Jahren im Jahr 2019 das Internet für soziale Netzwerke. Im Jahr 2011 waren es noch 36% (Eurostat, 2020). Auch bei der privaten Internetnutzung ist festzustellen, dass diese insbesondere in Nordeuropa mit meist 70% und mehr besonders hoch ist. Dagegen liegt die Nutzung von sozialen Medien in Frankreich und Italien nur bei 40%. Nach Angaben von Cisco

Cloud Computing stellt einen wesentlichen Trend bei der Bereitstellung von IT Services dar. Die Nutzung Cloud-basierter Lösungen entwickelt sich in Europa aber im Vergleich zu anderen Märkten bisher nur langsam. Der weitere Ausbau von Cloud Lösungen bietet hohe Effizienzpotenziale.

sind Consumer Anwendungen aktuell für etwa 25% der Workloads und Compute Instances² in den Rechenzentren weltweit verantwortlich. Die Nutzung der Cloud Anwendungen Videostreaming und Soziale

Netzwerke wachsen am stärksten, für das Jahr 2021 prognostiziert Cisco einen Anteil dieser Anwendungen an den Workloads der im Consumer Bereich von knapp 60% (Cisco, 2018).

Cloud Technologien und Cloud Rechenzentren bieten erhebliche Potenziale zur Steigerung der Wirtschaftsleistung und zur Erhöhung der Kosten- und Energieeffizienz. Cloud Services sind sehr gut skalierbar und lassen sich an Leistungsbedarfe anpassen. Sie bieten in vielen Fällen die Möglichkeit, die vorhandenen IT-Kapazitäten deutlich besser auszulasten als mit traditionellen IT-Konzepten. Cloud Angebote

werden oft in großen, sehr effizienten und prozess-optimierten Rechenzentren bereitgestellt. Der United States Data Center Energy Usage Report geht davon aus, dass Hyperscale Cloud Rechenzentren um bis zu 80% weniger Energie für die Infrastrukturen wie Kühlung und Stromversorgung benötigen als klassische Rechenzentren (Shehabi et al., 2016)

Der Trend zu mehr Cloud Computing wirkt sich gesamtwirtschaftlich positiv aus. Eine Untersuchung von IDC im Auftrag der Europäischen Kommission prognostiziert für das Jahr 2020 einen Anstieg des Bruttoinlandsprodukts der EU durch Cloud Computing um 103 Mrd. €. Das wären 0,71% des BIP. Dieses Cloud-bedingte Wirtschaftswachstum wäre mit über 300.000 neuen Unternehmen und fast 1,6 Mio. neuen Arbeitsstellen in der EU verbunden (IDC, 2015).

Gemäß Cisco stellen Cloud Technologien bereits heute das dominante Bereitstellungsmodell in Rechenzentren dar und sind für den Großteil der Datenverarbeitung, -speicherung und -übertragung verantwortlich. In Westeuropa sind im Jahr 2020 gemäß Cisco-Prognosen nur noch knapp 10% der Workloads in den Rechenzentren sogenannte traditionelle Workloads. Mehr als 90% sind dagegen Cloud Workloads. Gemessen an der Zahl der physischen Server bedeutet dies, dass in Westeuropa 75% der Server als Cloud Server betrieben werden (Cisco, 2018). Bei der inhaltlichen Einordnung dieser Analysen von Cisco muss berücksichtigt werden, dass auch viele Unternehmen in ihren eigenen Rechenzentren bzw. auf ihrer eigenen IT-Hardware in Colocation Rechenzentren Cloud Technologien nutzen.

Im zurückliegenden Jahrzehnt wurden in Europa insbesondere die Kapazitäten von **Colocation Rechenzentren** deutlich ausgebaut. Allein an den großen Rechenzentrumsstandorten London, Frankfurt am Main, Paris und Amsterdam wurde das Angebot in den Colocation Rechenzentren zwischen 2010 und 2020 um den Faktor vier erhöht (CBRE, 2017a, 2020). Die Broadgroup geht von einem deutlich ansteigenden Anteil der Nutzer von Colocation Rechenzentren im Vergleich zum Eigenbetrieb von Rechenzentren aus. Waren im Jahr 2015 in Europa noch 78% der Rechenzentren im Eigenbetrieb, so wird für das Jahr 2020 nur noch ein Anteil von 54% prognostiziert (Howard-Healy, 2018). In Hessen mit dem Ballungsraum Frankfurt Rhein-Main liegt der Anteil der Co-

² Die Leistung von Rechenzentren ist nur schwer zu messen. Ein Ansatz besteht darin, die Zahl der in Rechenzentren laufenden Workloads und Compute Instances als Maß für die Leistung zu wählen. Cisco definiert Workload and Compute Instances wie folgt: "A server workload and compute instance is defined as a virtual or physical set of computer resources, including storage, that are assigned to run a specific application or provide computing services for one to many users." (Cisco, 2018). Im Folgenden wird aus sprachlichen Gründen immer nur der Begriff „Workloads“ statt „Workloads and Compute Instances“ verwendet.

location Rechenzentren an den Gesamtkapazitäten der Rechenzentren bei 50% (Hintemann & Clausen, 2018b). Im Markt für Colocation Dienstleistungen ist in den vergangenen Jahren eine deutliche Konzentration auf wenige große Anbieter festzustellen (Ostler,

2018). Allerdings gibt es auch weiterhin ein Vielzahl kleiner Anbieter mit Marktanteilen unter einem Prozent (Hintemann & Clausen, 2018b).

4 ENTWICKLUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ UND DES ENERGIEBEDARFS DER RECHENZENTREN IN EUROPA

Die zunehmende Digitalisierung erfordert leistungsstarke Rechenzentren. Weltweit hat sich das Angebot an Rechen-, Speicher- und Datenübertragungsleistungen im vergangenen Jahrzehnt massiv erhöht. So wird sich die Anzahl der auf Servern installierten Workloads nach Analysen von Cisco von 2010 bis 2021 um den Faktor zehn erhöht haben. Der IP-Datenverkehr der Rechenzentren soll sich in diesem Zeitraum sogar um den Faktor 19 erhöhen (Cisco, 2011, 2018). Welche Auswirkungen dieses starke Wachstum der Rechenzentrumsleistung auf den Energiebedarf der Rechenzentren hat, wird in der wissenschaftlichen Literatur unterschiedlich bewertet.

Während optimistische Studien davon ausgehen, dass der weltweite Energiebedarf der Rechenzentren im letzten Jahrzehnt nur gering angestiegen ist (GeSI & Deloitte, 2019; Malmodin & Lundén, 2018; Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Koomey, 2020), gehen pessimistische Analysen davon aus, dass sich der Energiebedarf der Rechenzentren weltweit vervielfacht habe (Andrae & Edler, 2015; Belkhir & Elmeligi, 2018; The Shift Project, 2019). Das Shift Project geht von einem Anstieg um mehr als den Faktor vier aus (The Shift Project, 2019).

Ein wesentlicher Grund für die bestehende Unklarheit zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren liegt darin, dass es für Rechenzentren nur wenig verfügbare Daten gibt. Insbesondere Daten über die Rechenzentren, die in Unternehmen für eigene Zwecke genutzt werden (on premise), liegen kaum vor (Hintemann, 2014). Selbst die Daten der verschiedenen Quellen zu Serververkaufszahlen unterscheiden sich teilweise fast um den Faktor zwei (Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2016).

Aus Sicht der Autoren des vorliegenden Berichts ist weder wahrscheinlich, dass der Energiebedarf der weltweiten Rechenzentren in den vergangenen Jahren konstant geblieben ist, noch, dass der Ener-

giebedarf sich um den Faktor drei oder vier erhöht hat. Gegen eine extreme Erhöhung spricht, dass die verfügbaren Zahlen zu Verkaufszahlen von IT-Hardware und Infrastrukturlösungen nicht mit einem solch deutlichen Anstieg des Energiebedarfs vereinbar sind. Ein im vergangenen Jahrzehnt weitgehend konstant gebliebener Energiebedarf ist auch kaum mit den verfügbaren Marktdaten vereinbar (Hintemann, 2020). Weltweit wurden im letzten Jahrzehnt die Rechenzentrumskapazitäten massiv ausgebaut (CBRE, 2017b, 2017c, 2020; Cook & Jardim, 2019; Greenpeace & North China Electric Power University, 2019; Howard-Healy, 2018; Technavio, 2015, 2020). Außerdem berücksichtigen die optimistischen Analysen offensichtlich nicht neue Anwendungen und IT-Infrastrukturen wie sie zum Beispiel für Krypto-Mining oder künstliche Intelligenz aufgebaut werden. So zeigt eine Reihe von Untersuchungen (CBECL, 2019; Digiconomist, 2019; Kamiya, 2019; Rauchs et al., 2018), dass allein für das Mining von Bitcoins im Jahr 2019 etwa 60 bis 70 TWh elektrische Energie benötigt wurde. Das allein wäre ca. 1/3 des weltweiten Energiebedarfs der Rechenzentren der optimistischen Analysen.

Auch die verschiedenen Studien, die sich mit der Entwicklung des Energiebedarf der Rechenzentren in Europa befassen, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen (Abb. 5). In einer Untersuchung für die EU Kommission wurde vom Borderstep Institut ein Anstieg des Energiebedarfs in der EU28 zwischen 2010 und 2020 um etwa 50% errechnet (EU Cloud Study in Abb. 4).

