



TECHNOLOGIE  
STIFTUNG  
BERLIN

# Digitalisierung unter Strom

Über die energieeffiziente Gestaltung urbaner  
IKT-Infrastrukturen



**Gabriele Schliwa**



# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1 Urbane IKT-Infrastruktur im Fokus	12
2.2 Energieeffizienz und ihre Kenngrößen	14
2.2.1 Aktuelle Studien zum Thema	14
2.2.2 Spezifische und generische Kennzahlen	15
2.2.3 Leistungs- und klimaschutzorientierte Kennzahlen	16
2.2.4 Effizienz durch Technikmodernisierung: Koomey's Law und Moore's Law	16
2.2.5 Relative Energieeffizienz, Bandbreiteneffizienz, Energiebedarf und Umweltwirkungen	17
2.3 Methodische Herangehensweise	18
<b>3. Überblick zum Glasfaserausbau</b>	<b>21</b>
3.1 Das leitungsgebundene Zugangsnetz	22
3.2 Rahmenbedingungen für den Glasfaserausbau	24
3.2.1 Aktueller Stand zum Glasfaserausbau in Berlin	25
3.3 Energiebedarf der leitungsgebundenen Netze	28
3.3.1 Festnetzbasierte Leitungen	28
3.3.2 TV-Kabel-basierte Leitungen	29
3.4 Einsparpotenziale durch den Glasfaserausbau	30
3.5 Zwischenfazit zum Glasfaserausbau	34

<b>4. Überblick zum 5G-Ausbau</b>	<b>37</b>
4.1 Das Mobilfunknetz und seine Komponenten	38
4.1.1 Das Mobilfunknetz	38
4.1.2 Generationen-unabhängige Komponenten	39
4.1.3 Generationen-abhängige Komponenten	39
4.1.4 5G-Campusnetze und Beispiele aus Berlin	41
4.2 Rahmenbedingungen und Entwicklung der Mobilfunknetze	42
4.2.1 Standardisierungsorganisationen und Generationen des Mobilfunks	42
4.2.2 Gigabit-Strategien von Bund und Ländern mit Zielvorgaben	44
4.2.3 Mobilfunknetzbetreiber und Ausbau der Mobilfunknetze	44
4.2.4 Komponentenhersteller und Verfügbarkeit kompatibler Hardware	46
4.2.5 Bundesnetzagentur und Verwaltung der Frequenzen	47
4.3 Zum Energieverbrauch der Mobilfunknetze	48
4.3.1 Energieverbrauch des gesamten Mobilfunknetzes	48
4.3.2 Energieverbrauch der Zugangstechnologien im Vergleich	49
4.3.3 Energieverbrauch von „Streaming“ als beliebtes Beispiel für Vergleiche	50
4.4 Energieeinsparpotenziale durch 5G – heutige Ansätze	52
4.4.1 „Relative Energieeffizienz“ bei hohen Datenübertragungsraten	52
4.4.2 Energiesparen durch lastadaptive Antennen-Systeme	53
4.4.3 Effizienzpotenziale durch 5G-Anwendungen	53
4.4.4 Spektrale Effizienz und Massive MIMO	54
4.5 Zwischenfazit zur Energieeffizienz von 5G	55

<b>5. Überblick zu Rechenzentren</b>	<b>59</b>
5.1 Rechenzentren und ihre Bauarten	60
5.2 Rahmenbedingungen für Standortwahl und Betrieb	62
5.2.1 Aktueller Stand zu Rechenzentren in Berlin	62
5.2.2 Typische Standorte und Standortfaktoren	64
5.2.3 Internationale industrielle Standards für Rechenzentren	65
5.2.4 EU-Strategien und Selbstverpflichtungen der Betreiber	66
5.2.5 Gesetzliche Energieeffizienzstandards für Rechenzentren (EnEfG)	66
5.3 Zum Energiebedarf von Rechenzentren	68
5.3.1 Strombedarf von Rechenzentren in Deutschland	68
5.3.2 Trends und Anwendungen, die Rechen- und Energiebedarfe steigen lassen	70
5.4 Energieeinsparpotenziale bei Rechenzentren	72
5.5 Energieeffizienz durch Abwärmenutzung	73
5.5.1 Über die Technik der Abwärmenutzung	73
5.5.2 Abwärmenutzung heute in Deutschland	75
5.5.3 Wärmestrategie und Abwärmenutzung in Berlin	75
5.5.4 Informationen für die städtische Einbindung von Rechenzentren	76
5.6 Zwischenfazit zu Rechenzentren	80
<b>6. Fazit</b>	<b>83</b>
<b>Anhang</b>	<b>86</b>
<b>Gesprächspartner:innen</b>	<b>87</b>
<b>Ausgewählte Literatur</b>	<b>88</b>



# Vorwort

Das Land Berlin ist im Begriff, gigabitfähig zu werden. Nicht nur lokal in Berlin, sondern weltweit forcieren die sich stetig wachsenden Anforderungen an die Datenübertragung und -verarbeitung den Ausbau der städtischen Infrastrukturen für Informations- und Kommunikationstechnologien. Städtische IKT-Infrastrukturen fördern jedoch nicht nur die Geschwindigkeit des Internets, sondern sind im Betrieb sehr energieintensiv.

Energieeffizienz ist die Schlüsselgröße für die Verbindung von Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Häufig wird das Thema auf einzelne Komponenten angewendet, innerhalb einer Teilbranche behandelt oder ein bereits existierendes IKT-System dahingehend optimiert. Der aktuelle Ausbau von 5G, Glasfasernetzen und die zunehmende Attraktivität Berlins als Standort für Rechenzentren weisen jedoch darauf hin, dass die einwandfreie und leistungsfähige Funktion von IKT-Infrastrukturen von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist.

Gabriele Schliwa untersucht in der vorliegenden Studie die Rolle der Energieeffizienz für den ressourcenschonenden Ausbau urbaner

IKT-Infrastrukturen. Sie bietet einen Anhaltspunkt für die informierte Gestaltung komplex vernetzter Infrastrukturen mit dem Ziel, Berlin optimal zu versorgen.

Die flächendeckenden bzw. stadtweit relevanten Infrastrukturen wurden dafür hinsichtlich ihres Energieverbrauchs und ihrer Energieeinsparpotenziale betrachtet und diskutiert. Dazu gehören Mobilfunknetze, das leitungsgebundene Zugangnetz und Rechenzentren mit dem Potenzial der Abwärmenutzung.

Teils Rückblick und teils Erfassung des aktuellen Status Quo im IKT-Ausbau und der Relevanz der Energie, blickt die Studie insgesamt nach vorn und liefert Impulse für Berlin, die IKT-Infrastrukturen der nächsten Generation stadtweit und langfristig nachhaltig zu gestalten.



**Nicolas Zimmer**

Vorstandsvorsitzender  
Technologiestiftung Berlin

# Zusammenfassung

Die Energieeffizienz spielt eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit von Unternehmen und wurde bisher in wirtschaftlich geschlossenen und funktionsorientierten technischen Systemen optimiert. Diese Studie hat sich mit der Frage befasst, welche Rolle die Energieeffizienz beim Ausbau digitaler Infrastrukturen in Berlin spielt und welche Potenziale oder Limitationen sie für eine nachhaltige Digitalisierung hat.

Die Studie bietet einen Überblick zur bisherigen und aktuellen Entwicklung von stadtweiten Infrastrukturen der „nächsten Generation“ von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Die Hauptkapitel dieser Studie widmen sich, mit jeweils geschlossenen Betrachtungen, drei IKT-Infrastrukturen: dem leitungsgebundenen Zugangsnetz mit dem Glasfaserausbau, dem funkbasierten Zugangsnetz mit dem Ausbau der 5. Generation (5G) Mobilfunk, und den Rechenzentren mit Blick auf die Nutzung ihrer unvermeidbaren Abwärme. Die Betrachtungen beziehen sich auf das Design und den Betrieb der IKT-Infrastruktur und nicht auf die Effizienzpotenziale durch deren Nutzung in Form von Anwendungen. Da alle Elemente spezifische Aufgaben haben, nimmt die Studie ausdrücklich auch keine Gegenüberstellung der unterschiedlichen IKT im Sinne eines Effizienz-Rankings vor. Das Gesamtfazit ist Infrastruktur-übergreifend.

Diese Arbeit stellt heraus, dass sich die Energieeffizienz digitaler Infrastrukturen primär auf die relative Energieeffizienz bezieht, welche durch die Verbesserung der spektralen Effizienz der Infrastruktur-Komponenten ermöglicht wird. Effizienzsteigerungen werden dabei erst bei hohem Datenvolumen realisiert und der Gesamtenergieverbrauch wird Schätzungen zufolge weiterhin steigen. Die Energieeffizienz städtischer IKT-Infrastrukturen wird nachrangig zu deren Übertragungs- und Rechenleistungen behandelt. Dabei werden elektrische und photonische Komponenten sowohl aus Eigeninteresse, Kostengründen und per Gesetz innerhalb des jeweils betrachteten IKT-Systems optimiert.

Angesichts der Gigabit-Strategie scheinen bisher kurzfristig orientierte Umsetzungen gängig. Dies verlangt nach taktisch ausgerichteter Information und Unterstützungsmöglichkeiten, auch zur Nutzung von unvermeidbarer Abwärme aus Rechenzentren sowie einer Berliner Standortpolitik für deren Umbau und Neuansiedlung. Der Baukastencharakter von 5G und der hohe Komponentenaufwand sprechen für einen anwendungsorientierten Ausbau des Mobilfunknetzes. Letztlich sollte der Energieverbrauch der Endgeräte in der Betrachtung und Entwicklung von IKT-Infrastrukturen grundsätzlich mit einbezogen werden.

# Summary

Energy efficiency is a key factor in terms of the profitability of companies and has so far been optimized in economically closed and functionally oriented technical systems. This study addresses the question of what role energy efficiency will play in the expansion of digital infrastructures in Berlin and what potential or limitations it has in terms of sustainable digitalization.

The study provides an overview of the previous and current development of city-wide infrastructures of the next generation of information and communication technologies (ICT). The principal chapters of this study are dedicated to three ICT infrastructures, based on closed considerations in each case: the wired access network with fiber optic expansion, the wireless-based access network with the expansion of 5th generation (5G) mobile communications, and data centers with regard to the use of their unavoidable waste heat. The considerations relate to the design and operation of the ICT infrastructure in each case and not to its efficiency potential when used in the form of applications. Since all elements perform specific tasks, the study explicitly does not compare the different ICTs by way of an efficiency ranking. The overall conclusion applies across all infrastructures.

This study emphasizes that the energy efficiency of digital infrastructures primarily refers to relative energy efficiency, which is enabled by improving the spectral efficiency of the infrastructure components. Increases in efficiency are only realized in connection with high data volumes, and overall energy consumption is estimated to continue to rise. The energy efficiency of urban ICT infrastructures is treated as being subordinate to their transmission performance and computing power. Electrical and photonic components are optimized for reasons of self-interest, cost and by law within the ICT system under consideration in each case.

In view of the gigabit strategy, short-term oriented implementations seem to have been the common choice up to now. This calls for tactically oriented information and support options, including the use of unavoidable waste heat from data centers and a regional Berlin policy for their conversion and relocation. The modular nature of 5G and the high component costs favor an application-oriented expansion of the mobile network. Ultimately, the energy consumption of end devices should always be included in the consideration and development of ICT infrastructures.

# 1. Einleitung

Im Internet zu lesende Aussagen wie „Alles wird digital“ oder „5G is coming“ signalisieren, dass die Digitalisierung schnell und nahezu eigenständig voranschreitet. Auf der Ebene der Infrastruktur erfordert dies eine Vielzahl menschlicher Handlungen, politischer Entscheidungen und eine konstante Versorgung mit Strom.

Die Medien thematisieren nicht nur die Schnelligkeit des Internets, sondern auch, wann das schnelle Internet (endlich) vor Ort verfügbar ist. Die in 2021 veröffentlichte Gigabit-Strategie des Landes Berlin schafft dafür den entsprechenden Handlungsrahmen. Der flächendeckende Ausbau von hochleistungsfähigen Infrastrukturen für Breitband-Festnetz mit Glasfaseranschlüssen bis zum Jahr 2028 und Mobilfunk der fünften Generation bis 2025 sind dabei die mittel- bis langfristigen Ziele.

Was bei dem öffentlichen Fokus auf das „wann“ und „wie schnell“ der Digitalisierung bisher zu kurz kommt und häufig gar nicht ins Bewusstsein tritt, ist eine Betrachtung des mit ihrem Betrieb und Nutzen verbundenen Ressourcenverbrauchs. So unterscheiden sich Infrastrukturen für unsere digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) von beispielsweise Transportinfrastrukturen (wie etwa Fahrradwege, Autobahnen oder Brücken) in einem wichtigen Punkt. Sie verbrauchen Energie allein durch ihren Betrieb.

Diese Studie möchte dazu beitragen, die Digitalisierung und deren Energie- und Ressourcenverbrauch grundsätzlich gemeinsam zu denken und zu gestalten.

Aktuellen Studien zufolge hat der Energieverbrauch digitaler Infrastrukturen bereits heute eine energie- und volkswirtschaftlich bedeutende Größenordnung erreicht.<sup>1</sup> Trotz optimistischer „Net Zero“-<sup>2</sup> Bemühungen einzelner Branchen-zweige mit bisher ungebrochen steigender Tendenz. Diese Größenordnung wird nicht zuletzt durch medienwirksame neue Großprojekte wie sogenannte „Hyperscale“ Rechenzentren u. a. in Berlin-Brandenburg vermehrt sichtbar und öffentlich problematisiert.

Den Zahlen nach bewegen sich „Gigabit“-Infrastruktur Komponenten in einem weiten „Megawatt“-Spektrum, welches sich mit Beispielen veranschaulichen lässt. In Hanau entsteht ein Hyperscale Rechenzentrum mit einer geplanten Leistung von 180 MW. Diese medienwirksame Größenordnung entspricht etwa der doppelten Jahresleistung der Stadt. Eine weit verbreitete Schätzung zum Verbrauch von Rechenzentren liegt bei 16 TWh/a<sup>3</sup> für das Jahr 2020. Der Gesamtstromverbrauch des leitungsgebundenen Zugangsnetzes belaufe sich ebenfalls nach Schätzung im Jahr 2020 auf etwa 2,2 TWh/a.<sup>4</sup> Der Gesamtstromverbrauch der Mobilfunknetze im Zugangnetz wurde für 2022 auf etwa 3,7 TWh/a<sup>5</sup> geschätzt. Studien beziehen unterschiedliche Aspekte und Annahmen in ihre Berechnungen ein und können deshalb zu abweichenden Ergebnissen

1 TAB (2022) 187

2 Netto-Null-Strategie gemessen an verringerten oder ausgeglichenen Treibhausgasemissionen: [www.ericsson.com/en/about-us/sustainability-and-corporate-responsibility/environment/climate-action](https://www.ericsson.com/en/about-us/sustainability-and-corporate-responsibility/environment/climate-action)

3 Hintermann, R. Borderstep Institut, (2020). „Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an“

4 In: TAB (2022), nach Borderstep Institut 2019, S. 47 auf Basis von Stobbe et al. 2015b, S. 111

5 UBA (2023)

kommen. Im Verhältnis wird jedoch ersichtlich, dass der Stromverbrauch der datenverarbeitenden Infrastruktur (Rechenzentren) wesentlich höher ist, als der der datenübertragenden Infrastruktur (funkbasierte und leitungsgebundene Zugangsnetze). Gleichzeitig sind alle Arten der IKT-Infrastruktur untrennbar miteinander verbunden und bedingen einander – sowohl in der Qualität der Dienstleistungen als auch in der Quantität des Ressourcenverbrauchs.

Angesichts dieser Tendenzen soll die Energieeffizienz von IKT-Infrastrukturen und Komponenten sowohl den steigenden Strombedarf als auch die ungebrochene Nachfrage an Datenübertragung und -verarbeitung in optimierender Weise adressieren. So ist die Energieeffizienz von 5G Mobilfunknetzen innerhalb der Branche ein Designkriterium mit ausgesprochen hoher Priorität. Durch das im September 2023 vom Bundestag verabschiedete Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz (EnEfG), welches innerhalb der Branche kontrovers diskutiert wird, wurden zudem erstmalig Mindeststandards für den effizienten Betrieb von Rechenzentren gesetzt.

Eine langfristig relevante Frage bleibt angesichts oftmals gegenläufiger und kurzfristiger Ziele, Interessen und Tendenzen: Wie kann die dynamische Entwicklung von IKT-Infrastrukturen und digitalen Anwendungen auf städtischer Ebene wirtschaftlich, sozial und ressourcenschonend gestaltet werden? Auf städtischer Ebene bedeutet hier über einzelne Betriebs-, Unternehmens- und Verwaltungsgrenzen hinaus.

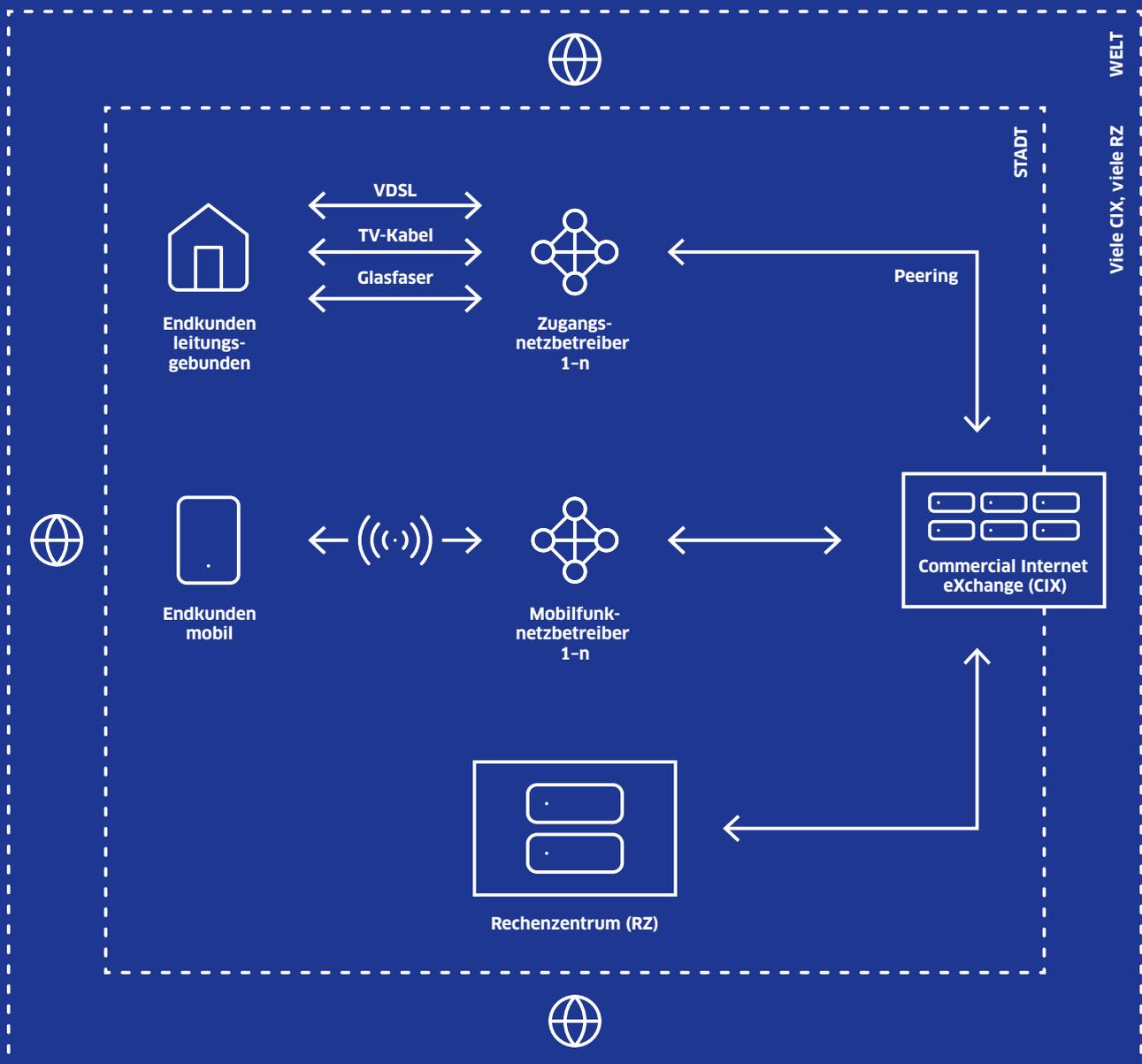
Innerhalb einer industriell und privatwirtschaftlich geprägten Wirtschaft ist dies eine Herausforderung, die weit über die Ansprüche von für „Unlimited Data“ zahlenden Kunden hinaus geht.

Die vorliegende Studie „Digitalisierung unter Strom“ wird von folgenden Fragen geleitet:

- Welche Rolle spielt Energieeffizienz beim Ausbau urbaner IKT-Infrastrukturen aus der Sicht beteiligter Akteure und für eine ressourcenschonende Digitalisierung?
- Was sind Limitationen der Energieeffizienz hin zu einer ressourcenschonenden Digitalisierung und welche anderen Gestaltungsmöglichkeiten gibt es?

Die IKT-Infrastrukturen der leitungsgebundenen Zugangsnetze, des Mobilfunks und Rechenzentren werden in jeweils einzelnen Kapiteln behandelt (3, 4, 5). Während jede Infrastruktur separat behandelt wird, folgen die Kapitel der gleichen Struktur. Kapitel 3 fokussiert sich dabei auf den Glasfaserausbau. Kapitel 4 auf den Ausbau von 5G inklusive seiner Komponenten, Kapitel 5 auf die Bauart und städtische Integration von Rechenzentren durch Abwärmenutzung. Das Gesamtfazit geht nochmals übergreifend auf die anfänglichen Fragestellungen ein. Das folgende Kapitel legt die zentralen Konzepte und Herangehensweise als Grundlage dar.

# Urbane IKT-Infrastrukturen im Überblick



## 2. Grundlagen

Diese Studie betrachtet urbane IKT-Infrastrukturen, die sich momentan im Ausbau der „nächsten Generation“ befinden. Die Grafik zeigt eine schematische Gesamtübersicht der Internet-Infrastrukturen in der Stadt. Die Kapitel 3 bis 5 dieser Studie befassen sich jeweils mit einer der Teil-Infrastrukturen.

## 2.1 Urbane IKT-Infrastruktur im Fokus

Sowohl städtische als auch ländliche Infrastrukturen werden normalerweise als gegeben hingenommen, solange Sie ihren Sinn und Zweck erfüllen. Oftmals werden sie sogar erst sichtbar beziehungsweise treten in unser Bewusstsein, wenn sie ihre Funktion nicht erwartungsgemäß erfüllen oder ausgebaut werden müssen. Allein der zuverlässige Erhalt von Infrastruktur und ihren Diensten benötigt kontinuierliche Wartung und Reparatur (Graham und Thrift, 2007). Man denke hier beispielsweise an das komplexe Schienennetz der Deutschen Bahn.

Veränderungen einer Stadt sind bedingt durch Veränderungen der urbanen Infrastruktur und vice versa. Diese bieten die Grundlage für die Versorgung mit Energie, Wasser, Mobilität, Abfallwirtschaft, Gütern und Nahrungsmitteln sowie wirtschaftlicher Aktivität. Die Digitalisierung urbaner Dienstleistungen macht diese nicht nur „smarter“, sondern mittlerweile auch schlichtweg abhängig von digitalen Infrastrukturen und dem Zugang zu Strom. Nicht nur der Personenverkehr stößt bei wachsender Nachfrage an Kapazitätsgrenzen, auch der Datenverkehr wächst stetig an. Nicht nur Berlin, sondern Städte weltweit sind laufend dabei, digitale Infrastrukturen zur „nächsten Generation“ auszubauen, um die öffentliche Versorgung zuverlässig bereitzustellen und gleichzeitig eine datenintensive Wirtschaft zu fördern.

Durch Infrastruktur kann man also städtische und gesellschaftliche Veränderungen verstehen und diese lang- bzw. längerfristig wirksam beeinflussen. Doch Infrastruktur erhält nicht nur kritische lebenserhaltende Funktionen

einer Stadt. Mit dem Bau, der Förderung, der Verhinderung oder gar der Zerstörung von Infrastruktur-Projekten wird (neben der rein funktionalen Ebene) auch Prestige und Machtausdruck verbunden. Während dies zu analogen Zeiten beispielsweise noch die Größe einer Brücke war, gehört dazu heutzutage die Geschwindigkeit des Internets und die Schnelligkeit dessen Ausbaus. Davon zeugen Medienberichte, die Städte in einer Wettbewerbssituation darstellen, die Nummer eins in digitaler Geschwindigkeit zu sein.

Wenn man heutzutage von IKT-Infrastruktur spricht, werden damit im Wesentlichen die in dieser Studie untersuchten verstanden, nämlich:

1. Das leitungsgebundene Zugangsnetz (mit dem Glasfaserausbau)
2. Das Mobilfunknetz (mit dem 5G-Ausbau)
3. Rechenzentren (mit der Abwärmenutzung)

Diese drei hardwarebasierten Infrastrukturen werden momentan in der sogenannten „nächsten Generation“ ausgebaut, um mehr funktionale Kapazität bereitzustellen. Diese wird heutzutage typischerweise in Form von einem Mehr an Datenvolumen, einer erhöhten Schnelligkeit in der Datenübertragung und einer geringeren Latenz bzw. Verzögerungszeit zwischen den Endpunkten charakterisiert. Internetknoten werden aktuell weniger in den Medien und politischen Debatten thematisiert. Als Schnittstelle sind sie von zentraler Bedeutung für den Betrieb der jeweils im Ausbau befindlichen IKT-Infrastrukturen.

Einzelkomponenten der energiebedürftigen digitalen Infrastruktur, stehen in dieser Studie

weniger im Vordergrund. Dazu gehören z. B. Server und Router (einschließlich ihrer Einzelbauteile wie Prozessoren, Netzwerkkarten, Netzteilen usw.), Accesspoints, Gateways und Basisstationen (einschließlich ihrer Bauteile) sowie Software.

Die jeweils mit den Infrastrukturen verbundenen Endgeräte (neben Desktopcomputern, Tablets und Funktelefonen gehören dazu auch internetfähige Fernseher, Kameras oder Sensoren aus dem „Internet of Things“) werden in dieser Studie ebenfalls nur am Rande betrachtet. Diese Entscheidung trifft keine Aussage zu ihrer Bedeutung im Gesamtenergieverbrauch.

Von der Betrachtung ausgenommen sind, bis auf örtliche 5G-Campusnetze, auch schmalbandige Netzinfrastrukturen für den Nahbereich. Diese sind oft explizit bis hin zum Komponentenbetrieb energieverbrauchsoptimiert und wurden von der Technologiestiftung bereits in der Studie „IoT in Berlin“ (S. 16 ff.)<sup>6</sup> ausführlich vorgestellt.