Die Borderstep-Berechnungen basieren auf einem detaillierten Modell der Rechenzentrumslandschaft, mit dem der Energiebedarf der Rechenzentren auf Basis des Bestandes an Einzelkomponenten (verschiedenen Servertypen, Speichersysteme, Netzwerkkomponenten, Kühlung/Klimatisierung, Stromversorgung, etc.) berechnet werden kann. Dieses

4 Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa

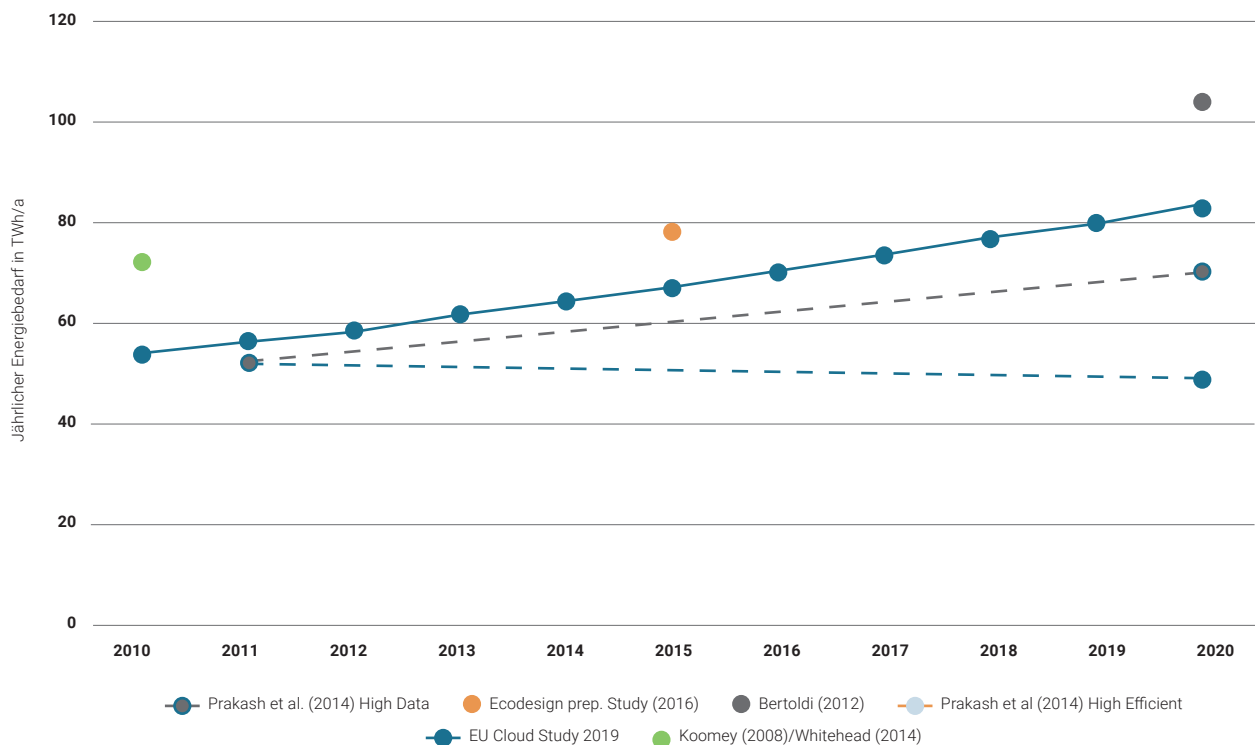


Abbildung 5: Überblick über Studien zur Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa im Zeitraum von 2010 bis 2020

Quellen: (Bertoldi, Hirt & Labanca, 2012; Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM, 2016; Hintemann, 2019; Prakash, Baron, Ran, Proske & Schlösser, 2014)

Modell wird seit mehr als zehn Jahren laufend weiterentwickelt (Fichter & Hintemann, 2014; Hintemann & Clausen, 2018a; Hintemann, Fichter & Stobbe, 2010; Hintemann & Hinterholzer, 2019; Stobbe et al., 2015) und beinhaltet in der aktuellen Version über 10.000 einzelne Datensätze. Für die vorliegende Untersuchung wurde das Modell mit Verkaufszahlen zu Serverhardware (Stand 2020) aktualisiert und um die Länder Schweiz und Norwegen erweitert.

Abb. 5 zeigt die Ergebnisse der für den vorliegenden Bericht durchgeführten Berechnungen. Danach ist der Energiebedarf der Rechenzentren in Europa zwischen 2010 und 2020 von 56 TWh/a auf 87 TWh/a angestiegen (+ 55%). Damit benötigen die Rechenzentren aktuell ca. 2,7% des elektrischen Stroms in Europa. Für die Zukunft wird ein moderater weiterer Anstieg des Energiebedarfs auf 98 TWh/a bis 2030 prognostiziert. Die Analysen zeigen, dass die Investitionen in energieeffiziente Rechenzentrumsinfrastrukturen im zurückliegenden Jahrzehnt dazu geführt haben, dass der Anteil der technischen

Gebäudeausstattung für Klimatisierung, Stromversorgung, Brandschutz, etc. am Energiebedarf der Rechenzentren deutlich zurückgegangen ist. Dies ist ein nachhaltiger und positiver Effekt.

Während im Jahr 2010 die technische Gebäudeausstattung im Durchschnitt noch für etwa 50% des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa verantwortlich war, sank dieser Anteil bis zum Jahr 2020 auf 40%. Bei neu gebauten effizienten Rechenzentren liegt die technische Gebäudeausstattung schon heute bei einem Anteil von 25% oder weniger am Gesamtenergiebedarf.

Aufgrund der verhältnismäßig langen Betriebsdauer der Rechenzentrumsinfrastrukturen von oft mehr als 15 Jahren werden sich die Effizienzinvestitionen im Bestand vor allem im nächsten Jahrzehnt auszahlen. Es ist davon auszugehen, dass der Anteil der technischen Gebäudeausstattung im Bestand aller Rechenzentren bis zum Jahr 2030 auf durchschnittlich 25% zurückgehen wird.

4 Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa

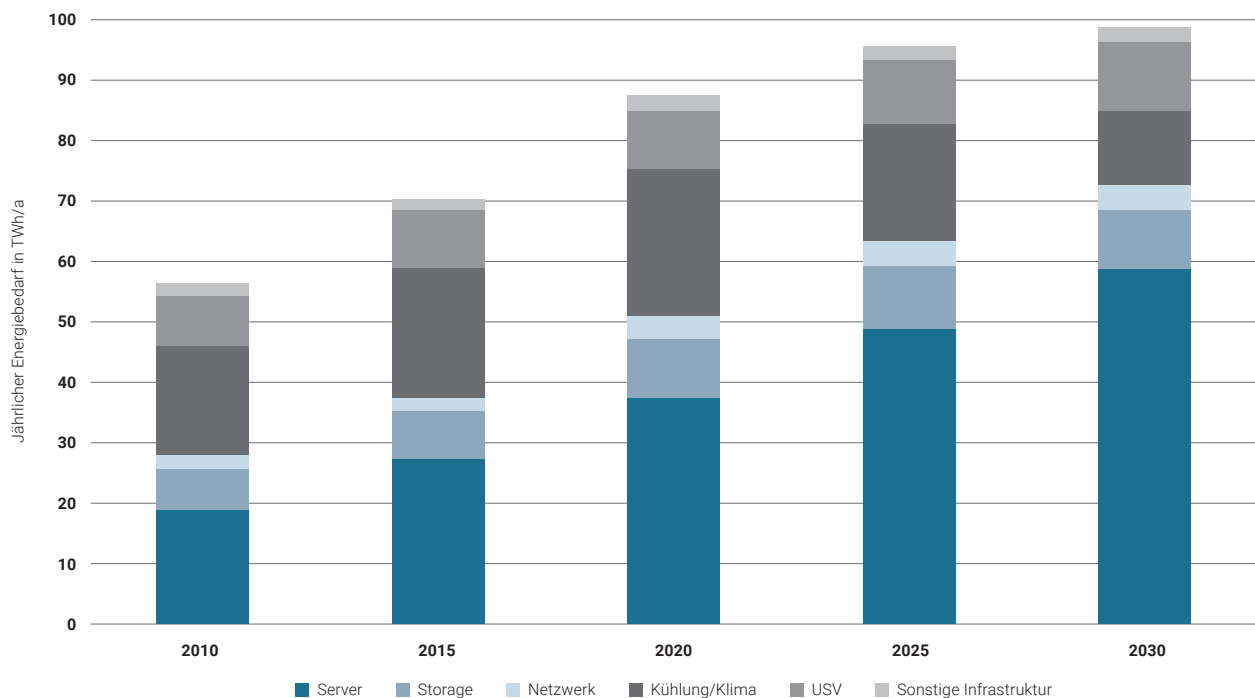


Abbildung 6: Energiebedarf von Rechenzentren in Europa (ab 2020: Prognose)

Auch bei der IT-Ausstattung der Rechenzentren wurden in der Vergangenheit sehr hohe Effizienzgewinne erzielt. Bezieht man die Entwicklung des Energiebedarfs auf die installierten Workloads in den Rechenzentren, so hat sich der Energiebedarf pro Workload seit 2010 etwa um den Faktor sechs

reduziert. Der Energiebedarf pro übertragenem GB Daten im Rechenzentrum hat sich sogar fast um den Faktor 12 verringert.

In Rechenzentren konnten im vergangenen Jahrzehnt hohe Effizienzgewinne erzielt werden. Bezogen auf die Rechen- und Speicherleistung hat sich der Energiebedarf um den Faktor sechs bis zwölf verringert.

Mit Blick auf die Entwicklung der IT-Bereitstellungsmodelle in Richtung Cloud Computing ist auch davon auszugehen, dass der Energiebedarf der Cloud Rechenzentren ansteigt. In der Praxis ist eine Abgrenzung von Cloud

Rechenzentren und traditionellen Rechenzentren oft nur schwer durchführbar, da auch in traditionellen Rechenzentren zunehmend Cloud Technologien genutzt werden. Immer mehr Unternehmen arbeiten heute mit hybriden Multi-Cloud Lösungen (Equinix,

2020; Flexera, 2020; VansonBourne, 2019). Für Anwendungen im Bereich der privaten Endkonsumenten ist davon auszugehen, dass diese überwiegend aus Cloud Rechenzentren angeboten werden. Für Unternehmensanwendungen wird auf Basis der oben dargestellten Entwicklung im Rahmen dieses Berichts davon ausgegangen, dass in Europa aktuell etwa 30% der Workloads aus Cloud Rechenzentren bereitgestellt werden. Damit beträgt der Anteil von Cloud Rechenzentren an den Workloads in Europa etwas mehr als 50%.

Abb. 7 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa in Abhängigkeit von der Art der Rechenzentren. Trotz der Effizienzvorteile (Masanet et al., 2020; Shehabi, Smith, Masanet & Koomey, 2018) steigt der Energiebedarf von Cloud Rechenzentren in der Vergangenheit kontinuierlich an. Dies ist damit zu begründen, dass sich Cloud Computing wie oben dargestellt zum dominanten Bereitstellungsmodell entwickelt. Auch in Zukunft wird der Anteil der Cloud Rechenzentren an den Workloads der Rechenzentren und damit auch am Energiebedarf weiter ansteigen. In Abb. 7 ist auch eine Prognose des Energiebedarfs der Edge Rechenzentren in Euro-

4 Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa

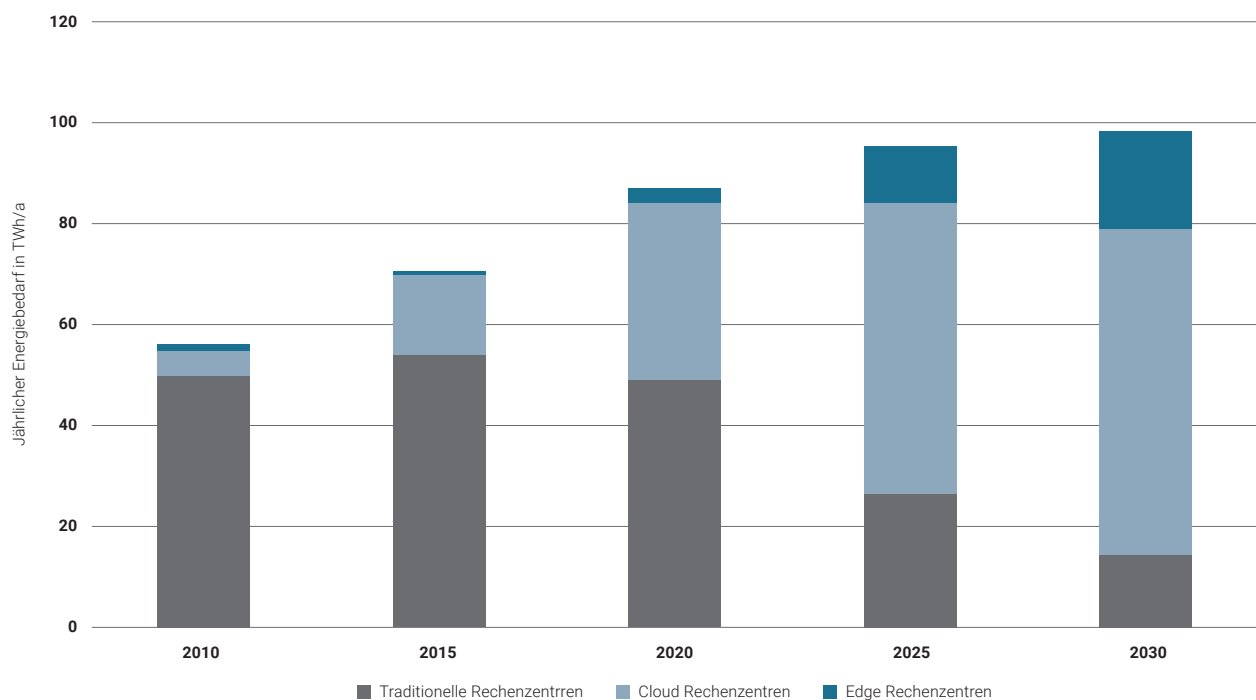


Abbildung 7: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa nach Art der Rechenzentren (ab 2020: Prognose)

pa dargestellt. Aus heutiger Sicht ist die Entwicklung des Marktes der Edge Rechenzentren nur grob abzuschätzen. Der Prognose liegt die Annahme zugrunde, dass sich das Marktvolumen von Edge Rechenzentren jährlich um ca. 20% erhöht, wie dies Marktanalysten vorhersagen (SBWire, 2018). Setzt sich diese Entwicklung fort, so könnten Edge Rechenzentren bis zum Jahr 2030 für ca. 20% des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa verantwortlich sein.

Die Digitalisierung treibt den Ausbau der Rechenzentrumsinfrastrukturen insbesondere in West- und Nordeuropa.

Im letzten Jahrzehnt konnte ein starkes Wachstum der Rechenzentrumsbranche insbesondere in Westeuropa, Nordeuropa und Skandinavien festgestellt werden. In Westeuropa war das Wachstum vor allem

durch die hohe Wirtschaftskraft und die vorhandenen guten Netzinfrastrukturen bedingt. Nordeuropa und Skandinavien bieten Vorteile für einen kostengünstigen und aufgrund der klimatischen Bedingungen, energieeffizienten Betrieb von Rechenzentren. Außerdem können dort große Anteile des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen werden. Die skandinavischen Länder betreiben – wie auch andere Staaten in Europa – eine aktive Ansiedlungspolitik für Rechenzentren mit niedrigen Strompreisen, Steuererleichterungen und weiteren Anreizen (Hintemann & Clausen, 2018a). Mit dem Voranschreiten der Digitalisierung ist auch in Zukunft ein weiteres Wachstum der Rechenzentren in Westeuropa und Skandinavien zu erwarten, verbunden mit einem weiteren moderaten Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren (Abb. 8).

4 Entwicklung der Energieeffizienz und des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa

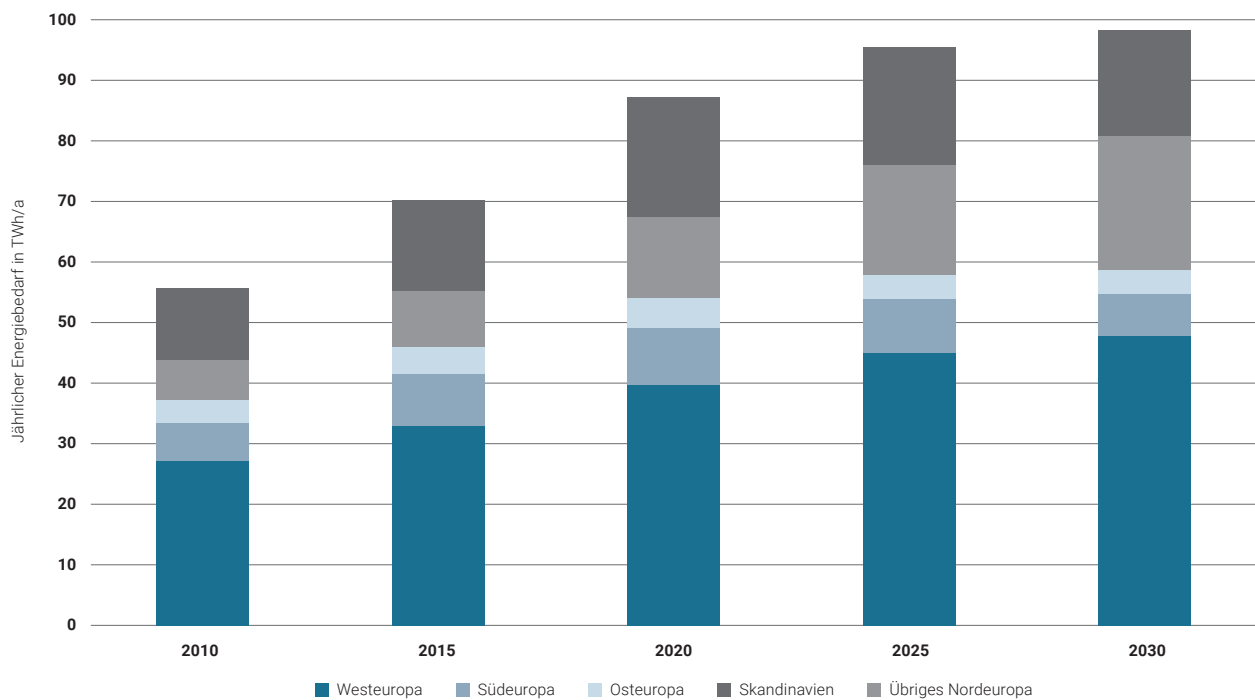


Abbildung 8: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa nach Region (ab 2020: Prognose)

(**Westeuropa:** Belgien, Deutschland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande, Österreich, Schweiz; **Südeuropa:** Griechenland, Italien, Kroatien, Portugal, Slowenien, Spanien; **Osteuropa:** Bulgarien, Tschechien, Ungarn, Polen, Rumänien, Slowakei; **Skandinavien:** Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden; **übriges Nordeuropa:** Lettland, Großbritannien, Irland, Estland, Litauen)

5 TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH RECHENZENTREN

Die Umweltwirkungen von Rechenzentren sind in einem hohen Maß von der für den Betrieb notwendigen elektrischen Energie und den dadurch potentiell verursachten Kohlendioxidemissionen (CO₂-Emissionen) abhängig³. Dementsprechend ist neben der Höhe des Elektrizitätsbedarfs im Betrieb auch die Art der Stromerzeugung von hoher Relevanz für die Beurteilung der Auswirkungen auf den Klimawandel.

Viele Rechenzentrumsbetreibende verbessern ihre CO₂-Bilanz bereits heute durch die zunehmende Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien (EE). In einer Befragung von Rechenzentrumsbetreibern im Jahr 2017 in Deutschland gaben 30% der Befragten an, ausschließlich Strom aus Erneuerbaren Energien für ihr Rechenzentrum zu verwenden (Hintemann, 2017). Dies kann durch den Strombezug direkt von EE-Anlagenbetreibern mit einem Power Purchase Agreement (PPA) geschehen, über den Bezug von Ökostrom eines Stromlieferanten oder auch über den eigenen (lokalen) Betrieb von EE-Erzeugungsanlagen.

PPAs zwischen Stromkunden wie beispielsweise Rechenzentren und den Betreibern von EE-Stromerzeugern - sogenannte Corporate PPAs - sichern durch die garantierte Stromabnahme die Refinanzierbarkeit von regenerativen Erzeugungsanlagen. Speziell für die Investitionsentscheidung bei Anlagen mit hohen Investitionsausgaben (CAPEX) und niedrigen Betriebsausgaben (OPEX) wie bei Photovoltaik- und Windenergie üblich, ist diese Sicherheit für die lange Amortisationsdauer ein relevanter Faktor.

PPAs für regenerative Energien werden in Europa mit insgesamt 9,8 GW deutlich weniger als in den USA genutzt, wo bereits über 40 GW Anlagenleistung durch PPAs vermarktet wurden (BloombergNEF, 2020). Dies lässt sich vor allem auf unterschiedliche Marktstrukturen, regulatorische Rahmenbedingungen und Fördermechanismen zurückführen. Zwar werden in einzelnen europäischen Ländern wie Schweden, Norwegen und Niederlande bereits EE-Projekte durch PPAs finanziert, jedoch konnten sich PPAs in anderen großen Märkten wie Deutschland aufgrund des dort vorhandenen Förderregimes (z.B. in Deutschland das EEG mit der Umlagenfinanzierung) nicht oder in nur sehr geringem Ausmaß durchsetzen (K2 Management, 2019). Eine aktuelle Untersuchung geht davon aus, dass das bestehende Förderregime mit Einspeisetarifen nicht vollständig durch PPAs ersetzt werden kann (Ryszka, 2020).

Bei den größten Abnehmern von erneuerbaren PPAs sind sowohl in den USA wie auch in Europa Unternehmen der IT Branche, die häufig selbst große Rechenzentren betreiben, führend (BNEF, 2020b). Für kleinere Unternehmen bzw. einzelne Rechenzentrenstandorte sind PPAs zur Strombeschaffung häufig unattraktiv, da ihre Abnahmemengen zu klein sind, um überhaupt PPAs zu beschaffen, die üblicherweise im zwei- bis dreistelligen MW-Bereich angeboten werden, oder um attraktive Konditionen zu erhalten. Die bisherige Anwendungspraxis der PPAs zeigt außerdem, dass die damit verbundene vertragsrechtliche Komplexität für kleine Stromabnehmer meist nur schwer oder gar nicht zu bewältigen ist. Eine Alternative dazu kann ein Liefervertrag mit einem Ökostromanbieter darstellen. Bei solchen Verträgen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. In einigen Varianten werden die Einnahmen aus den Verträgen dazu genutzt, neuen EE-Anlagen zu fördern, in anderen Varianten wird EE-Strom aus bestehenden Altanlagen genutzt.