Ebenfalls nicht gesondert betrachtet wurden Berliner IKT-Infrastrukturen für geschlossene Nutzergruppen wie das Netz der Berliner Behörden, das Glasfasernetz der Berliner Hochschulen, Forschungsinstitute und Kultureinrichtungen BRAIN (Berlin Research Area Information Network) und interne Netzwerke von Großunternehmen einschließlich der zugehörigen Rechenzentren.

## 2.2 Energieeffizienz und ihre Kenngrößen

Die ursprüngliche Fragestellung entstand im Austausch mit der Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe. Die Betrachtung gilt der Energieeffizienz der sich deutschlandweit und in Berlin im Ausbau befindlichen IKT-Infrastrukturen. Gleichzeitig stellt diese Arbeit dabei Bezüge zwischen den IKT-Komponenten sowie anderen Systemen her, um ressourcenschonende Gestaltungsmöglichkeiten auf städtischer Ebene nicht zu vernachlässigen.

### 2.2.1 Aktuelle Studien zum Thema

Aktuell gibt es umfangreiche Studien zu Energieverbrauch und Energieeffizienz von IKT Infrastrukturen sowie viele darauf Bezug nehmende Medien- und Unternehmensberichte. Hier wurden eingangs Dokumente berücksichtigt und analysiert, die von Akteuren empfohlen wurden und diese mit Fachliteratur und einer Sichtung der

Mediendiskurse ergänzt. In der folgenden Tabelle habe ich einige der umfangreicheren und in dieser Arbeit häufig zitierten Studien aufgeführt. Diese gelten an dieser Stelle nicht nur als Referenz, sondern als weitere Wissensgrundlage für detaillierte Betrachtung, da diese Arbeit auf der Übersichtsebene bleibt.

In Deutschland gab es bisher wenige Personen, die sich wissenschaftlich mit dem Thema Rechenzentren beschäftigten. Gleichzeitig ist das öffentlich zugängliche Wissen über diesen Markt recht gering. So ist das Borderstep Institut, mit dem (Co-)Autor Ralf Hintemann und seiner über zwei Jahrzehnte spannenden Branchenerfahrung, aktuell eine Hauptquelle für Schätzungen zu Energieverbräuchen und Effizienzfragen innerhalb der Branche. Die verhältnismäßig schlechte Informationslage zu Rechenzentren generell hat dabei mehrere Gründe und man kann erwarten, dass die neuen Vorgaben des Energieeffizienzgesetzes (EnEfG) diese Situation ändern werden.

Tabelle 01

**Übersicht einiger aktueller Studien zur Energieeffizienz von IKT**

<b>Jahr</b>	<b>Projekt / Studienname</b>	<b>Herausgeber</b>	<b>Autoren</b>
2021	<b>Green Cloud-Computing</b>	Umweltbundesamt (UBA)	Jens Gröger, Ran Liu, Dr. Lutz Stobbe, Jan Druschke, Nikolai Richter
2022	<b>Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur</b>	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB)	Reinhard Gürnwald Claudio Caviezel
2022	<b>Nachhaltigkeitsvergleich Internet-Zugangstechnologien</b>	Technische Hochschule Mittelhessen (THM)	Prof. Dr.-Ing. Kristof Obermann
2023	<b>Umweltbezogene Technikfolgenabschätzung Mobilfunk in Deutschland</b>	Umweltbundesamt (UBA)	Dr. Lutz Stobbe, Nikolai Richter, Maximilian Quaeck, Konstantin Knüfermann, Jan Druschke, Maximilian Fahland, Victor Werner Höller, Nico Wahry, Hannes Zedel, Michael Kaiser, Stefan Hoffmann, Michael Töpfer, Dr. Nils F. Nissen

Abrufbar unter:  
 UBA (2021): [www.umweltbundesamt.de/publikationen/green-cloud-computing](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/green-cloud-computing)  
 TAB (2022): [www.tab-beim-bundestag.de/projekte\\_energieverbrauch-der-ikt-infrastruktur.php](http://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_energieverbrauch-der-ikt-infrastruktur.php)  
 THM (2022): [www.brekverband.de/site/assets/files/18892/gutachten\\_thm\\_nachhaltigkeit\\_zugangstechnologien.pdf](http://www.brekverband.de/site/assets/files/18892/gutachten_thm_nachhaltigkeit_zugangstechnologien.pdf)  
 UBA (2023): [www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbezogene-technikfolgenabschaetzung-mobilfunk](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbezogene-technikfolgenabschaetzung-mobilfunk)

### 2.2.2 Spezifische und generische Kennzahlen

Im unternehmerischen Kontext wird Energieeffizienz als Maßzahl (Metrics) und als energiebezogene Leistungskennzahl (Key Performance Indikator, KPI) genutzt, um einen Energieaufwand (oder Emissionen) zum dadurch erzeugten funktionalen Nutzen in Verhältnis zu stellen. Wie die Studie des Umweltbundesamtes herausstellt,

geschieht dies in unterschiedlichen Bezugsgrößen und macht dabei folgende Unterschiede<sup>7</sup>:

- **Generische Kennzahlen:** „Diese sind höher aggregiert und eignen sich für das Reporting und für die vergleichende Außendarstellung.“
- **Spezifische Kennzahlen:** „Diese sind sehr detailliert bzw. themenspezifisch. Ihre Nutzung erfolgt im Rahmen interner Managementprozesse.“

7 UBA, 2023, S. 223

Kennzahlen, die besonders häufig für die externe Kommunikation verwendet werden, sind generische Kennzahlen zur Energieeffizienz und somit aggregiert. Bei meiner Betrachtung beziehe ich wo möglich auch den Kontext und mögliche Gründe, warum Daten zur Außendarstellung zueinander in ein Verhältnis gebracht werden, mit ein.

### 2.2.3 Leistungs- und klimaschutzorientierte Kennzahlen

Der tatsächliche bzw. geschätzte Energiebedarf der leitungsgebundenen und funkbasierten Netze wird häufig in Zahlen ausgedrückt, welche die benötigte elektrische Arbeit (in kWh) angeben (oft, wenn sie von Betreibern von IKT oder elektrischer Infrastruktur stammen) oder als CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, der diese Größen auf den Einsatz fossiler Ressourcen umrechnet (wenn sie aus klimaschutzorientierten Studien stammen). Beide Angabe-Methoden sind oft nicht direkt ineinander umrechenbar, da die Faktoren, die in die Berechnungen der Treibhausgasemissionen (in CO<sub>2</sub> oder THGs) eingehen, verschieden sein können. In dieser Studie werden bevorzugt die leistungs-basierten Angaben wiedergegeben.

### 2.2.4 Effizienz durch Technikmodernisierung: Koomey's Law und Moore's Law

Die Technikmodernisierung beruht oft auf den Fortschritten der Halbleiterindustrie. Zwei oftmals zitierte Wissenschaftler haben „Faustregeln“ für Entwicklungsprognosen aus Erfahrungswissen hergeleitet, diese sind Johnathan Koomey und Gordon E. Moore. Ihre Beobachtungen werden beispielsweise weithin in der Halbleiterbranche für Roadmaps genutzt.

Die kontinuierliche Miniaturisierung von Komponenten bildet eine Grundlage zur Verbesserung von Funktionen und bis zu einem gewissen Umfang auch der Energieeffizienz von Servern, Speichertechnik und Netzwerktechnik (UBA 2023). Dieses Verbesserungspotenzial, gemessen in Prozessorrechenleistung pro Joule, hatte sich zunächst kontinuierlich alle 1,6 Jahre verdoppelt (Koomey's Law) und im Zeitraum von 2000–2010 auf alle 2,6 Jahre verlangsamt. Eine aktuelle Studie zur Gültigkeit der Faustregel gibt es laut UBA (2021) nicht.

Auch Gordon E. Moore reflektierte über die Fähigkeit der Halbleiterindustrie, die Rechenleistungen zu verdoppeln indem in regelmäßigen Zeitabständen stetig kleinere Transistoren gebaut werden. Das Mooresche Gesetz beschreibt diese regelmäßige Technologieverbesserung, welche beispielsweise bisher einen positiven Effekt auf den Flächenbedarf (und somit auch etwa den Kühlungsbedarf) von Rechenzentren hat. Wie die Studie des UBA (2021) und andere Publikationen anführen, kann man hier auf lange Sicht von einer Veränderung des Trends ausgehen.

Steigt der IT-Bedarf weiter an und die Steigerung der Rechenleistung pro Energiebedarf verlangsamt sich (bei zusätzlich höherem Energiebedarf der Komponenten), werde so der Flächen- und Energiebedarf nach diesem Prinzip wieder zunehmen.<sup>8</sup>

## 2.2.5 Relative Energieeffizienz, Bandbreiteneffizienz, Energiebedarf und Umweltwirkungen

Abschließend möchte ich noch eine weitere Sichtweise auf die Kennzahlen der Energieeffizienz werfen, welche besonders für ihre Kontextualisierung und sinnvolle Interpretation wichtig ist.

- **Gesamtenergiebedarf:** Der Gesamtenergiebedarf beruht auf der Abschätzung der gesamten Infrastruktur eines Landes oder einer Stadt, etwa die Anzahl der Basisstationen oder Rechenzentren samt ihrer installierten Leistung. Berechnungen zur Energieeffizienz beruhen häufig auf theoretischen Szenarien und geben somit nur eine Abschätzung zum realen Gesamtbedarf bzw. zu den realen Einsparungen.

- **Relative Energieeffizienz:** Das UBA (2023) stellt heraus, dass sich besonders Jahresberichte und Strategiepapiere auf die Entwicklung des relativen Energiebedarfs (z. B. Wh/GB) beziehen bzw beschränken.
- **Spektrale Effizienz:** Diese Kennzahl wird in 1 Bit/s pro Hertz (Hz) Bandbreite angegeben und beschreibt das Verhältnis zwischen Datenübertragungsrate und Bandbreite des Signals (Bandbreiteneffizienz). Sie ist in der Übertragungstechnik (etwa Glasfaser oder 5G-Funkzellen) verankert und hat besonders beim Erzielen einer höheren relativen Energieeffizienz eine zentrale Bedeutung.
- **Umweltauswirkungen:** Die Studie des UBA (2023) verweist darauf, dass Angaben zur Energieeffiz häufig aggregierte Daten sind, die eine genauere Auskunft zu Umweltauswirkungen nicht oder nur teilweise ermöglichen. So seien beispielsweise separate Informationen zu Komponenten und auch deren Herstellung nötig, um eine ganzheitlichere Bewertung für klima- und umweltbezogene Verbesserungen in der Gestaltung und im Betrieb zu machen.

Wie man an diesen Beispielen erkennt, sind die Kennzahlen zur Energieeffizienz vielschichtig und es ist angesichts der oftmals ähnlichen Wortlaute wichtig, sich ihrer Bedeutung bewusst zu sein.

<sup>8</sup> [spectrum.ieee.org/moores-law-might-be-slowing-down-but-not-energy-efficiency](https://spectrum.ieee.org/moores-law-might-be-slowing-down-but-not-energy-efficiency)

## 2.3 Methodische Herangehensweise

Die Energieeffizienz wird in dieser Studie nicht nur als technisches, sondern als vielschichtiges Thema behandelt. Die Energieeffizienz von IKT kann beispielsweise aus ökologischer und ressourcenschonender Sichtweise auf die Digitalisierung, aus Gründen der unternehmerischen Kostenersparnis, aus Sicht der technologisch machbaren Systemoptimierung oder als Argument in politischen Debatten adressiert werden. Diese Arbeit gibt dabei vorhandene Informationen aufbereitet wieder, ohne dass diese Studie selbst Berechnungen angestellt oder Primärdaten erhoben hat.

Wie Studien berichten, ist es durch Effizienzverbesserungen „in der Vergangenheit gelungen, den Anstieg des Energieverbrauchs im Verhältnis zum rasanten Wachstum in der IKT- Branche in Grenzen zu halten. Ob dies auch weiterhin gelingen kann, ist ungewiss.“ (TAB, 2022:9). Unter Erwägung der abnehmenden Effizienzgewinne bei den elektrischen Komponenten deuten diese laut TAB (2022) auch auf die Notwendigkeit neuer technologischer Ansätze von optischen

Technologien „bis hin zur Abkehr von den klassischen Computerarchitekturen, die sich derzeit allerdings noch in einem frühen Forschungsstadium befinden“, hin (TAB, 2022:9).