Für die folgende regionale Betrachtung der CO₂-Emissionen von Rechenzentren in Europa sind die CO₂-Emissionen der jeweiligen nationalen Erzeu-

³ Aufgrund der intensiven Nutzung der IT in den Rechenzentren im Dauerbetrieb (24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr) machen die Treibhausgasemissionen durch den Betrieb den weitaus größten Teil an den Gesamtemissionen der Rechenzentren aus. Die Herstellung, der Transport und die Entsorgung der Geräte und Anlagen in Rechenzentren sind nur für etwa 10% der insgesamt verursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Dies zeigt die Analyse der Ergebnisse verschiedenen Studien (Andrae & Edler, 2015; Belkhir & Elmeli, 2018; Malmodin & Lundén, 2018) zu diesem Thema.

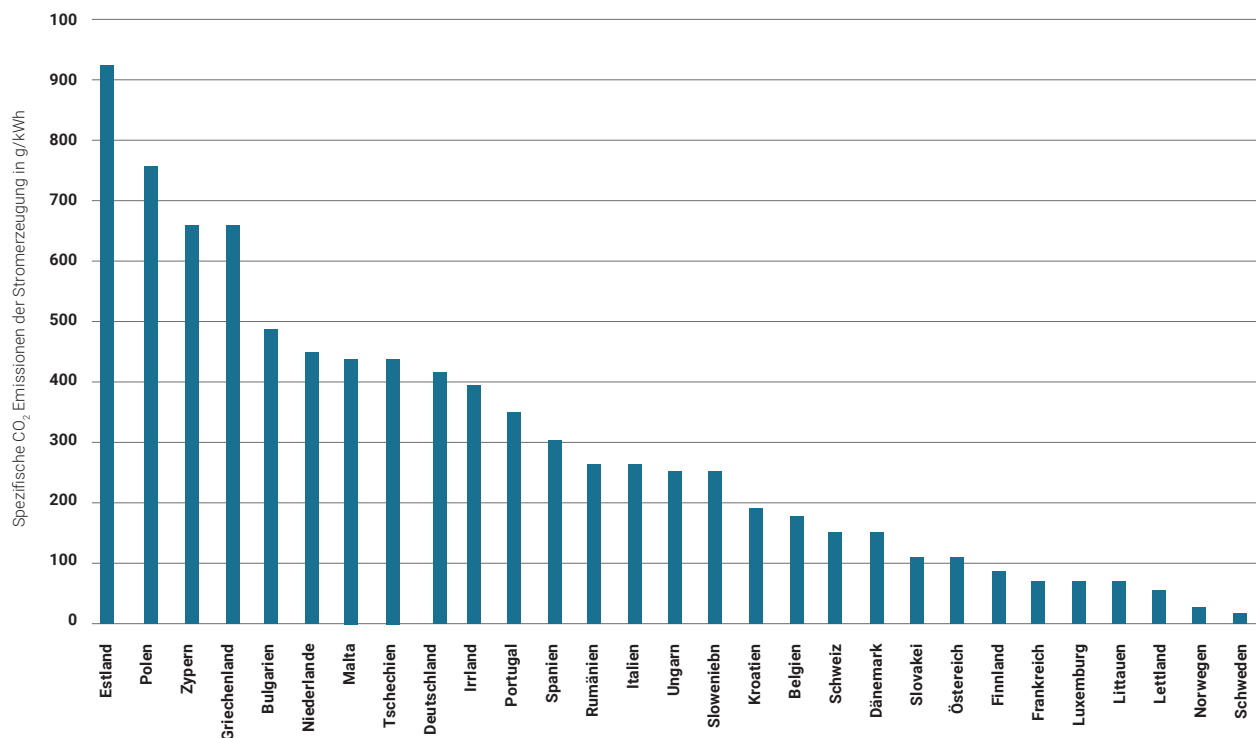


Abbildung 9: Spezifische CO₂-Emissionen der nationalen Stromerzeugung in europäischen Ländern im Jahr 2017 (CO₂-Intensität)

Datenquelle: (EEA, 2020), Werte für die Schweiz mit Methode der EEA errechnet auf Basis des UNFCCC Reports 2019 - Bezugsjahr 2017

gungsinfrastruktur zugrundegelegt⁴. Die Spannweite der spezifischen Emissionen in den europäischen Ländern ist sehr groß (Abb. 9). Entsprechend signifikant wirkt sich bei dieser Bilanzierungsmethode auch der lokale Erzeugungsmix der jeweiligen Länder auf die berechneten CO₂-Emissionen der Rechenzentren aus. In den Ländern der heutigen EU28 betrug der Emissionsfaktor 1990 noch 539 g/kWh, im Jahr 2017 noch 297 g/kWh. Für die EU28 werden im Rahmenszenario EUCO 3232.5 weitere Absenkungen der CO₂-Intensität der Stromerzeugung bis 2030 auf

150 g/kWh prognostiziert (EU, 2019). Individuelle Maßnahmen von einzelnen Rechenzentrumsbetreibern werden bei dieser Art der Betrachtung nicht berücksichtigt.

In Abb. 10 sind die CO₂-Emissionen der Rechenzentren in Europa (EU28 + Schweiz + Norwegen) von 2010 bis 2030 in den verschiedenen Regionen dargestellt. Im Vergleich zum Jahr 2015 sind die CO₂-Emissionen der Rechenzentren in Europa um 8% zurückgegangen. Im kommenden Jahrzehnt ist mit einem weiteren deutlichen Absinken der

Emissionen um 30% zu rechnen. Dieser Rückgang ist auf die Anstrengungen in den einzelnen Staaten zur Reduktion der CO₂-Emissionen in der Stromerzeugung zurückzuführen. Die Reduktionsziele sind im

Rechenzentren werden klimafreundlicher – im Durchschnitt sinken die Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Europa schon heute deutlich.

⁴ In der vorliegenden Bilanzierung wurden die jeweiligen spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung jeweils auf Ebene der einzelnen Länder zugrundegelegt. Nichtenergetisch bedingte Treibhausgasemissionen von Rechenzentren z.B. durch Kältemittel werden nicht betrachtet. Sowohl der reine Handel von Herkunftsnachweisen (EECS-GoO) wie auch tatsächliche physische Energieflüsse zwischen den Ländern (Import/Export) werden bei dieser Methode nicht berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren basieren auf dem aktuellen Referenzszenario der europäischen Union EUCO 3232.5, das zur Einordnung nationaler Energie- und Klimaziele auf EU-Ebene dient. Für die Schweiz und Norwegen wurden aktuelle Emissionsfaktoren auf Basis der UNFCCC Berichterstattung berechnet.

5 Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren

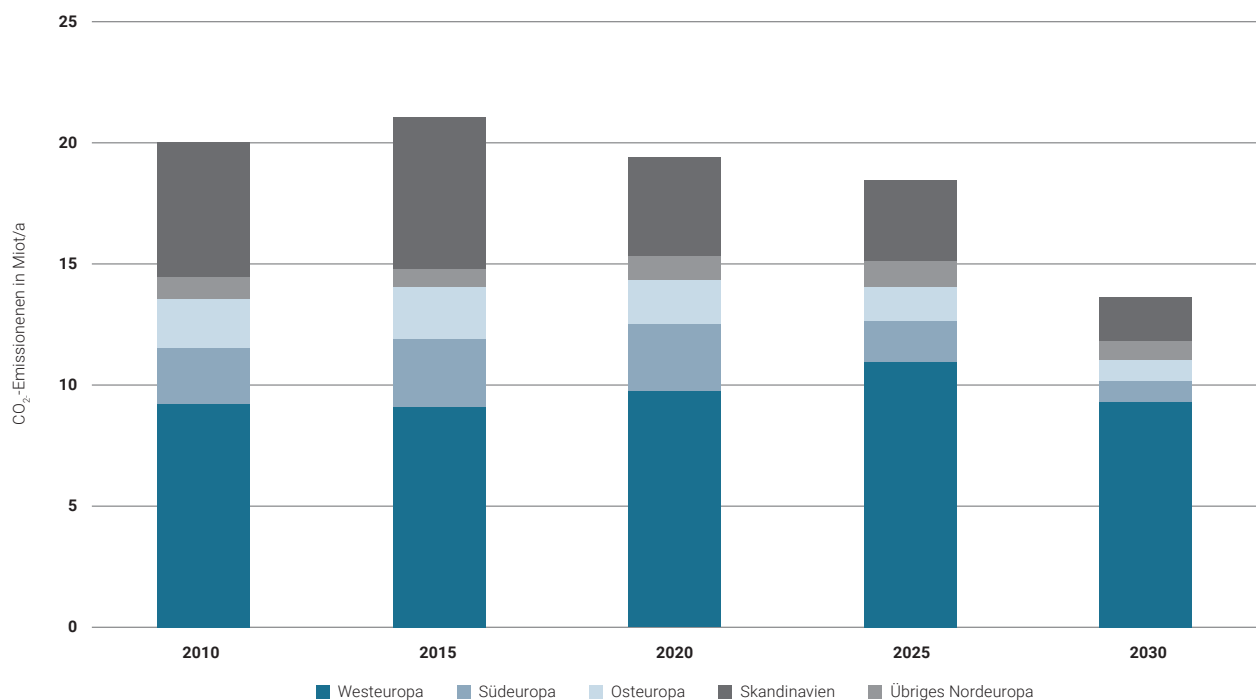


Abbildung 10: CO₂-Emissionen durch den Strombedarf von Rechenzentren in Europa

(Aufteilung Regionen: siehe Abb. 8)

Climate&Energy Framework der Europäischen Union dokumentiert. Bis zum Jahr 2030 wird ein Anteil von 32% regenerativen Energien angestrebt (European Commission, 2020).

Wie Abb. 10 zeigt, verbleiben die CO₂-Emissionen Westeuropas auf einem relativ hohen Niveau. Dies ist die hohen Anteile von Deutschland und Frankreich am westeuropäische Rechenzentrumsmarkt begründet. In beiden Ländern sinken die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in Zukunft voraussichtlich nur verhältnismäßig wenig. In Frankreich liegt dies daran, dass die Stromerzeugung aufgrund des hohen Anteils von Kernenergie bereits heute mit sehr geringen CO₂-Emissionen (ca. 40 g/kWh) verbunden ist. Eine weitere Reduktion ist daher kaum möglich.

Für Deutschland wird in den Prognosen davon ausgegangen, dass die CO₂-Emissionen in der Stromerzeugung nur langsam sinken, von 400 g/kWh in 2020 auf 300 g/kWh in 2030. Das liegt vor allem daran, dass unter aktueller Gesetzeslage der Ausstieg aus der Kohleverstromung noch bis zum Jahr 2035 bzw.

2038 andauern wird. Im Jahr 2019 lag der Anteil von Braun- und Steinkohle am deutschen Erzeugungsmix Strom bei etwa 33%. Ein schnellerer, politisch gesteuerter Kohleausstieg in Deutschland könnte jedoch zu einem wesentlich stärkeren Absinken der CO₂-Emissionen aufgrund des Strombedarfs von Rechenzentren in Westeuropa führen. Hohe Anstrengungen der Unternehmen im Hinblick auf Energieeffizienz oder grüner Strombeschaffung haben somit in Deutschland einen besonders großen Effekt zur Reduktion der CO₂-Emissionen.

Während das zunehmende Engagement der Rechenzentrumsbetreibenden durch Ökostrom und EE-PPAs eine wichtige Unterstützung zum Neubau von erneuerbaren Erzeugungsanlagen ist, existieren für die vollständige Dekarbonisierung des elektrischen Energiesystems und des Rechenzentrumsbetriebs noch große Herausforderungen.

Zum einen gibt es in Europa große regionale Unterschiede bei den Potentialen für Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik, gleichzeitig existieren für

5 Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren

Rechenzentren multiple Standortfaktoren, weshalb Erzeugung und Verbrauch häufig weit voneinander entfernt stattfinden. Zum anderen ist die zeitliche Verfügbarkeit von Windkraft und Photovoltaik über die Zeit nicht konstant, weshalb neben der räumlichen Übertragung von Energie auch die zeitliche Verteilung mit Hilfe von Speichern und flexibler Last

an Bedeutung gewinnt. Auch hier gibt es einige Möglichkeiten, wie Rechenzentren die Transformation zu einer nachhaltigen elektrischen Energieversorgung unterstützen können. So gibt es bereits erste Projekte, in denen die Workloads von Rechenzentren auf die Sonnenstunden gelegt werden sollen (Ostler, 2020).

6 AUSBLICK UND FAZIT

Im vorliegenden Bericht werden die Nachhaltigkeitswirkungen der Rechenzentren in Europa im Überblick dargestellt. Neben einer qualitativen Beschreibung der vielfältigen Wirkungen wird auch die Entwicklung des Energiebedarfs und der durch Rechenzentren bedingten CO₂-Emissionen mit Hilfe eines am Bord-erstep Institut vorhandenen Modells der Rechenzentrumslandschaft in der Vergangenheit abgeschätzt und eine Prognose für die Zukunft aufgestellt. Die Zukunftsprognose beruht auf der Annahme, dass es keine grundlegenden Trendbrüche gibt und dass sich die Märkte und Technologien wie aus aktueller Sicht zu erwarten auch in Zukunft weiterentwickeln.

Insbesondere im hochdynamischen und innovativen Umfeld der Digitalisierung sind solche Zukunftsprognosen mit großen Unsicherheiten behaftet. Neuartige Anwendungen, neue Technologien oder veränderte Marktbedingungen und -strukturen können dazu führen, dass sich deutliche Änderungen in den Entwicklungspfaden ergeben. Der zweite Teil der vorliegenden Untersuchung wird sich mit solchen möglichen Entwicklungen und Einflussnahmen befassen. An dieser Stelle werden bereits einige Faktoren kurz skizziert, die einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf und die CO₂-Emissionen der Rechenzentren in Europa ausüben können.

Die **technische Entwicklung** im Bereich der IT der Rechenzentren ist nur bedingt vorhersehbar. Insbesondere durch die Grenzen der Miniaturisierung können sich Trendbrüche ergeben. Seit mehr als fünfzig Jahren ist es der Halbleiterindustrie immer wieder gelungen, die Zahl der Transistoren pro Chipfläche alle 18 Monate bis zwei Jahre zu verdoppeln (Moore's Law). Damit konnten auch entsprechende Fortschritte in der Energieeffizienz der Computer erreicht werden, die sich auch mit relativ konstanter Wachstumsrate verbessert hat: Alle 1,57 Jahre verdoppelte sich gemäß „Kooomey's Law“ die Anzahl der Rechenschritte pro Kilowattstunde. Für das nächste Jahrzehnt gehen viele Experten davon aus, dass sich diese Leistungs- und Effizienzsteigerungen mit der aktuellen Technologie nicht mehr realisieren lassen, da die Miniaturisierung soweit fortgeschritten ist, dass schon heute Chipstrukturen im Bereich weniger

Atomlagen gefertigt werden (Andrae & Edler, 2015; Li, Su, Wong & Li, 2019; Peckham, 2012; Waldrop, 2016). Ob sich über einen Technologiewechsel oder andere Materialien in Zukunft auch weiterhin hohe Leistungssteigerungen der Prozessoren bei deutlich verbesserter Energieeffizienz erreichen lassen, ist unklar.

Die Möglichkeiten der Digitalisierung schaffen jedoch immer wieder Chancen für ganz **neue Anwendungen**. In der Vergangenheit hat dies dazu geführt, dass die Potenziale durch die technischen Leistungs- und Effizienzsteigerungen auch immer voll ausgeschöpft wurden. Die Steigerung der Effizienz in Rechenzentren hat nicht dazu geführt, dass Rechenzentren insgesamt reduziert werden konnten, sondern hat im Gegenteil die Nachfrage nach Rechenleistung immer weiter ansteigen lassen. Es wurden immer mehr und größere Rechenzentren gebaut und der Energiebedarf ist insgesamt angestiegen. Damit konnten aber auch neue Services und Produkte angeboten und die Wirtschaftsleistung gesteigert werden (Hintemann & Clausen, 2018a). Dieser Zusammenhang wird teilweise auch als Rebound-Effekt bezeichnet. Welche neuen Anwendungen in Zukunft entwickelt werden und wie sie sich im Markt verbreiten, ist nur schwer vorhersehbar. Aus aktueller Sicht wird insbesondere die Nutzung von Künstlicher Intelligenz in vielen Anwendungsbereichen stark ansteigen (eco & Arthur D. Little, 2019). Vor allem Deep Learning Algorithmen benötigen teilweise sehr hohe Rechenleistungen und haben damit auch einen hohen Energiebedarf. Das Training einer einzelnen KI-Anwendung zur Spracherkennung erzeugt fünfmal so viel CO₂ wie ein Auto während seiner gesamten Lebensdauer, wie Forscher am MIT errechnet haben (Hao, 2019; Strubell, Ganesh & McCallum, 2019). Auch in den Bereichen des Autonomen Fahrens, Industrie 4.0 und Smart Cities werden eine Vielzahl neuer Anwendungen erwartet, die hohe Rechenzentrumsleistungen erfordern. Wie schnell neue Anwendungen zum Aufbau zusätzlicher und teilweise auch neuartiger Rechenzentrumsinfrastrukturen führen können, zeigt das Beispiel des Krypto-Minings. Innerhalb weniger Jahre wurden sehr umfangreich neuartige IT-Kapazitäten auf Basis von anwendungs-

spezifischen integrierten Schaltungen (Application Specific Integrated Circuit, ASIC) aufgebaut, wobei einzelne Krypto-Mining Rechenzentren Leistungsbedarfe von mehr als 200 MW haben (Rauchs et al., 2018).

Verbunden mit der hohen Dynamik im Bereich der Digitalisierung und den sich wandelnden Anwendungen ergeben sich **Marktverschiebungen und Marktkonzentrationen** im Bereich der digitalen Infrastrukturen (eco & Arthur D. Little, 2015). Insbesondere im Bereich von Cloud Computing und Colocation Rechenzentren ist eine Marktkonzentration festzustellen (eco & Arthur D. Little, 2015; Hintemann & Clausen, 2018a; Wilmer-Goßner, 2019), die sich auch auf die Struktur der Rechenzentren auswirkt. Aktuell stellen Analysen fest, dass die Zahl der Hyperscale Rechenzentren in Europa und Asien mit den größten Wachstumsraten ansteigt (Sverdlik, 2019). Von den über 500 Hyperscale Rechenzentren sind mit knapp 40% zwar die meisten in den USA, der Anteil der USA in diesem Moment ist aber rückläufig (Miller, 2017; Sverdlik, 2019; Synergy-Research, 2019a). Wie sich der europäische Rechenzentrumsmarkt in Zukunft entwickelt und welche Auswirkungen nationale und europäische Politik, Regulierung und Förderinitiativen haben werden, ist nur schwer vorhersehbar. Auf die Nachhaltigkeit der Rechenzentrumsinfrastrukturen in Europa haben Förderstrategien zur Ansiedlung von Rechenzentren durch einzelne Staaten, wie sie z.B. in Skandinavien und den Niederlanden verfolgt werden (Hintemann & Clausen, 2018a) sicherlich einen Einfluss. Auch die Initiative GAIA-X (BMW, 2019) zur Etablierung einer leistungs- und wettbewerbsfähigen, sicheren und vertrauenswürdigen Dateninfrastruktur, kann sich deutlich auf den Markt auswirken. Hierbei ist insbesondere von einer zunehmenden Investitionstätigkeit in digitale Infrastrukturen und einer Stärkung der europäischen Anbieter zu erwarten. Werden im Rahmen von GAIA-X auch Energieeffizienz- und Klimaziele für die Dateninfrastrukturen definiert, so kann dies zur weiteren Reduktion der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren in Europa führen.

Auch die öffentlichen Diskussionen und regulatorischen **Maßnahmen zum Klimaschutz** können einen erheblichen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung der digitalen Infrastrukturen in Europa ausüben. Der verstärkte Ausbau erneuerbarer Energien in der Stromversorgung kann dazu beitragen, die CO₂-Emis-

sionen noch deutlicher zu senken. Eine auf europäischer Ebene koordinierte CO₂-Bepreisung und ein Abbau von Sonderregelungen in einzelnen EU-Staaten hätte ebenfalls einen erheblichen Einfluss. Die Zielsetzung der Europäischen Kommission, bis zum Jahr 2030 die Rechenzentren und Telekommunikationsnetze klimaneutral zu betreiben (EU Kommission, 2020) kann – je nachdem, wie sie in konkrete Maßnahmen umgesetzt wird – einen erheblichen Einfluss ausüben.