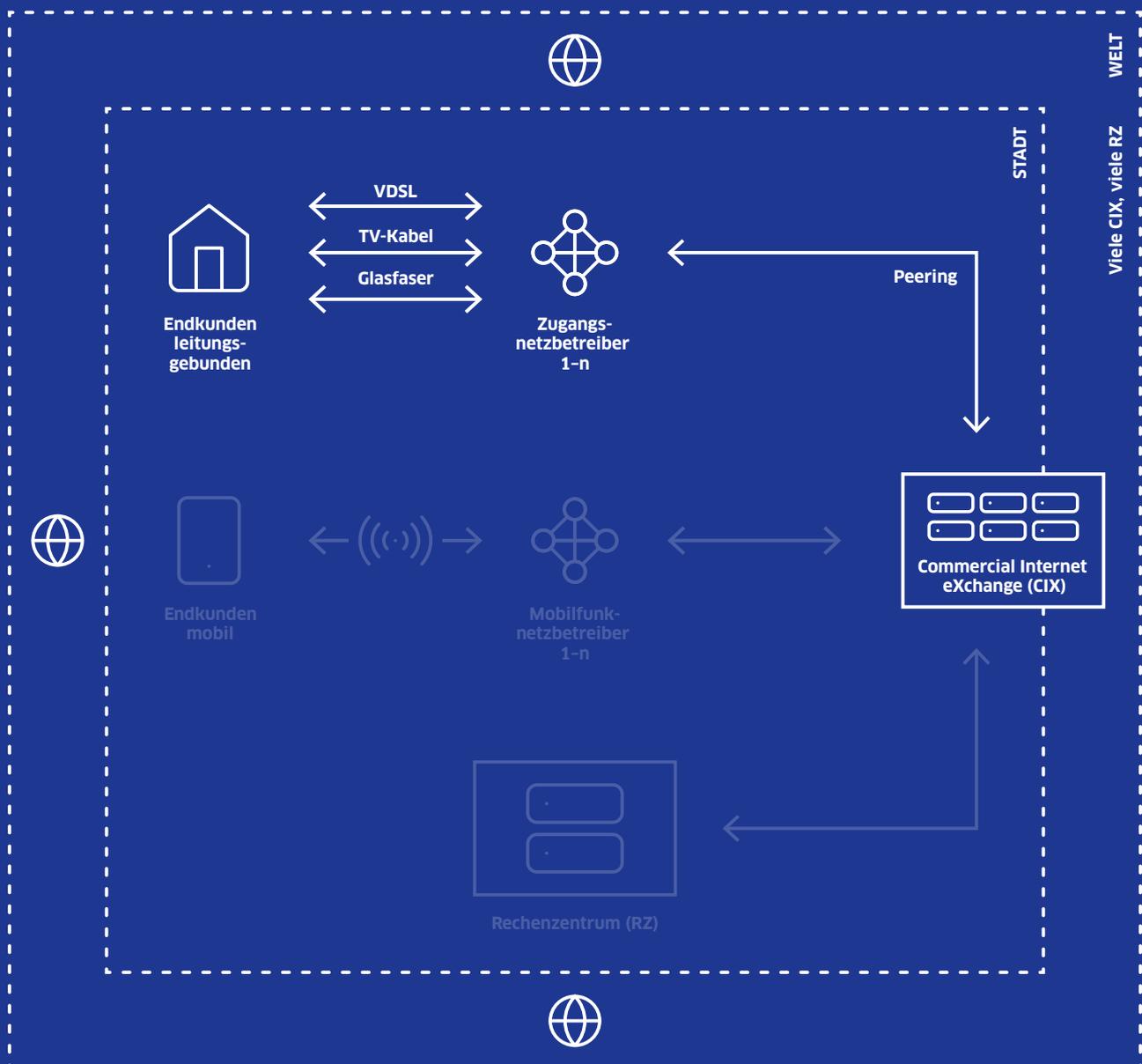
Es wurden etwa ein Dutzend Expertengespräche als unstrukturierte Interviews geführt, bei denen das Thema Energieeffizienz von IKT-Infrastrukturen offen diskutiert wurde. Diese und weitere Konversationen mit Akteuren bilden u. a. die Branchenweige Rechenzentrum, Internetprovider, Telekommunikationsunternehmen, Wissenschaft und die öffentliche Verwaltung ab. Zusätzlich wurden zwei Glasfaser-Baustellen besucht (Telekom und Vattenfall Eurofiber), um den technischen Ausbau des Festnetzes zu verstehen und ergänzende Hintergrundgespräche zu führen.

Diese Arbeit möchte einen generellen Überblick zum aktuellen Stand von energieeffizienten Gestaltungsmöglichkeiten im Bereich der IKT-Infrastruktur verschaffen und durch die Informationsaufbereitung das reichhaltige Spezialwissen in der Praxis ergänzen.



# Nächste Generation leitungsggebundes Netz und Energieeffizienz

Überleitung vom Kupferkabel zur Glasfaser



# 3. Überblick zum Glasfaserausbau

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zur Infrastruktur des leitungsgebunden Zugangsnetzes (Last Mile) und der Rolle der Energieeffizienz beim Glasfaserausbau. Dabei wird die leitungsbasierte Datenübertragung im Kernnetz (Backbone) dazu in Beziehung gesetzt, aber nicht näher betrachtet.

## 3.1 Das leitungsgebundene Zugangsnetz

Der Ausbau der leitungsgebundenen Netze war und ist weiterhin in erster Linie damit befasst, die steigenden Anforderungen an die Datenübertragung – sowohl in Geschwindigkeit in kbits/s (Netzwerkbandbreite) als auch in Datenvolumen (Netzwerkdurchsatz) – gerecht zu werden. Das Material und die Bauweise der Leitungen, die sogenannte Bitübertragungsschicht oder auf Englisch „physical layer“ (Schicht 1 im OSI-Modell), spielt dabei die entscheidende Rolle hinsichtlich der Geschwindigkeiten und des Durchsatzvolumens des leitungsgebundenen Netzes.

Heutige Fest- und Mobilnetze (inklusive der TV Kabel) sind praktisch deckungsgleich mit dem Internet. Telefonie wird bereits weitgehend statt durch ein separates Telefonnetz für Sprachkommunikation, durch Voice-over-IP (VoIP) über internetbasierte Netzwerke mitbefördert (TAB, 2022). Beim Kabelfernsehen ist diese Entwicklung im Gang. Anders ausgedrückt, aktuelle Bestrebungen sind darauf gerichtet, alle drei Netze (Fernsehen, Internet und Telefon) von einer Leitungsvermittlung auf eine Paketvermittlung umzustellen. Dieses sogenannte Next Generation Network (NGN) basiert dann auf dem TCP/IP-Protokoll.

Innerhalb der leitungsgebundenen Netze unterscheidet man grundsätzlich zwischen dem Kernnetz (auch „Backbone“-Netze oder Hintergrundnetze genannt) und dem Zugangsnetz (auch „Last Mile“ zwischen Netzverteiler und Kunde genannt). Die Zugangsnetze werden von Internetdienstleistern (engl. Internet-Service-Providern) verwaltet und sind an das weltweite

Internet angeschlossen. Bei dem Kernnetz handelt es sich um ein Telekommunikationsnetzwerk, welches von internationalen als auch nationalen Trägern (engl. „Carriern“) betrieben wird. Zum Zugangsnetz gehören auch kleinere Rechenzentren in Form von „Einwahlservern“. Sein flächendeckender Ausbau und die Verarbeitung optischer Leiter ermöglichen bei der Datenübertragung sowohl eine ausreichende Bandbreite als auch Schnelligkeit über große Entfernungen (UBA, 2021 und TAB, 2022).

Innerhalb der leitungsgebundenen Zugangsnetze macht man wiederum den Unterschied im Material. Hier gibt es reine Glasfasernetze (FTTH) und hybride Zugangsnetze, bei denen der Anschluss beim Kunden mit Kupferkabeln eingebaut wurde. Ein Großteil der leitungsgebundenen Infrastruktur der letzten Meile wurde in Deutschland bisher mit kupferbasierten Kabeln verlegt, welche die Informationen durch elektrische Signale übertragen. Als Kabelformen sind verdrehte Doppeladern und Koaxialkabel mit unterschiedlich realisierten Abschirmungen in Gebrauch. Kupfer zeichnet sich neben seiner Leitfähigkeit und Beständigkeit als weiches Material auch durch seine Festigkeit und Formbarkeit, z. B. beim Verlegen innerhalb von Gebäuden, aus.

Glasfaserkabel sind sogenannte Lichtwellenleiter (LWL) und bestehen üblicherweise aus Bündeln mehrerer optischer Leiter bzw. Fasern. Die „Glas“-fasern können dabei durchaus auch aus Kunststoffen mit entsprechenden optischen Eigenschaften bestehen. Die Information wird als optisches Signal übertragen, wobei unterschiedliche Wellenlängen (Farben) parallel

nutzbar sind, wenn Transceiver und Verstärker das beherrschen und die Faser geeignet ist. Als Transceiver, das sind Elemente, die Strom in Licht wandeln und umgekehrt, kommen üblicherweise Halbleiterlaser und Fotodioden oder andere lichtempfindliche elektronische Bauteile zum Einsatz.

Die Verkabelung mit Glasfaser kann im Prinzip alle kupferbasierten Leitungen und Anschlusstypen auf dem Weg zwischen Internet Backbone und Endgerät ersetzen. Dazu gehören ISDN, DSL und Derivate wie ADSL, SDSL, VDSL und Koaxialkabel (die üblicherweise beim TV-Breitbandanschluss vorliegen). Moderne Glasfaserverkabelungen können bzw. sollen auch Glasfaserverkabelungen aus den Neunzigern (OPAL) und HFC-Verkabelungen (das ist eine Kombination aus Glasfaser mit Koaxial-Kupferkabel auf der „letzten Meile“) ersetzen, soweit diese nicht ausreichend breitbandfähig sind.

Glasfaser ist bereits fester Bestandteil im Kernnetz. Bei dem Ausbau des Glasfasernetzes als Standard in Deutschland allgemein und in Berlin im speziellen beziehen sich die Debatten und Bemühungen auf die sogenannte letzte Meile bzw. die letzten Meter. Diese Teile der Infrastruktur bezeichnet man in Abhängigkeit davon, wie weit die Glasfaserverbindung reicht

und somit auch, ab welchem Punkt des leitungsgebundenen Netzes eine Verbindung zum Endgerät mit Kupferverkabelung weitergeht als Fiber to the curb (FTTC) mit weiterführenden Kupferverkabelungen ab dem Verteilerkasten auf der Straße, Fibre to the building (FTTB) mit Kupferverkabelungen innerhalb des Gebäudes und Fibre to the home (FTTH) mit komplettem Glasfaserschluss ohne Kupferanteil bis in die Wohnung (Gigabit-Portal Berlin, 2021).

Im Zusammenhang mit dem Ausbau sei ergänzend darauf hingewiesen, dass die Verlegung von Glasfasern technisches Wissen und Geräte erfordert (z. B. aufgrund anderer Biegeradien und anderer Verbindungstechniken), welche sich von Kupferkabeln grundlegend unterscheiden. Dieses muss unter Technikern und im Handwerk entsprechend geschult werden und erfordert aufgrund des bruchanfälligeren Materials eine ruhige Hand.

Wann (und ob) aktuell in Funktion befindliche kupferbasierte Leitungen komplett zurückgebaut und somit auch das Kupfer als Material zurückgewonnen werden kann, ist noch nicht abzusehen. Dies wird von den Vertragslaufzeiten und der Bereitschaft der Kunden zum Wechsel von Kupfer auf FTTH abhängen.

## 3.2 Rahmenbedingungen für den Glasfaserausbau

Maßgebend für den Glasfaserausbau sind, wie auch im Mobilfunk, die Gigabit-Strategien der Bundes- und Landesregierungen. Die Zielsetzungen werden durch die Geschwindigkeitsreferenz „Gigabit“ ausgedrückt. Dies verdeutlicht nochmals die Größenordnung der Datenübertragung, an der die heutige digitale Infrastruktur für den aktuellen und zukünftigen Bedarf ausgerichtet wird.

Die Gigabit-Strategie der Bundesregierung wurde am 13. Juli 2022 vom Bundeskabinett verabschiedet und sieht vor, die Glasfaseranschlüsse auf nationaler Ebene bis Ende 2025 zu verdreifachen. Es sollen dann 50 % der Haushalte und Unternehmen über Glasfaser an das Netz angeschlossen sein. Die Gigabit-Strategie des Landes Berlin wurde am 15. Juni 2021 vom Senat verabschiedet – also rund ein Jahr vorher – und schafft die lokalen Rahmenbedingungen. Für Berlin wurden folgende zeitliche Ziele zum Ausbau und der Bereitstellung der leitungsgebundenen Anschlüsse mit Glasfasertechnologie gesetzt (Gigabit-Portal Berlin, 2021):

- **Kurzfristig** – Gewerblichen Nutzer:innen sowie sozioökonomischen Schwerpunkten steht bedarfsorientiert eine kostengünstige Glasfaser-Anbindung zur Verfügung.
- **Mittelfristig** – Bis spätestens 2025 – verfügt Berlin über eine flächendeckende Gigabit-Versorgung. Hierfür kommen sowohl FTTB/H- als auch HFC-Netze in Frage.

- **Langfristig** – Bis spätestens 2030 – verfügt Berlin über eine flächendeckende Glasfaser-Versorgung auf Basis von FTTB/H.

Die Entwicklung von Glasfasernetzen als anvisierter neuer Standard in Deutschland wird in erster Linie den Telekommunikationsunternehmen und privatwirtschaftlichen Logiken überlassen. Nicht nur in Berlin, sondern auch in anderen Bundesländern gilt „Markt vor Staat“, wie es die Hessische Digitalministerin Prof. Dr. Kristina Sinemus bei einer Diskussion zum Thema formuliert hat.<sup>9</sup> Dabei befinden sich die Telekommunikationsanbieter beim Gigabit-Ausbau in einer Wettbewerbsposition. Telekom, Vattenfall Eurofiber und weitere Glasfaseranbieter praktizieren Doppelausbau von Glasfasern auf den Ausbauebenen FTTB und FTTH. Dies gilt sowohl im Business-to-Business-Markt (B2B) als auch im Markt für Endkunden (B2C).

Die Bundesregierung hat mit dem Gigabit-Grundbuch ([gigabitgrundbuch.bund.de](http://gigabitgrundbuch.bund.de)) ein Online-Portal geschaffen, in dem relevante Informationen zum geplanten Infrastrukturausbau und zur aktuellen Versorgung im Bereich Telekommunikation bereitgestellt werden. Das lokale Pendant ist der Gigabit Monitor des Landes Berlin, über den auch der aktuelle Stand des Glasfaserausbaus ersichtlich ist: [gigabit.berlin.de/gigabitmonitor.php](http://gigabit.berlin.de/gigabitmonitor.php)

<sup>9</sup> Quelle: Smart Country Converntion, 08.11.2023 in Berlin

Bei der Übersetzung der Gigabit-Strategien und dem Monitoring ihrer lokalen Umsetzung ist anzumerken, dass die sogenannte Bereitstellung eines Anschlusses (in den Abstufungen „homes passed“ und „homes connected“) nicht gleichbedeutend der tatsächlichen Nutzung eines Anschlusses ist („homes activated“, etwa durch eine Firma in einem gewerblichen Gebäude oder durch einen privaten Endkunden). Zahlen zur Bereitstellung von Anschlüssen geben somit noch keine Auskunft über die operationale Gigabit-Versorgung in einem Bezirk an, sondern spiegeln die infrastrukturellen Voraussetzungen dafür wider.

Medienstimmen und Experten sagen, langfristig können nur Glasfasernetze das aktuelle Wachstum der Datenströme bewältigen. So sei Deutschland im Vergleich zu anderen industrialisierten Ländern ein Sonderfall, da Glasfaser woanders bereits länger Standard sei. Die relative Verzögerung des kompletten Glasfaserausbau bis in das Zugangsnetz wird u. a. dem Vectoring zugeschrieben. Es war eine Entscheidung durch die Bundesnetzagentur, mit der die Anbieter der Zugangsnetze die bundesweiten Anforderungen durch ein technologisches Update statt eines materiellen Austauschs kostengünstiger erfüllen konnten. Während heute die Energieeffizienz von Glasfaser hervorgehoben wird, war dies eine Maßnahme, die durch die zusätzlichen Komponenten zu mehr Stromverbrauch innerhalb der Infrastruktur geführt hat.<sup>10</sup>

### 3.2.1 Aktueller Stand zum Glasfaserausbau in Berlin

Der aktuelle Stand des Glasfaserausbau in Berlin ist über den Gigabit-Monitor einsehbar. Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt einen Screenshot der Webseite und somit die Momentaufnahme zur Zeit, in der diese Studie fertiggestellt wurde.

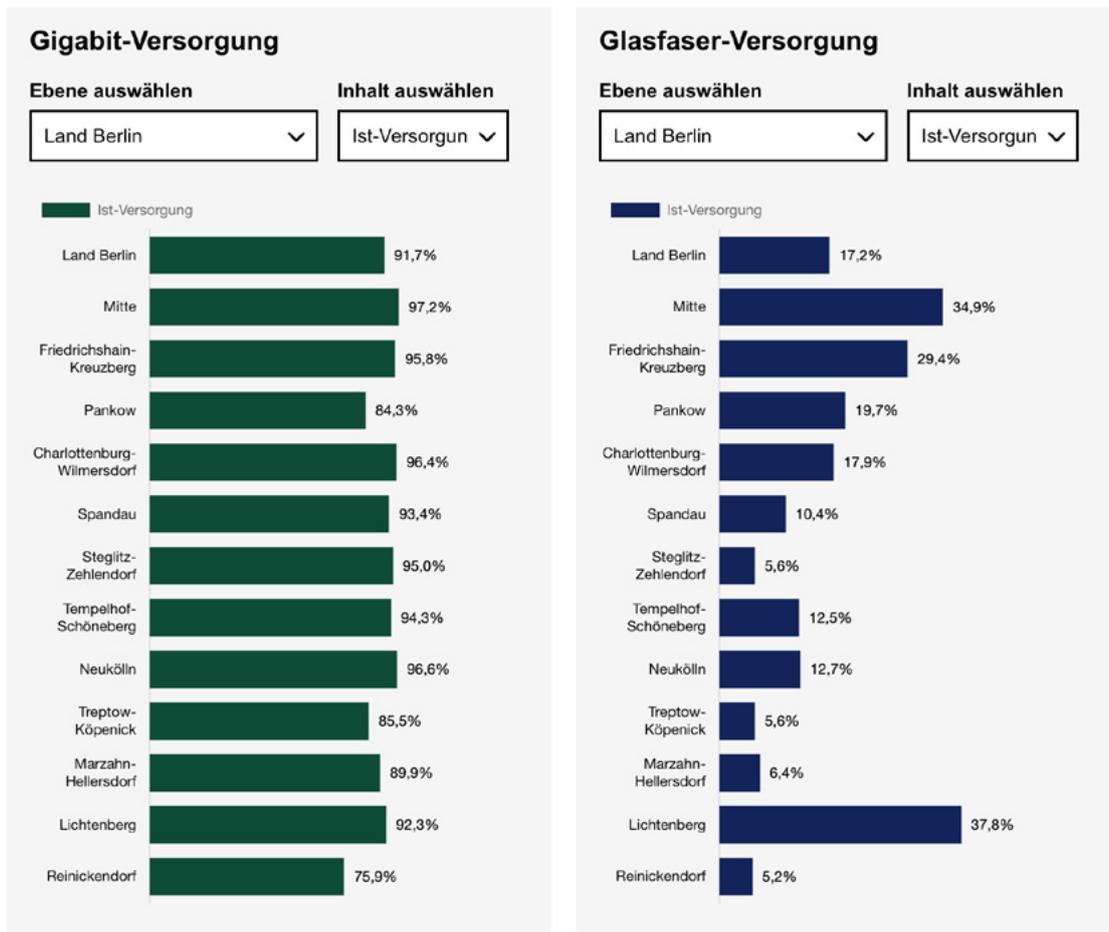
Sichtbar ist hierbei die ungleiche Verteilung der Glasfaserversorgung (homes passed) über die Berliner Bezirke. Konzentrationen von verfügbaren Anschlüssen befinden sich etwa in Mitte, Friedrichshain-Kreuzberg, Lichtenberg (wo aktuell ein großes Rechenzentrum gebaut wird, siehe Kapitel 5), Charlottenburg-Wilmersdorf und Spandau.

In der Siemensstadt, einer Großsiedlung aus Industriebauten und Weltkulturerbe der UNESCO, plant der Konzern Siemens mit „Siemensstadt Square“ ein „zukunftsweisendes neues Stadtquartier“, wo sich die digitale mit der realen Welt verbinden soll.<sup>11</sup> Diese Beispiele illustrieren, dass sich der innenstädtische Glasfaserausbau lokal an der digitalen Wirtschaft orientiert bzw. sich beide gegenseitig bedingen.

<sup>10</sup> Vectoring funktioniert technisch wie „noise cancelling headphones“. Durch eine Zwischenschaltung wird Rauschen in der Leitung reduziert und der Datendurchsatz erhöht.

<sup>11</sup> [www.siemensstadt.siemens.com/de](http://www.siemensstadt.siemens.com/de)

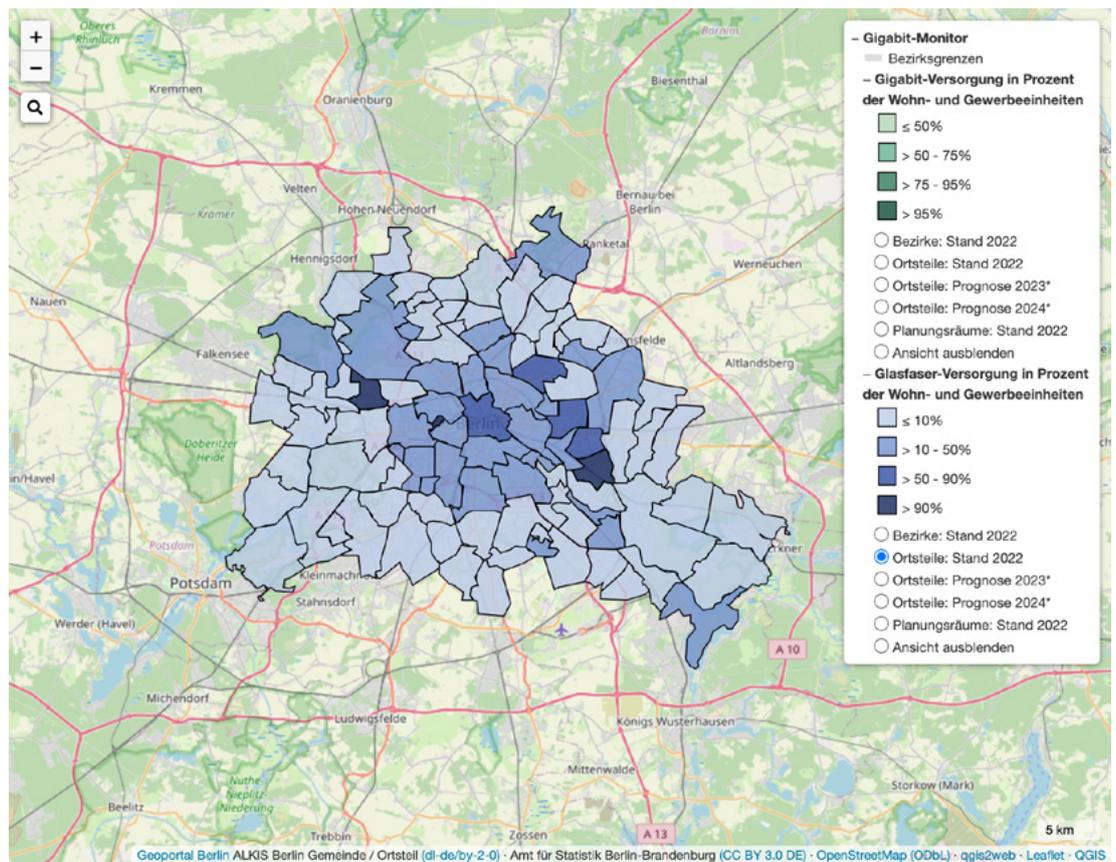
Abbildung 01 Bestandaufnahme und Prognose Glasfaserausbau <sup>12</sup>



12 Quelle: Screenshot Gigabit-Monitor Berlin (November 2023)

Abbildung 02

Überblick zur Glasfaser-Versorgung bei Wohn- und Gewerbeeinheiten (Stand 2022)<sup>13</sup>



13 Screenshot Gigabit-Monitor Berlin (November 2023)

## 3.3 Energiebedarf der leitungsgebundenen Netze

Einer Abschätzung zufolge liegt die Menge der übertragenen Daten über das leitungsgebundene Zugangsnetz mit etwa 95 % im Vergleich zu etwa 5 % über den Mobilfunk deutlich höher. Angesichts des weitverbreiteten Gebrauchs von Social Media Apps (etwa über LTE oder 5G-Mobilfunk) können diese Zahlen überraschen. Dieses Beispiel wurde in einem meiner Gespräche angeführt und illustriert, dass die Bedeutung des Festnetzes viel höher ist, als man vielleicht intuitiv annehmen würde.

Der Energieverbrauch für die Datenübertragung in den leitungsgebundenen Netzen ist demnach relativ gering. Die Relevanz ihrer funktionalen Nutzung über die Komponenten des Internets hinweg ist hoch bzw. essenziell. Angaben zur Höhe des Energieverbrauches des Internets beziehen außerdem selten den der Endgeräte mit ein.

Die Einsparpotenziale durch Glasfaser werden im Vergleich zu sowohl leitungsgebundenen als auch funkbasierten Zugangsnetzen analysiert und kommuniziert. Dies sind also:

- **die glasfaserbasierten Zugangsnetze** (FTTB und FTTH),
- **die kupferbasierten Zugangsnetze** (ADSL, VDSL2 und FTTC – die in der Vergangenheit durch Vectoring upgedated wurden),

- **die TV-Kabel-basierten Zugangsnetze** (HFC in den Spezifikationen DOCSIS3.0 und DOCSIS3.1),
- sowie **die aktiven Mobilfunk-Zugangsnetze** (LTE bzw 4G und 5G).

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht zu den Anschlusszahlen sowie Energieverbräuchen der unterschiedlichen leitungsgebundenen Netze wieder. Die Angaben bauen auf der Studie von Stobbe et al. 2015 auf und wurden vom Borderstep Institut in 2019 aktualisiert. Die Angaben wurden der Studie des TAB (2022) entnommen. Der Energieverbrauch wurde hier in benötigter elektrischer Arbeit in TWh/a angegeben, während Studien, die in den nächsten Abschnitten zitiert werden, häufig die Leistungsaufnahme der Zugangstechnologien als Kennzahl verwenden. Hier ist wie immer auf die Einheiten zu achten.

### 3.3.1 Festnetzbasierete Leitungen

In der Tabelle sind die geschätzten Energieverbräuche des Festnetzes angegeben. Die Anzahl der Anschlüsse wurde dafür aggregiert und abgeschätzt. Weitere Angaben und die methodischen Hinweise sind in TAB (2022) ab S. 67 zu entnehmen. ISDN wurde zum Ende des Jahres 2022 komplett abgeschaltet. Im Jahr 2010 hatte es noch einen geschätzten Energiebedarf von 1,347 TWh/a und rund 30,47 Mio Anschlüsse, was hier zu Referenzzwecken angegeben ist.

Tabelle 02

**Anschlussstechnologien und ihr geschätzter Energieverbrauch in TWh/a (TAB, 2022)**

Angaben Jahr 2000	Festnetz	Festnetz	Glasfaser FTTH	ADSL	VDSL	Quellen
	Gesamt	Kernnetz	Zugangs- netz	Zugangs- netz	Zugangs- netz	
<b>TWh/a</b>	2,413	1,039	0,063	0,192	1,119	Stobbe et al 2015
<b>TWh/a</b>	2,719	1,161	0,129	0,216	1,214	Borderstep 2019
<b>Anschlüsse</b>	27,6 Mio		1,6 Mio	8 Mio	18 Mio	Borderstep 2019

### 3.3.2 TV-Kabel-basierte Leitungen

Diese Tabelle dient hier ebenso zu Referenzzwecken und genauere Angaben können der

Studie TAB (2022) ab S. 69 entnommen werden. Die Berechnungen basieren auf etwa 10 Mio TV-Kabelanschlüsse und 8,5 Mio HFC-Anschlüsse, also insgesamt 18,5 Mio Anschlüsse in 2020 (Borderstep, 2019).