Nicht zuletzt können **unvorhersehbare Ereignisse** die zukünftige Entwicklung der digitalen Infrastrukturen massiv beeinflussen. Dies zeigt sehr anschaulich, wie oben bereits dargestellt, die aktuelle Corona-Krise, die einen deutlichen Einfluss auf die Internetwirtschaft hat (Arthur D. Little & eco, 2020). Trotz – oder auch gerade wegen – der starken Einschränkung der Wirtschaftsleistung in Deutschland stieg der Datendurchsatz am Frankfurter Internet-Knoten DE-CIX innerhalb eines Monats um 10% bis 20% (DE-CIX, 2020b; Peterelt, 2020).

Die kurze Darstellung der Einflussgrößen auf die künftige Entwicklung der Rechenzentren in Europa und ihres Energiebedarfs zeigt auf, dass die künftige Entwicklung auch deutlich anders verlaufen kann als eingangs prognostiziert. Um die Spannweite zu illustrieren, werden im Folgenden zwei weitere Szenarien zur künftigen Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren dargestellt, ein Effizienzscenario und ein Worst-Case Szenario.

Im Effizienzscenario wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen technologischen Potenziale zur Einsparung von Energie in Rechenzentren weitgehend ausgeschöpft werden. Neue Anwendungen werden mit Hilfe effizienter Technologien ressourcensparend realisiert. Die Effizienzvorteile von Cloud Computing können ausgeschöpft werden und die Auslastung der IT-Hardware wird gegenüber dem Trend-Szenario deutlich erhöht. Moore's Law kann durch neue Technologien aufrechterhalten werden.

Im Worst-Case-Szenario können dagegen nicht alle Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden. Die Marktbedingungen und Regularien entwickeln sich so, dass Investitionen in Energieeffizienz nicht ausreichend getätigt werden. Die Grenzen der Miniaturisierung führen dazu, dass Moore's Law nicht weiter gilt

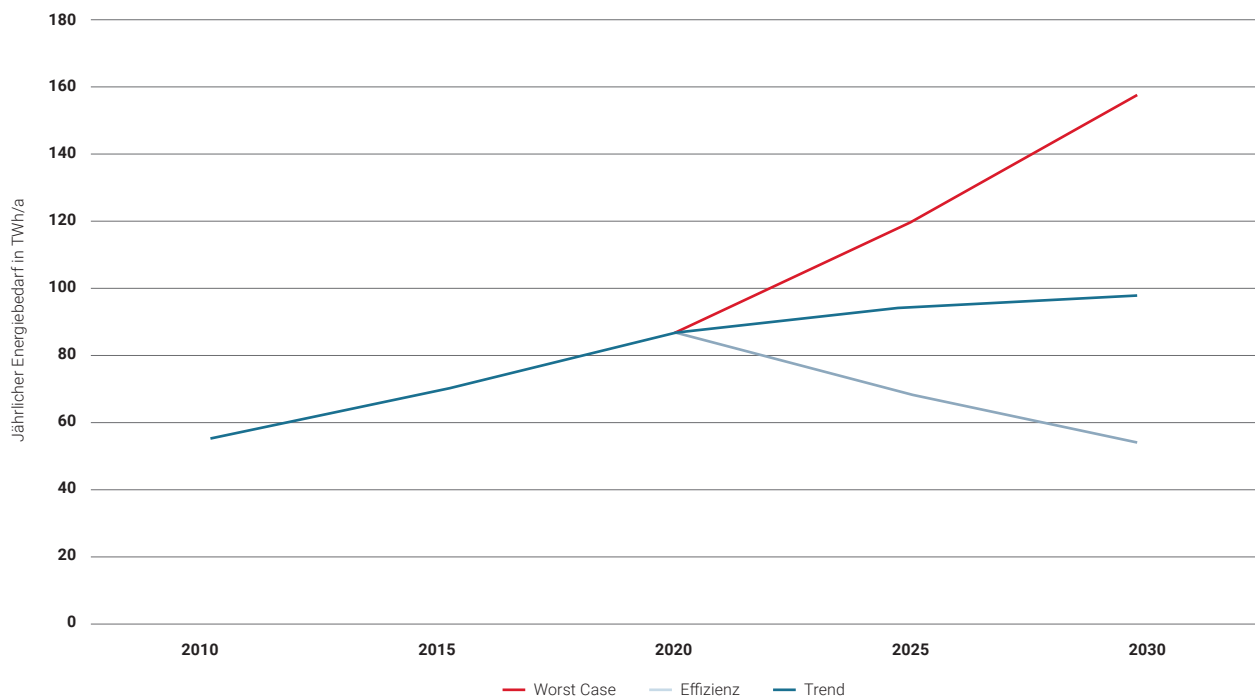


Abbildung 11: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 in drei Szenarien

und damit keine massiven Steigerungen der Energieeffizienz bei der Rechenleistung mehr möglich sind.

Abb. 11 zeigt die Spannweite der künftigen Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren in Europa anhand der beschriebenen Szenarien auf. Während im Effizienz-Szenario der Energiebedarf der Rechenzentren bis zum Jahr 2030 auf 54 TWh/a deutlich gesenkt werden könnte, ist im Worst-Case-Szenario auch ein Anstieg auf 158 TWh/a vorstellbar.

Abb. 12 stellt dar, wie sich die CO₂-Emissionen der Rechenzentren in den verschiedenen Szenarien entwickeln können. Um den Einfluss der Stromerzeugung zu illustrieren, wurden auch die Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der Erneuerbaren Energien berechnet. Hier wurde angenommen, dass die spezifischen CO₂-Emissionen der Stromerzeugung bis 2030 um 30% gegenüber dem Referenzszenario der europäischen Union gesenkt werden können. Die Analyse zeigt, dass es in fast allen Fällen zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen in den Rechenzentren in Europa kommen kann. Nur im Worst-Case-Szenario steigen den CO₂-Emissionen gegenüber

dem heutigen Stand noch einmal leicht an. Mit einem verstärkten Ausbau der Erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung können CO₂-Emissionen auch im Trendfall bis 2030 im Vergleich zu 2020 um mehr etwa die Hälfte gesenkt werden. Im Effizienzfall ist bei einem Ausbau der Erneuerbaren Energien sogar eine Absenkung auf weniger als ein Drittel möglich.

Die dargestellten Szenarien zeigen insbesondere die breite Spannweite der möglichen künftigen Entwicklung des Energiebedarfs und der CO₂-Emissionen der Rechenzentren im dynamischen Umfeld der Digitalisierung auf. Die tatsächliche Entwicklung wird sich aus einem Zusammenspiel der weiteren Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft mit technischen Entwicklungen, Änderungen der Marktstrukturen sowie den Einflüssen von Politik und Regulierung ergeben. Die Potenziale neuer Technologien und die Chancen und Herausforderungen regulatorischer Rahmensetzungen werden im zweiten Teil der Untersuchung behandelt.

Als Zwischenfazit ist aber schon jetzt festzustellen, dass Rechenzentren nicht nur einen bedeutenden

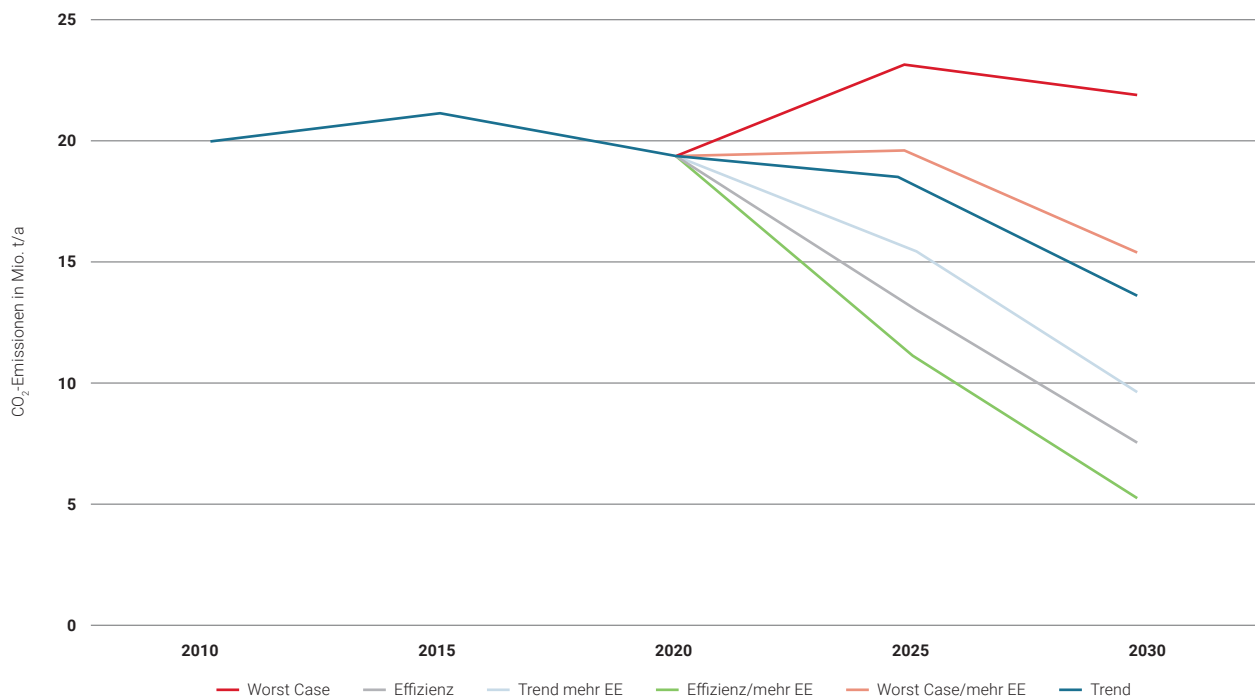


Abbildung 12: Entwicklung der CO₂-Emissionen der Rechenzentren in Europa bis zum Jahr 2030 in verschiedenen Szenarien