Tabelle 03

**Anschlussstechnologien und ihr geschätzter Energieverbrauch in TWh/a (TAB, 2022) <sup>14</sup>**

Jahr	Breitband (TV Kabel und HFC)			Quellen
	Gesamt	Kernnetz	Zugangsnetz	
<b>2020</b>	2,268	0,78	1,487	Stobbe et al 2015
<b>2020</b>	2,236	0,778	1,495	Borderstep 2019

<sup>14</sup> nach Borderstep Institut 2019, S. 47 auf Basis von Stobbe et al. 2015, S. 111 in TAB (2022)

## 3.4 Einsparpotenziale durch den Glasfaserausbau

In diesem Abschnitt sind einige Angaben und Überlegungen zu den Einsparpotenzialen durch den Glasfaserausbau wiedergegeben. Ich gehe dabei beispielhaft auf in den letzten Jahren veröffentlichte Studien ein, um aktuell bekannte Größenordnungen abzubilden. Die Angaben geben nicht nur unterschiedliche Schätzungen wieder, sondern auch Einblick zur Verbreitung einzelner Studienerkenntnisse innerhalb der Branche.

Die Energieeffizienz von FTTH gegenüber anderen leitungsgebundenen Zugangsnetzen erscheint auf der Basis von theoretischen Berechnungen zu Hochlastzeiten deutlich höher und Glasfaser somit am effizientesten (THM, 2022). Laut UBA (2021) müssen bei derartigen Betrachtung zwei Aspekte mitberücksichtigt werden. Die Auslastung der Kabel kommt in Realität zur Zeit nicht an die modellierten Angaben heran, weswegen FTTH und VDSL ähnlich im tatsächlichen Verbrauch sind. Erst bei hoher Auslastung kommt die spektrale Effizienz von Glasfasern zur Geltung, also ist die (relative) Energieeffizienz an einen hohen Datenstrom gebunden. Des

Weiteren sind Glasfasernetze über lange Reichweiten verlustarm in der Signalübertragung. Die Glasfaser hat also praktisch und theoretisch gesehen ganz besondere Vorteile in den Aggregationsnetzen, wo keine Kupferkabel mehr verbaut werden.

Das von BREKO in Auftrag gegebene Gutachten der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM 2022), welches von Prof. Dr.-Ing. Kristof Obermann erstellt wurde, gibt die Vergleiche über die unterschiedlichen leitungsgebundenen Zugangstechnologien an. Es handelt es sich um eine vergleichende Darstellung der Leistungsaufnahme im laufenden Betrieb der Zugangstechnologien. Dabei wurde nur die aktive Infrastruktur des Zugangsnetzes berücksichtigt und die passiven Komponenten (also die Glasfaser, Kupferkabel oder Koaxialkabel) als vorhanden vorausgesetzt. Dabei wird ein vollständiger Glasfaseranschluss mit der jeweils anderen Möglichkeit verglichen, unter Angabe wieviel weniger Strom dies jeweils verbraucht (in der Pressemitteilung von Breko ohne Gesamtverbrauchsangabe).

Tabelle 04

**Verbreitete Angaben zu Einsparpotenzialen vom leitungsgebundenen Netz (2022)**

Jahr	Glasfaser FTTH	Glasfaser FTTB	Vectoring FTTC	TV/HFC -Kabel	Vergleich	Publikation	Quellenangabe
Ursprüngliche Veröffentlichung der Studienergebnisse durch BREKO (Leistung)							
2022	X	X			„2,6 × weniger“	Breko (05.05.2022) <sup>15</sup>	Gutachten THM (2022) <sup>16</sup>
	X		X		„3 × weniger“	Breko (05.05.2022)	Gutachten THM (2022)
	X			X	„6 × weniger“	Breko (05.05.2022)	Gutachten THM (2022)
Ursprüngliche Veröffentlichung der Studienergebnisse durch BREKO (Leistung bei 1 Gbit/s)							
	X	(1Gbit/s)			„3,6 × weniger“	Breko (05.05.2022)	Gutachten THM (2022)
	X			(1Gbit/s)	„8 × weniger“	Breko (05.05.2022)	Gutachten THM (2022)
Wiederholungen der Studienergebnisse auf Branchen-Webseiten (Beispiele und Nennungen)							
	X	X	X	X	(siehe oben)	Kommune21 (16.05.2022) <sup>17</sup>	BREKO / THM (2022)
	X	X	X	X	(siehe oben)	Verivox <sup>18</sup>	BREKO / THM (2022)
	X	X	X	X	(siehe oben)	BEMD (06.05.2022) <sup>19</sup>	BREKO / THM (2022)

15 [www.brekoverband.de/aktuelles/news/pressemitteilungen/glasfaser-ist-die-digitale-infrastruktur-mit-dem-geringsten-stromverbrauch/](http://www.brekoverband.de/aktuelles/news/pressemitteilungen/glasfaser-ist-die-digitale-infrastruktur-mit-dem-geringsten-stromverbrauch/)  
 16 [www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten\\_thm\\_nachhaltigkeit\\_zugangstechnologien.pdf](http://www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten_thm_nachhaltigkeit_zugangstechnologien.pdf)  
 17 [www.kommune21.de/meldung\\_21582/druck/meldung\\_38708\\_Glasfaser+als+nachhaltige+Technologie.html](http://www.kommune21.de/meldung_21582/druck/meldung_38708_Glasfaser+als+nachhaltige+Technologie.html)  
 18 [www.verivox.de/internet/nachrichten/glasfaser-vs-kabel-stromverbrauch-von-ftth-bis-zu-achtmal-geringer-1119395/](http://www.verivox.de/internet/nachrichten/glasfaser-vs-kabel-stromverbrauch-von-ftth-bis-zu-achtmal-geringer-1119395/)  
 19 [www.bemd.de/news.php?n=1394](http://www.bemd.de/news.php?n=1394)

In der Studie selbst sind weitere Angaben zu bisherigen Studien zur Nachhaltigkeit von Zugangsnetzen zu finden, welche aus den Jahren 2008 bis 2020 stammen (siehe Tabelle 2, S. 7 im Gutachten der THM). Der Autor hat die zentralen Ergebnisse jeweils zusammengefasst und erklärt.

„Fasst man die Ergebnisse der bisherigen Studien zusammen so lässt sich festhalten, dass optische Zugangstechnologien (insbes. GPON) bezogen auf die Bitrate deutlich energieeffizienter als kupferbasierte (ADSL, VDSL, HFC) oder funkbasierte (UMTS, WIMAX, LTE) Zugangstechnologien sind. Die Studien sind z.T. jedoch schon einige Jahre alt, und die Leistungsaufnahme der Systemtechnik konnte seitdem in vielen Bereichen signifikant reduziert werden.“

Bei der Wiedergabe der Ergebnisse des aktuellen THM-Gutachtens werden die Einsparpotenziale unter Annahme eines 1-Gbit/s-Anschlusses im Vergleich zu TV-Kabelnetzen sprachlich hervorgehoben („noch deutlicher“). FTTx-Netze sind demnach effizienter als gigabitfähige TV-Kabelnetze, wobei sich die Berechnungen auf eine hohe Auslastung bezieht.

An dieser Stelle gehe ich kurz näher auf TV-Kabel als Zugangstechnologie ein. Ob FTTH und HFC in Deutschland im direkten Wettbewerb um Gebiete (und Kundenanschlüsse) stehen, ist offen. Vodafone hat im Jahr 2021 eine Kurzstudie herausgegeben, welche die Zukunftsfähigkeit von HFC-Netzen thematisiert. Auch wenn die Energieeffizienz von HFC-Netzen der Beschreibung nach dafür beachtet wurde, gibt diese keine Angaben zum Stromverbrauch wieder.<sup>20</sup>

Im Jahr 2019 hat das Wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) ein Workingpaper zu den Auswirkungen eines Infrastrukturwettbewerbs auf die Investitionen in Glasfasernetze veröffentlicht. Die Autoren kamen hinsichtlich der Gesamtschau im Europäischen Markt zur Einschätzung, dass „nicht davon ausgegangen werden kann, dass im Zeitablauf ein flächendeckender marktgetriebener Überbau der HFC-Gebiete durch FTTP-Infrastruktur im Sinne eines Infrastrukturwettbewerbs stattfinden wird.“<sup>21</sup> Die Energieverbräuche waren auch hier nicht Gegenstand der Studie und auch kein Bestandteil der Argumentation für oder wider eine der Zugangstechnologien.

Berlin verfügt über gut ausgebaute und auch genutzte TV-Kabelnetze und FTTC-Netze. Würde man diese, auf der Basis der Studienergebnisse des Gutachtens von Breko mit der THM (2022), mit Glasfaseranschlüssen ersetzen käme man, umgerechnet nach privaten Haushalten (von bundesweit 40.683 TSD auf 1,971 TSD), geschätzt auf Einsparpotenziale von 24 MW (TV-Kabelnetze) und 9,5 MW (FTTC). Das tatsächliche Einsparungspotenzial würde demnach – unter Annahme der Hochauslastung wie in aktuellen Studien – in einer Größenordnung von etwa 16–17 MW-Leistung liegen.<sup>22</sup> Diese Berechnung beruht auf einer hohen theoretischen Auslastung der Netze, welche so in Realität aktuell nicht eintrifft und die Größenordnung der Einsparungen real geringer wären. Demnach sind auf der hier bekannten Daten-, Berechnungs- und Gebrauchslage keine belastbaren Aussagen zur Realisierung der Effizienzpotenziale möglich.

20 [www.vodafone-institut.de/wp-content/uploads/2021/08/Evolution-von-HFC-Netzen-Kurzstudie-Goldmedia-Vodafone-Institut.pdf](http://www.vodafone-institut.de/wp-content/uploads/2021/08/Evolution-von-HFC-Netzen-Kurzstudie-Goldmedia-Vodafone-Institut.pdf)

21 Queder et. al. (2019), S. 30. [www.econstor.eu/handle/10419/227053](http://www.econstor.eu/handle/10419/227053)

22 Quelle: Email Austausch

Leitungsgebundene Netze verbrauchen deutlich weniger Strom als Mobilfunknetze. Es gibt Studien, die Glasfaserverbindungen etwa in den Vergleich zu 5G setzen (UBA, 2020; THM, 2022). Quantitative Angaben dazu gehen je nach Quelle und theoretischem Szenario auseinander. Trotz des damit verbundenen Entweder-Oder-Vergleichs (welcher im Effekt von den Gewohnheiten bzw. der Situation und der Entscheidung des Endnutzes abhängig ist) betonen selbst Studien-Auftraggeber, wie etwa der Studie Global Connect, dass sich Glasfaser und 5G in der Nutzung – und somit, so sei hier hinzugefügt, auch im Infrastrukturausbau – ergänzen müssen.<sup>23</sup> Dies spiegelt nicht nur eine Meinung als Beispiel wider, sondern ist über Stimmen aus der Branche und die notwendigen technischen Begebenheiten für interoperative, gigabitfähige Infrastruktur hinweg kongruent.

23 [www.globalconnect.de/news/studie-zur-nachhaltigkeit-glasfaser-und-5g-muessen-sich-in-der-nutzung-ergaenzen](http://www.globalconnect.de/news/studie-zur-nachhaltigkeit-glasfaser-und-5g-muessen-sich-in-der-nutzung-ergaenzen)

## 3.5 Zwischenfazit zum Glasfaserausbau

Glasfaser wird in Deutschland und so auch in Berlin, vergleichsweise spät zu anderen industrialisierten Ländern, als neuer Standard für die gigabitfähige Übertragung von Daten im leitungsgebundenen Zugangsnetz (FTTB und FTTH) ausgebaut. Einige energie- und effizienzbezogene Aspekte sind hier anzumerken:

- **Zur Rolle der Energieeffizienz:** Die Energieeffizienz des leitungsgebundenen Zugangsnetzes war bisher weder ein explizites noch ein vorrangiges Entscheidungskriterium beim Ausbau der Übertragungskapazitäten. So hatte das Vectoring durch die Integration von Komponenten zur Rauschreduzierung in der Vergangenheit sogar dazu beigetragen, dass mehr Energie innerhalb der Infrastruktur verbraucht wird. Der Energieverbrauch des leitungsgebundenen Zugangsnetzes ist sowohl im Vergleich zur gesamten urbanen IKT-Infrastruktur als auch zum Gesamtenergieverbrauch von Wirtschaft und Haushalten eher gering. Die Bandbreite und Schnelligkeit der Datenübertragung haben hier funktionale Priorität.
- **Austausch von Kupfer zu Glasfaser:** Für die telefonische Sprachübertragung (Festnetz) und für TV-Kabel (Breitband) hat die Übertragungsrate von Kupfer im Zugangsnetz bisher ausgereicht. Das Internet-Zugangsnetz ist heute quasi deckungsgleich mit Telefon- und TV-Netzen. Die signifikanten Änderungen der Informations- und Kommunikationstechnologien erfordern deutlich höhere Datenübertragungsraten in der Infrastruktur, welche zukünftig durch Glasfaser als Lichtwellenleiter statt durch die elektrischen Impulse über Kupfer bedient werden sollen.
- **Doppelausbau und homes connected:** Der Doppelausbau von Glasfaseranschlüssen durch die Telekommunikationsunternehmen wird, je nach Standpunkt, als Ressourcenverschwendung oder als Beitrag zum fairen Wettbewerb betrachtet. Auffällig ist aktuell der geografisch ungleiche Ausbau, der tendenziell bereits versorgte Gebiete üerversorgt. Der Fortgang des Ausbaus wird zeigen, ob in Berlin dauerhaft unterversorgte Gebiete entstehen, in denen öffentliche Akteure tätig werden müssen. Für künftige Schätzungen realisierter Vorteile im Gesamtsystem Stadt wäre zu beobachten, wie viele grundsätzlich vorhandene Glasfaseranschlüsse auch wirklich genutzt werden (also der Unterschied zwischen „homes passed“ und „homes connected“).

Abbildung 03

Eindrücke vom Glasfaserausbau in Berlin im Sommer 2023<sup>24</sup>



Baustelle für das Einblasen der Glasfaser



Kasten mit verlegten Glasfasern bereit zum Anschluss (FTTC, homes passed)

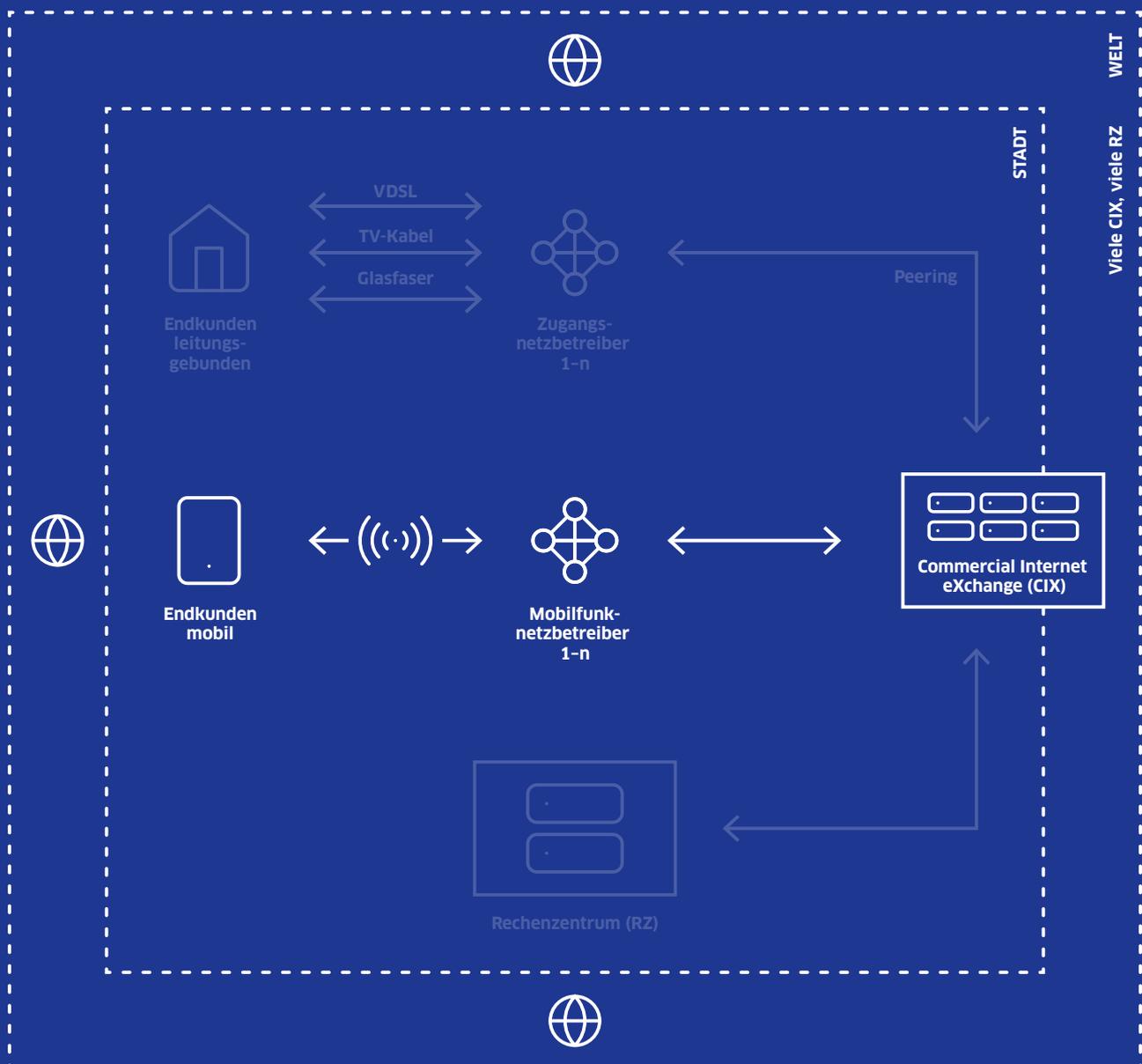


Gebäudeanstich beim Glasfaserausbau (FTTB)

24 Quelle: Eigene Aufnahmen

# Nächste Generation Mobilfunknetze und Energieeffizienz

Von der Telefonie zur Datenautobahn



# 4. Überblick zum 5G-Ausbau

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zum Mobilfunknetz und seinem derzeitigen Ausbau in der 5. Generation. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den 5G-spezifischen Charakteristiken bezüglich der Gestaltung der Infrastruktur und ihrer Energieeffizienz.

## 4.1 Das Mobilfunknetz und seine Komponenten

Der Begriff Mobilfunknetz beschreibt die technische Infrastruktur, welche die drahtlose Kommunikation mit mobilen Endgeräten ermöglicht. In Deutschland gibt es aktuell drei bundesweit flächendeckende Mobilfunknetze, die technisch übereinander liegen und jeweils von der Deutschen Telekom, Telefónica Deutschland und Vodafone Deutschland parallel betrieben werden. Im Zuge der Gigabit-Strategien des Bundes und der Länder werden die Mobilfunknetze vom Mobilfunkstandard der vierten Generation (LTE/4G) für den Mobilfunk der fünften Generation (5G) ausgebaut. Die Leistungsanforderungen an die Mobilfunkinfrastruktur haben sich im Laufe der letzten Jahrzehnte grundlegend geändert. Sie gehen mit ihrem Fokus auf die digitale Datenübertragung weit über die Telefonie hinaus und benötigen eine ständige Versorgung mit Strom. Entsprechend der Charakteristiken von 5G im Vergleich zum Vorgänger beinhalten diese: eine höhere Zuverlässigkeit für die Mobilfunkverbindungen, eine reduzierte Latenz bei höheren Datenraten, eine höhere Übertragungskapazität und die Verbindung vieler Endgeräte.

Dieser Abschnitt stellt die wesentlichen Komponenten der Infrastruktur eines Mobilfunknetzes dar. Dabei gehe ich auf einige 5G-spezifische Charakteristiken ein, da diese Einfluss auf die Gestaltung, den Betrieb und den Energiebedarf des Netzes haben.

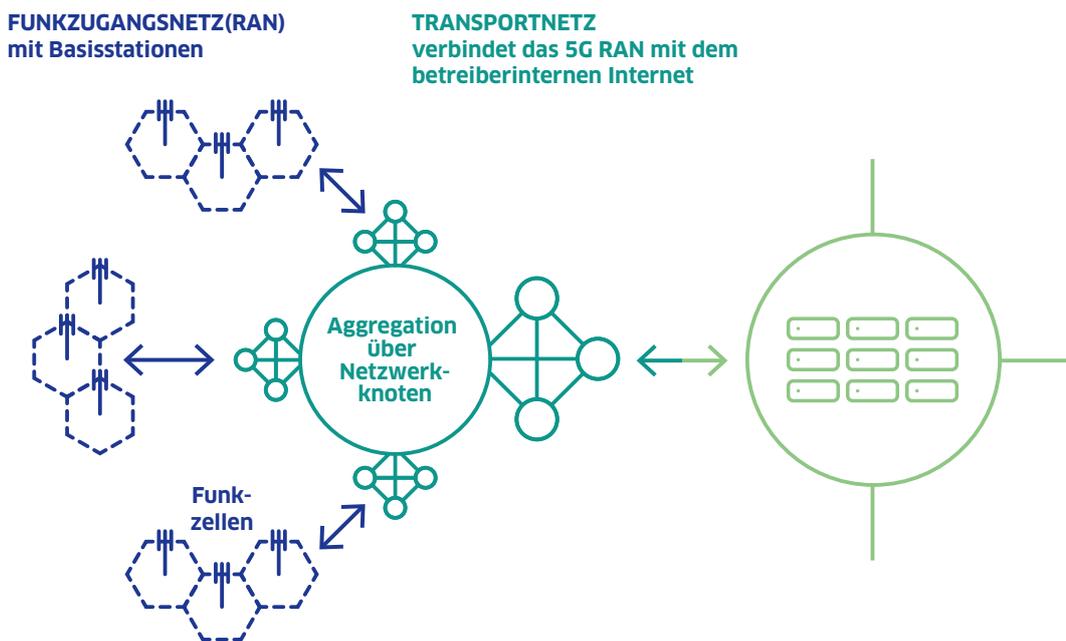
### 4.1.1 Das Mobilfunknetz

Generell gehören zum Mobilfunk drei primäre Segmente: das Funknetz bzw. Funkzugangsnetz (Radio Access Network, RAN) mit den Funkzellen, das Kernnetz (Core Network, CN),<sup>25</sup> wobei nochmal in Aggregation und Transportnetz unterschieden wird, und die mobilen Endgeräte, welche durch das Funkzugangsnetz mit dem Kernnetz verbunden werden, also mit dem RAN kompatibel sein müssen. Das Funkzugangsnetz besteht aus Basisstationen mit den dazugehörigen Antennen, welche die Funkzelle generieren.

Die Funkanbindung mobiler Geräte reicht bis zur Basisstation und wird bereits dort leitungsgebunden fortgesetzt. Dies erfolgt zunächst innerhalb der eigenen Netze der Mobilfunk-Provider, die nicht auf ein Stadtgebiet begrenzt sein müssen, in denen mobilfunkspezifische und kundenspezifische Datenverarbeitungen erfolgen und erst von dort in einen Peeringpoint oder Internet Exchange Point (CIX oder IPX) des allgemeinen Internets.

<sup>25</sup> Einwahlserver sind dabei Teil des Zugangsnetzes des Mobilfunks

Abbildung 04 Schematischer Aufbau eines Mobilfunknetzes<sup>26</sup>



### 4.1.2 Generationen-unabhängige Komponenten

Neben den Netzkomponenten der Provider sind die Standorte der Basisstationen, Dachflächen, Funktürme und Masten relevante Netzbestandteile, die sowohl an Strom als auch an Glasfasernetze angeschlossen sein müssen.

Dachraum unterliegt einem Wettbewerb unterschiedlicher Nutzungsinteressen auch außerhalb von Telekommunikationszwecken. Um einen flächendeckenden Ausbau insbesondere auch in ländlicheren Regionen zu ermöglichen, ist der Bau neuer Funkmasten wichtig. Dieser ist vor allem, wenn der infrastrukturelle Anschluss an Strom und Festnetz hinzukommt, auch kostspielig

und kann Investitionen im Millionenbereich bedeuten.

Diese baulichen Aspekte beeinflussen direkt und indirekt die technische und wirtschaftliche Effizienz von 5G über unterschiedliche Stadt- und Landesteile.

### 4.1.3 Generationen-abhängige Komponenten

Beim Wechsel auf neue Generationen des Mobilfunkstandards müssen etliche Komponenten gar nicht ausgetauscht werden. Dort reicht oft eine Erneuerung der Software aus. Andere Komponenten müssen ersetzt oder in ihrer Anzahl erhöht und um zusätzliche, einschließlich

26 Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an UBA (2023) und Fraunhofer IZM

ortsspezifischer Kleininstallationen (Picocells), ergänzt werden.

Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten, die sich von LTE unterscheiden, stellen auch höhere Anforderungen an die Datenübertragung durch das Funknetz – und somit auch an die hardwarebasierte Infrastruktur. Die Vollversion des 5G-Zugangsnetzes wird auch als New Radio (NR) bezeichnet und setzt laut Berichten auf eine „extrem schlanke Bauweise“ und verringere so Signalisierung Energieverbrauch.<sup>27</sup> Deren Implementierung bedarf der Bereitstellung entsprechender neuer Hardware.

Um die vorhandene LTE Infrastruktur weiter nutzen zu können, wurde ein stufenweiser Ansatz für 5G verfolgt, der sich in nicht eigenständig und eigenständig aufteilt: Dem 5G Non-Stand Alone (NSA), unter Verwendung des LTE-Kernnetzes und dem 5G Stand Alone (SA), unabhängig vom LTE-Kernnetz und unter Verwendung der 5G-Vollversion New Radio (NR).<sup>28</sup> Der Ausbau zu 5G muss also nicht in seiner Gesamtheit (Stand Alone 5G), sondern kann schrittweise (auch in Teilnetzen) erfolgen. Innerhalb des 5G-Mobilfunks können auch 5G-Features nacheinander eingeführt werden.