Einfluss auf die künftige Entwicklung der Digitalisierung haben, sondern auch einen erheblichen Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit leisten können. Ohne gut ausgebaute Rechenzentrumsinfrastrukturen wird es kaum eine nachhaltige Digitalisierung geben können. Die direkten Wirkungen von Rechenzentren auf Energiebedarf und CO₂-Emissionen sind zwar erheblich. Allerdings kann insbesondere bei den CO₂-Emissio-

nen davon ausgegangen werden, dass diese in Zukunft deutlich zurückgehen. Neben den Bemühungen der europäischen Staaten, die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung zu senken, tragen auch die Initiativen der einzelnen Rechenzentrumsbetreibenden zum Ausbau von erneuerbaren Energien zur Senkung der CO₂-Emissionen bei.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Andrae, A. S. G. & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117–157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>
- Apobank. (2020, April 23). Bringt Corona Digital Health den Durchbruch? Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <http://www.apobank.de/wissen-news/kompetenzzentrum-apohealth/news-infos/bringt-corona-digital-health-den-durchbruch>
- Arthur D. Little & eco. (2020). *Die Internetwirtschaft in Deutschland 2020-2025: Auswirkungen der Corona-Krise*. Zugriff am 10.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.eco.de/studie-internetwirtschaft-20-25-corona-pre-print/>
- Basalisco, B. (2018). European data centres. *Copenhagen Economics*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.copenhageneconomics.com/publications/publication/european-data-centres>
- Belkhir, L. & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448–463.
- Bertoldi, P., Hirl, B. & Labanca, N. (2012). *Energy Efficiency Status Report 2012*. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. Zugriff am 21.3.2018. Verfügbar unter: <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC69638>
- Bio by Deloitte & Fraunhofer IZM. (2016). *Ecodesign Preparatory Study on Enterprise Servers and Data Equipment*. Brussels. Zugriff am 22.1.2018. Verfügbar unter: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6ec8bbe6-b8f7-11e5-8d3c-01aa75ed71a1>
- BMWi. (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>
- BNEF. (2020a, April 2). Sweden, Spain the Cheapest European Markets for Wind and Solar Corporate PPAs, BNEF Survey Finds. *BloombergNEF*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://about.bnef.com/blog/sweden-spain-the-cheapest-european-markets-for-wind-and-solar-corporate-ppas-bnef-survey-finds/>
- BNEF. (2020b, Januar 28). Corporate Clean Energy Buying Leapt 44% in 2019, Sets New Record. *BloombergNEF*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://about.bnef.com/blog/corporate-clean-energy-buying-leapt-44-in-2019-sets-new-record/>
- BR. (2020, März 19). Wie Corona Bildung revolutionieren könnte | Eine Chance für E-Learning - Der tagesschau Zukunfts-Podcast - mal angenommen. *ARD Audiothek*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.ardaudiothek.de/der-tagesschau-zukunfts-podcast-mal-angenommen/wie-corona-bildung-revolutionieren-koennte-eine-chance-fuer-e-learning/73383476>
- CBECI. (2019). Methodology - Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). Zugriff am 31.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.cbeci.org/methodology/>
- CBRE. (2017a). *European Data Centres Market Review*. Q4 2016. London. Zugriff am 10.6.2017. Verfügbar unter: <https://www.cbre.de/de-de/research/European-Data-Centres-MarketView-Q4-2016>
- CBRE. (2017b). *US Data Center Trends Report*. London. Zugriff am 18.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.cbre.us/research-and-reports/H1-2017-US-Data-Center-Trends>

- CBRE. (2017c). *Marketview Asia Pacific Data Centres 2017*. London. Zugriff am 18.1.2018. Verfügbar unter: <https://www.cbre.com/research-and-reports/Asia-Pacific-Data-Centre-MarketView-H1-2017>
- 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>
- CIF. (2017). *Cloud: Driving Business Transformation - Annual White Paper Cloud Industry Forum*. Zugriff am 12.12.2018. Verfügbar unter: <https://www.cloudindustryforum.org/content/state-uk-cloud-2017>
- Cisco. (2011). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2010 - 2015*.
- Cisco. (2018). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2016-2021*. Zugriff am 7.2.2018. Verfügbar unter: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- Cook, G. & Jardim, E. (2019). Clicking Clean Virginia. *Greenpeace USA*. Zugriff am 11.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.greenpeace.org/usa/reports/click-clean-virginia/>
- DE-CIX. (2020a, April 21). We are all online: Internet in the times of Corona. <https://www.de-cix.net>. Zugriff am 18.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.de-cix.net/de/news-events/news/we-are-all-online-internet-in-the-times-of-corona>
- DE-CIX. (2020b, März 18). Internetknoten-Betreiber DE-CIX sieht starke Veränderung beim Internet-Nutzerverhalten. Zugriff am 19.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.de-cix.net/de/about-de-cix/media-center/press-releases/internet-exchange-operator-de-cix-sees-a-strong-change-in-internet-user-behavior>
- Deloitte Consulting. (2016). *Dutch Digital Infrastructure 2016. Enabling the digital economy and society*. Leidschendam: Stichting Digitale Infrastructuur. Zugriff am 14.2.2018. Verfügbar unter: <https://www.dinl.nl/wp-content/uploads/2016/11/17112016-Dutch-Digital-Infrastructure-Report-2016.pdf>
- Deutschlandfunk. (2020, März 26). Coronakrise und CO2 - Die Pandemie hilft dem Klima nur vorübergehend. *Deutschlandfunk*. Zugriff am 18.5.2020. Verfügbar unter: https://www.deutschlandfunk.de/coronakrise-und-co2-die-pandemie-hilft-dem-klima-nur-676.de.html?dram:article_id=473347
- Digiconomist. (2019). Bitcoin Energy Consumption Index. *Digiconomist*. Zugriff am 12.4.2019. Verfügbar unter: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Dose, D. (2018, November 12). Dänemark: Neue Rechenzentren von Google und Apple erzwingen Bau von 700 Windrädern | shz.de. *shz*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.shz.de/regionales/grenzland-daenemark/neue-rechenzentren-von-google-und-apple-erzwingen-bau-von-700-windraedern-id21623792.html>
- Dutch Data Center Association. (2017). *2017 Report: State of the Dutch Data Centers : Room for Growth*. Zugriff am 2.11.2017. Verfügbar unter: <https://www.dutchdatacenters.nl/en/publications/state-of-the-dutch-data-centers-2017-room-for-growth/>
- Dwertmann, S. (2020, März 30). Leere Straßen durch Corona: 70 Prozent weniger Verkehr als im März 2019. *RP ONLINE*. Zugriff am 20.4.2020. Verfügbar unter: https://rp-online.de/nrw/panorama/coronavirus-in-nrw-70-prozent-weniger-verkehr-als-im-maerz-2019_aid-49821203
- eco & Arthur D. Little. (2015). *Die deutsche Internetwirtschaft 2015 – 2019 - Studie des eco - Verband der Internetwirtschaft*. Studie. Köln, Wien. Zugriff am 24.4.2016. Verfügbar unter: https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/studie_internetwirtschaft_2015-2019.pdf

- eco & Arthur D. Little. (2019). Künstliche Intelligenz: Potenzial und nachhaltige Veränderung der Wirtschaft in Deutschland. eco. Zugriff am 11.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.eco.de/kuenstliche-intelligenz-potenzial-und-nachhaltige-veraenderung-der-wirtschaft-in-deutschland/>
- 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>
- Equinix. (2020). *EQUINIX 2019-20 Tech Trends survey*. Zugriff am 9.5.2020. Verfügbar unter: https://www.equinix.de/resources/infopapers/equinix-tech-trends-survey/?ls=Public%20Prozent20Relations&lsd=20q2_cross-vertical_hybrid-multicloud+index-vol3_pr-equinix_press-release_de-de_EMEA_Tech_Trends_Survey_EMEA_awareness&utm_campaign=de-de_press-release_Tech_Trends_Survey_EMEA_pr-equinix_awareness&utm_source=&utm_medium=press-release&utm_content=hybrid-multicloud+index-vol3
- EU. (2019). *Technical note: Results of the EUCO3232.5 scenario on Member States*. Zugriff am 18.3.2020. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/technical_note_on_the_euco3232_final_14062019.pdf
- 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>
- European Commission. (2020). 2030 climate & energy framework. *Climate Action - European Commission*. Text. Zugriff am 4.5.2020. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
- Eurostat. (2018). Cloud computing - statistics on the use by enterprises. Zugriff am 15.1.2019. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises#Types_of_cloud_computing:_public_and_private_cloud
- Eurostat. (2020). Individuals using the internet for participating in social networks. Zugriff am 28.4.2020. Verfügbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tin00127/default/table?lang=en>
- Fichter, K. & Hintemann, R. (2014). Beyond Energy. The Quantities of Materials Present in the Equipment of Data Centers. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 846–858.
- Flexera. (2020). *Flexera 2020 State of the Cloud Report*. Zugriff am 5.6.2020. Verfügbar unter: <https://info.flexera.com/SLO-CM-REPORT-State-of-the-Cloud-2020>
- 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.
- GeSI & Accenture Strategy. (2015). *#SMARTer 2030: ICT Solutions for the 21st Century Challenges*. Global e-Sustainability Initiative. Zugriff am 25.4.2016. Verfügbar unter: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report2.pdf
- GeSI & Deloitte. (2019). *Digital with purpose - Delivering a smarter 2030*. Brussels.
- GeSI & The Boston Consulting Group. (2012). *SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future*. Global e-Sustainability Initiative & BCG.
- Greenpeace & North China Electric Power University. (2019). *Powering the Cloud: How China's Internet Industry Can Shift to Renewable Energy (Summary)*. Zugriff am 29.2.2020. Verfügbar unter: https://secured-static.greenpeace.org/eastasia/PageFiles/299371/Powering%20the%20Cloud%20_%20English%20Briefing.pdf?_ga=2.134490865.1643020916.1584627591-1230699852.1584179778

- Hao, K. (2019, Juni 6). Training a single AI model can emit as much carbon as five cars in their lifetimes - MIT Technology Review. Zugriff am 24.9.2019. Verfügbar unter: <https://www.technologyreview.com/s/613630/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/>
- Hilty, L. & Bieser, J. (2017). Opportunities and risks of digitalization for climate protection in Switzerland.
- 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. (2019, September 10). Energy demand of cloud computing, development and trends: Data center energy demand. Gehalten auf der Workshop on research and technological development (R&TD) of energy efficiency in cloud computing. Zugriff am 5.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.cloudefficiency.eu/workshop1>
- Hintemann, R. (2020). *Rechenzentren 2018. Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich an*. Berlin: Borderstep Institut. Verfügbar unter: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200324rev.pdf>
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018a). *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/06/DI_Studie.pdf
- Hintemann, R. & Clausen, J. (2018b). *Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Zugriff am 26.4.2018. Verfügbar unter: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., Fichter, K. & Stobbe, L. (2010). Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland-Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen-und Energieeinsatz. *Studie im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens "Produktbezogene Ansätze in der Informations-und Kommunikationstechnik" (Förderkennzeichen 370 893 302), Beauftrag vom Umweltbundesamt*.
- Hintemann, R. & Hinterholzer, S. (2019). Energy Consumption of Data Centers Worldwide - How will the Internet become Green? Gehalten auf der ICT4S, Lappeenranta, Finland. Zugriff am 8.8.2019. Verfügbar unter: http://ceur-ws.org/Vol-2382/ICT4S2019_paper_16.pdf
- Howard-Healy, M. (2018). *Co-location Market Quarterly (CMQ) brief - Vortrag auf dem BroadGroup's Knowledge Brunch in Frankfurt*. Broadgroup.
- IDC. (2015). SMART 2013/0043 - *Uptake of Cloud in Europe - Follow-up of IDC Study on Quantitative estimates of the demand for Cloud Computing in Europe and the likely barriers to take-up*. Zugriff am 12.9.2018. Verfügbar unter: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cfe5a91c-85cf-4c64-99e9-1b5900c8529a/language-en/format-PDF/source-search>
- Janović, I. (2019, Februar 19). Digitale Infrastruktur: Stromnetz begrenzt Wachstum von Rechenzentren. *Frankfurter Allgemeine*.

- Jetzke, T., Richter, S., Ferdinand, J.-P. & Schaaf, S. (2019). *Künstliche Intelligenz im Umweltbereich: Anwendungsbeispiele und Zukunftsperspektiven im Sinne der Nachhaltigkeit*. No. 56/2019. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kuenstliche-intelligenz-im-umweltbereich>
- K2 Management. (2019). *Analysis of the Potential for Corporate Power Purchasing Agreements for Renewable Energy Production in Denmark*. Viby, Denmark: Energistyrelsen, Danish Energy Agency. Zugriff am 6.5.2020. Verfügbar unter: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/corporate_ppa_report_june_2019.pdf
- Kamiya, G. (2019, Juli 5). Bitcoin energy use: mined the gap. Zugriff am 25.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.iea.org/newsroom/news/2019/july/bitcoin-energy-use-mined-the-gap.html>
- Klostermeier, J. (2019, März 15). Neues Rechenzentrum: Drittes Data Center für VW Financial Services. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.cio.de/a/drittes-data-center-fuer-vw-financial-services.3594734>
- KPMG & Bitkom. (2018). *Cloud-Monitor 2018 - Pressekonferenz*. Zugriff am 28.11.2017. Verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Zwei-von-drei-Unternehmen-nutzen-Cloud-Computing.html>
- KPMG & Bitkom. (2019). *Cloud-Monitor 2019*. Verfügbar unter: <https://home.kpmg/de/de/home/themen/overview/cloud-computing.html>
- Krahner, A. (2020, März 17). Corona-Krise als Chance für die Digitalisierung der Bildung | equeo. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.equeo.de/corona-krise-als-chance-fuer-die-digitalisierung-der-bildung/>
- Ladner, R. (2017, Dezember 10). Cloud&Heat eröffnet grünes Rechenzentrum in der ehemaligen EZB in Frankfurt. Zugriff am 9.5.2019. Verfügbar unter: <https://netzpalaver.de/2017/12/10/cloudheat-eroeffnet-ihr-gruenes-rechenzentrum-in-der-ehemaligen-ezb-in-frankfurt/>
- 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>
- Lorica, B. & Nathan, P. (2019). *Evolving Data Infrastructure*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.oreilly.com/data/free/evolving-data-infrastructure.csp>
- Lutz, H. & Ostler, U. (2020a, Januar 9). Standortfrage - Rechenzentrumsbauer zieht es in den Speckgürtel. Zugriff am 25.2.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/standortfrage-rechenzentrumsbauer-zieht-es-in-den-speckguertel-a-891898/>
- Lutz, H. & Ostler, U. (2020b, 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/>
- Malmodin, J. & Bergmark, P. (2015). Exploring the effect of ICT solutions on GHG emissions in 2030. *EnviroInfo and ICT for Sustainability 2015*. Atlantis Press.
- Malmodin, J. & Lundén, D. (2018). The Energy and Carbon Footprint of the Global ICT and E&M Sectors 2010–2015. *Sustainability*, 10(9), 3027.
- Martin-Jung, H. (2020, April 26). De-Cix - Hier brummt das Internet. *Süddeutsche.de*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/digital/internet-knoten-decix-corona-1.4879842>
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S. & Koomey, J. (2020, Februar 28). Recalibrating global data center energy-use estimates | Science. *Science*. Zugriff am 4.3.2020. Verfügbar unter: <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>

- Miller, R. (2017, Dezember 30). Hyperscale data centers reached over 390 worldwide in 2017. *TechCrunch*. Zugriff am 22.2.2018. Verfügbar unter: <http://social.techcrunch.com/2017/12/30/hyperscale-data-centers-reached-over-390-worldwide-in-2017/>
- Ostler, U. (2018, Februar 6). Wachstums- und Servicegebot: Die Co-Location-Branche muss sich neu definieren. Zugriff am 11.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/wachstums-und-servicegebot-die-co-location-branche-muss-sich-neu-definieren-a-683612/>
- Ostler, U. (2019a, Oktober 4). Definieren Sie Edge Datacenter! Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/definieren-sie-edge-datacenter-a-870803/>
- 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. (2020). 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/>
- 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/>
- Peterelt, D. (2020, März 22). Hohe Datenlast: Der DE-CIX und die Corona-Situation. *t3n Magazin*. Zugriff am 12.5.2020. Verfügbar unter: <https://t3n.de/news/nur-corona-krise-treibt-de-cix-1264171/>
- Postbank. (2020, Mai 7). Postbank: Trend zur mobilen Internetnutzung ungebrochen - Postbank Digitalstudie 2020. Zugriff am 18.5.2020. Verfügbar unter: https://www.postbank.de/postbank/pr_presseinformation_2020_05_07-trend-zur-mobilen-internetnutzung-ungebrochen.html
- Prakash, S., Baron, Y., Ran, L., Proske, M. & Schlösser, A. (2014). *Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT - cost/benefit analysis*. Studie. (S. 373). Brussels: European Commission.
- Rauchs, M., Blandin, A., Klein, K., Pieters, G. C., Recanatini, M. & Zhang, B. Z. (2018). 2nd Global Cryptoasset Benchmarking Study. Available at SSRN 3306125.
- Reveman, S. & Ostler, U. (2016, Juli 12). Die Energie in deutschen Datacenter verpufft zu 100% - Rechenzentren jagen das Geld zum Fenster raus. *DataCenter Insider*. Zugriff am 12.7.2016. Verfügbar unter: <http://www.datacenter-insider.de/die-energie-in-deutschen-datacenter-verpufft-zu-100-a-541729/>
- Ryszka, K. (2020). Renewable project finance: Can corporate PPAs replace renewable energy subsidies? *RaboResearch - Economic Research*. Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://economics.rabobank.com/publications/2020/january/renewable-project-finance-corporate-PPA/>
- SBWire. (2018, März 26). Global Micro Data Center Market: Savvy Players Strive to Enhance Service Capabilities to Expand Customer Base - Press Release - Digital Journal. Zugriff am 18.4.2018. Verfügbar unter: <http://www.digitaljournal.com/pr/3709976>
- Schaefer, J. & Ostler, U. (2020, Mai 4). „An oberster Stelle steht das Gebot, den bilateralen Dialog zu pflegen.“ Zugriff am 7.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/an-oberster-stelle-steht-das-gebot-den-bilateralen-dialog-zu-pflegen-a-928555/>
- Schuster, H. (2020, März 30). Citrix-Umfrage: Wenn die Krise geht, bleibt das Homeoffice. *IT-Business*. Zugriff am 15.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.it-business.de/wenn-die-krise-geht-bleibt-das-homeoffice-a-918771/>

- Shehabi, A., Smith, S. J., Masanet, E. & Koomey, J. G. (2018). Data center growth in the United States: decoupling the demand for services from electricity use. *Environmental Research Letters*, 13(12).
- Shehabi, A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., Herrlin, M., Koomey, J. et al. (2016). *United States Data Center Energy Usage Report*. No. LBNL-1005775. Berkeley, CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Zugriff am 19.2.2018. Verfügbar unter: https://eta.lbl.gov/sites/all/files/publications/lbnl-1005775_v2.pdf
- Stobbe, L., Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H. & Beucker, S. (2015). *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Strubell, E., Ganesh, A. & McCallum, A. (2019). Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP.
- Sverdlík, Y. (2019, Oktober 17). Analysts: There are Now More than 500 Hyperscale Data Centers in the World. *Data Center Knowledge*. Zugriff am 22.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.datacenterknowledge.com/cloud/analysts-there-are-now-more-500-hyperscale-data-centers-world>
- Synergy-Research. (2019a). Hyperscale Data Center Count Jumps to 430; Another 132 in the Pipeline | Synergy Research Group. Zugriff am 14.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-count-jumps-430-mark-us-still-accounts-40>
- Tagesschau. (2020, April 2). Reisen in der Corona-Krise 85 Prozent weniger Flugverkehr. *Tagesschau*. Zugriff am 15.4.2020. Verfügbar unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/rueckgang-flugverkehr-101.html>
- Technavio. (2015). *Global Data Center Market 2015-2019*.
- Technavio. (2020, Februar 20). Data Center Market in Europe 2019-2023 | 11% CAGR Projection Through 2023 | Technavio. Zugriff am 12.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.businesswire.com/news/home/20200220005324/en/Data-Center-Market-Europe-2019-2023-11-CAGR>
- The Shift Project. (2019). *LEAN ICT- Towards digital sobriety*. Zugriff am 18.4.2019. Verfügbar unter: <https://theshiftproject.org/en/article/lean-ict-our-new-report/>
- VansonBourne. (2019). *Nutanix Enterprise Cloud Index - Application requirements to drive hybrid cloud growth*. Zugriff am 12.3.2020. Verfügbar unter: https://www.nutanix.com/enterprise-cloud-index?utm_source=sprout&utm_medium=social
- Vertiv. (2019). *Das Rechenzentrum 2025 - Näher am Edge*. Zugriff am 4.11.2019. Verfügbar unter: <https://www.vertiv.com/de-emea/about/news-and-insights/articles/pr-campaigns-reports/data-center-2025-closer-to-the-edge/>
- Waldrop, M. M. (2016). The chips are down for Moore's law. *Nature*, 530(7589), 144–147. <https://doi.org/10.1038/530144a>
- WBGU. (2019). *Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen: Unsere gemeinsame digitale Zukunft*. Berlin: WBGU. Zugriff am 20.1.2020. Verfügbar unter: <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/unsere-gemeinsame-digitale-zukunft>
- Wilmer-Goßner, E. (2019, November 11). Der Cloud-Markt wächst (nur) über die richtigen Kanäle. Zugriff am 12.5.2020. Verfügbar unter: <https://www.cloudcomputing-insider.de/der-cloud-markt-waechst-nur-ueber-die-richtigen-kanale-a-879616/>

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