5G wurde mit dem 3GPP RAN-Release 15 im Jahre 2018 als SA-Standard veröffentlicht und baut auf dem bestehenden Standard Long Term Evolution (LTE) auf. Die Modernisierung der Infrastruktur in der 5G-Vollversion hängt auch von der Verfügbarkeit der 5G-spezifischen Komponenten ab. Die Qualität der Mobilfunknetze im Sinne der

Implementierungsstufen ist eine Frage der Rahmenbedingungen und wird weiter in Abschnitt 4.2.5 behandelt. In einer Studie des UBA wird, zu Modellierungszwecken, hierbei von einem durchschnittlichen Austauschzyklus von sieben Jahren ausgegangen.<sup>29</sup>

Die für den Mobilfunk genutzten Frequenzbänder beeinflussen das Design des Funkzugangsnetzes. Bisher wurden für den Mobilfunk Frequenzen des elektromagnetischen Spektrums genutzt, die sich unter 2,6 Gigahertz (GHz) befanden. Die Frequenzen für 5G befinden sich in einer Spanne von 2 – 3,7 GHz. Das niedrigere Frequenzband bei 2,1 GHz (N1) wird flächenmäßig eingesetzt. Das aktuell leistungsstärkste Frequenzband liegt bei 3,6 GHz, wird international mit dem Namen n78 kodiert und für den Gebrauch in Städten – also dicht besiedelten Gebieten – genutzt. 5G-Frequenzen haben eine vergleichsweise geringere Reichweite und schlechtere Hindernisdurchdringung als 4G-Frequenzen.

Eine Funkzelle kann unterschiedliche Größen und Übertragungskapazitäten haben. Je kleiner die genutzte Frequenz, umso höher ist die Reichweite des Signals. Je höher die genutzte Frequenz, umso geringer ist die Reichweite. Bei höheren Frequenzen muss also die Zahl der für Flächendeckung benötigten Basisstationen steigen, es sei denn Leistungsverstärker oder Repeater oder neue Funkmodule können diese Mehrinvestition vermeiden. Lt. UBA (2023) können diese bis zu 60 % des Strombedarfes im Mobilfunknetz ausmachen.<sup>30</sup>

27 [www.juniper.net/de/de/research-topics/what-is-5g.html](http://www.juniper.net/de/de/research-topics/what-is-5g.html)

28 [spectrum.ieee.org/3gpp-release-15-overview](http://spectrum.ieee.org/3gpp-release-15-overview)

29 UBA 2023

30 UBA 2023, S. 27

#### 4.1.4 5G-Campusnetze und Beispiele aus Berlin

Eine Sonderstellung im Ausbau des neuen Mobilfunkstandards haben die sogenannten 5G-Campusnetze, welche den industriellen Charakter der 3GPP Releases 15-17 widerspiegeln. In Berlin gibt es bereits eine Reihe von diesen örtlichen, nichtöffentlichen Mobilfunknetzen in der 5G-Stand-Alone-Vollversion (also ohne LTE-Komponenten), die in erster Linie für die Forschung und im B2B-Bereich zum Testen und Entwickeln neuer Anwendungen betrieben werden. Die Fraunhofer Gesellschaft teilt mit, dass die 5G-Netzinfrastruktur einen viel stärkeren Baukastencharakter haben wird.<sup>31</sup> Dies stellt in der Architektur des Mobilfunknetzes eine grundlegende Veränderung dar, weil Netze somit weniger homogen und statisch sind, sondern für unterschiedliche Einsatzszenarien flexibel konfiguriert und aufgebaut werden können.

So stellt die WISTA seit 2022 ein 5G-Mobilfunknetz in Berlin-Adlershof zur Verfügung, welches sowohl qualitativ als auch zeitlich den jeweiligen Kundenanforderungen angepasst wird.<sup>32</sup> Diese Netze können feinmaschiger als die öffentlichen Netze sein (und so z. B. Massive MIMO ermöglichen) und brauchen als Infrastruktur mehr Pflege durch die Betreiber. Das Innovationscluster 5G BERLIN e.V. wurde gegründet, um langfristige Kooperationen zu unterstützen und stellt am Nord-Campus der TU Berlin in Zusammenarbeit mit dem HHI eine Testinfrastruktur<sup>33</sup> bereit. Ein weiteres Beispiel für lokale 5G-Campusnetze ist in der Siemensstadt Square zu finden, welche zu den elf Berliner Zukunftsorten<sup>34</sup> gehört.

31 [www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/artikel/2018/5G-die-zukunft-im-netz/5G-Netze-und-Sicherheit\\_Fraunhofer-Positionspapier.pdf](http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/artikel/2018/5G-die-zukunft-im-netz/5G-Netze-und-Sicherheit_Fraunhofer-Positionspapier.pdf)

32 [www.adlershof.de/digital/info#c12415](http://www.adlershof.de/digital/info#c12415)

33 [www.hhi.fraunhofer.de/abteilungen/wn/projekte/5g-berlin.html](http://www.hhi.fraunhofer.de/abteilungen/wn/projekte/5g-berlin.html)

34 [zukunftsorte.berlin/](http://zukunftsorte.berlin/)

## 4.2 Rahmenbedingungen und Entwicklung der Mobilfunknetze

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über die Entwicklung des heutigen Mobilfunknetzes und den entsprechenden Rahmenbedingungen. Sie ist nach zentralen Akteuren organisiert, um die Arten der Einflussmöglichkeiten auf die Gestaltung der Infrastruktur zu illustrieren.

### 4.2.1 Standardisierungsorganisationen und Generationen des Mobilfunks

Beim Mobilfunk ist die Standardisierung von grundsätzlicher Bedeutung. Diese sichert u. a. die Interoperabilität zwischen Infrastrukturkomponenten und Endgeräten, schreibt bestimmte Features vor und sichert Qualitätsmerkmale, damit Mobilfunknetze fehlerfrei funktionieren können. Den standardisierten Zusammenschluss spezieller Features und Charakteristiken innerhalb einer Zeit- und Entwicklungsperiode nennt man „Generation“.

Im Jahre 1998 wurde die sogenannte „3rd Generation Partnership Project (3GPP) von fünf Standardisierungsgremien zur Spezifizierung des auf 2G aufbauenden 3G gegründet. Mittlerweile kooperieren sieben internationale Partner mit dem Ziel, durch sogenannte „Releases“ technische Spezifikationen für die Weiterentwicklung des Mobilfunks zu erstellen und zu veröffentlichen. Folgende Standardisierungsorganisationen sind Teil von 3GPP:

- Association of Radio Industries and Businesses, Japan (ARIB)
- Alliance for Telecommunications Industry Solutions, USA (ATIS)
- China Communications Standards Association, China (CCSA)
- European Telecommunication Standards Institute (ETSI)
- Telecommunications Standards Development Society, India (TSDSI)
- Telecommunications Technology Association, Korea (TTA)
- Telecommunications Technology Committee, Japan (TTC)

In Europa ist das gemeinnützige Europäische Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI) für die Normung von Informations- und Kommunikationstechnologien anerkannt und hat mit 3GPP bereits den Standard-UMTS (3G) erarbeitet.

Die Natur der Telekommunikation hat sich, von der analogen Telefonie ausgehend, stark verändert und neue Funktionen werden gesellschaftlich schnell zur Normalität. Vor diesem Hintergrund sowie des damit verbundenen Daten- und Energieverbrauchs sind hier nochmal alle Generationen bis zum aktuellen Release chronologisch dargestellt:

- **Die erste Generation (1G)** ist den analogen Telekommunikationssystemen zuzuordnen, deren Netze hierzulande von der Deutschen Bundespost betrieben wurden (die sogenannten A-, B- und C-Netze). Das C-Netz, welches zuletzt unter dem Namen C-Tel von der Deutschen Telekom betrieben wurde, wurde am 31. Dezember 2000 eingestellt.
- **Die zweite Generation (2G)/GSM:** Der Global System for Mobile Communications (GSM) Standard wurde im Jahr 1990 veröffentlicht und als erster seiner Art volldigitalen Mobilfunknetzen gewidmet. Im Jahr 1992 wurde GSM in Deutschland in Betrieb genommen und war die Grundlage für die sogenannten D- und E-Netze. Diese weisen eine Geschwindigkeit von etwa 53-256 kbit/s auf. Die rasante Verbreitung von Mobiltelefonen, also den kompatiblen Endgeräten, folgte in den 1990er Jahren.
- **Die Dritte Generation (3G)/UMTS:** Die Dritte Generation, das „Universal Mobile Telecommunications System“ (UMTS) wurde im Jahr 2003 in Deutschland kommerziell in Betrieb genommen. Es legte die Grundlage für die Entwicklung der Smartphones und ermöglichte bequeme Internetnutzung sowie Location Services über den Mobilfunk. Es erzielte erstmalig Geschwindigkeiten im Megabit-pro-Sekunden-Takt (etwa 384 kbit/s – 42 Mbit/s). Das UMTS-Netz wurde Ende 2021 vollständig abgeschaltet.
- **Die Vierte Generation (4G)/LTE und LTE Advanced:** Die vierte Generation wird auch als Long Term Evolution (LTE) bezeichnet und wurde in Deutschland im Jahr 2010 kommerziell in Betrieb genommen. Der damals leise Startschuss war mit anfänglichen Schwierigkeiten bezüglich der Verfügbarkeit von Hardware, der Tarife und kompatibler Endgeräte verbunden. LTE wird rückblickend als erfolgreicher Standard gewertet und ist in seiner Weiterentwicklung LTE Advanced der erste, der Geschwindigkeiten von bis zu 1 Gigabit/s erreicht.
- **Die Fünfte Generation (5G):** Die fünfte Generation Mobilfunk baut auf dem LTE-Standard auf und wurde als Non-SA (NSA, unter Nutzung des LTE-Kernnetzes) und SA (Vollversion) eingeführt. Der Standard wurde im Jahr 2018 als SA veröffentlicht, wird seit 2019 in Deutschland ausgebaut und erreicht in 2023 öffentlichen Angaben zufolge 95 % der Bevölkerung (mit NSA-Anteilen). 5G stellt ein Upgrade zu LTE mit Potenzialen für neue Mobilfunkanwendungen dar, insbesondere für den Gebrauch in der Industrie. Neben dem flächendeckenden Ausbau gibt es privat betriebene und öffentlich nutzbare Campusnetze.

Bezüglich der Generationswechsel im Mobilfunk kann man noch Folgendes anmerken. Release 17 ist zu der Zeit, in der diese Studie erstellt wurde, der aktuellste. Wenn man in die technischen Details der 5G Releases schaut (Release 15 aus dem Jahr 2018, Release 16 von 2020 und Release 17 im Jahr 2022), unterscheiden sich viele Features nicht grundlegend von 4G, was den evolutionären statt revolutionären Charakter des Generationenwechsels untermalt. Die Branche setzt bereits Erwartungen in 5G Advanced (Release 18) und 6G. Im Laufe der Evolution von 4G wurden durch

LTE Advanced im Vergleich zu LTE (3.9G) nicht nur Kapazitäten ausgeweitet, sondern auch neue Funktionen eingeführt. Man könnte demnach spekulieren, dass signifikante Neuerungen im zukünftigen Mobilfunk noch innerhalb der aktuell neuen Generation (also durch 5G Releases, statt des Generationssprungs von 4G zu 5G oder 5G zu 6G) entwickelt und realisiert werden.

## 4.2.2 Gigabit-Strategien von Bund und Ländern mit Zielvorgaben

Für die lokale Umsetzung des industriellen Standards 5G sind die Gigabit-Strategien der Bundes- und Landesregierungen maßgebend für die lokalen Rahmenbedingungen und Ziele hinsichtlich des infrastrukturellen Ausbaus der Mobilfunknetze.

Die Gigabit-Strategie der Bundesregierung wurde am 13. Juli 2022 vom Bundeskabinett verabschiedet und sieht vor, bis 2026 eine flächendeckende, unterbrechungsfreie Sprach- und Datenkommunikation über den Mobilfunk zu erreichen. In erster Instanz geht es also darum, aktuell noch bestehende Funklöcher zu schließen. Die zweite Zielsetzung ist es, bis 2030 den neusten Mobilfunkstandard im ganzen Land verfügbar zu haben. Schwerpunkte für den Mobilfunk sind dabei zusammenfassend:<sup>35</sup>

- digitale und schnelle Planungs- und Genehmigungsverfahren
- mehr Transparenz durch ein Gigabitgrundbuch ([gigabitgrundbuch.bund.de](http://gigabitgrundbuch.bund.de))

- Schließung weißer Flecken und bessere Mobilfunkversorgung an Bahnstrecken
- engere Zusammenarbeit mit Ländern, Kommunen und Marktteilnehmern

Der erste Punkt wird beispielsweise bereits gesetzlich umgesetzt. Im August 2023 hat das BMDV einen Referentenentwurf eines Gesetzes zur Beschleunigung des Ausbaus von Telekommunikationsnetzen (TK-Netzausbau-Beschleunigungs-Gesetz) vorgelegt.<sup>36</sup> Kernpunkte sind Bürokratieabbau und die gesetzliche Einstufung des Telekommunikationstechnologie-Ausbaus als „öffentliches Interesse“, ähnlich wie etwa Naturschutz und Denkmalschutz dem öffentlichen Interesse angehören.

Die Gigabit-Strategie des Landes Berlin wurde am 15. Juni 2021 vom Senat verabschiedet.<sup>37</sup> Sie gibt das mittelfristige Ziel für Berlin vor, bis spätestens 2025 alle Haushalte, Unternehmensstandorte und oberirdischen Verkehrswege vollständig mit 5G Mobilfunk zu versorgen.

## 4.2.3 Mobilfunknetzbetreiber und Ausbau der Mobilfunknetze

Laut Branchenangaben ist 5G der Mobilfunkstandard, der in der Geschichte des Mobilfunks in Deutschland am schnellsten ausgebaut wurde. Seit der Frequenzauktion in 2019 und dem aktuellen Stand von über 95 % Verfügbarkeit sind weniger als vier Jahre vergangen. Zur Zeit der Veröffentlichung der Berliner Gigabit-Strategie im Juli 2021 hieß es noch, dass Netzbetreiber

<sup>35</sup> [www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/gigabitstrategie-2017464](http://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/gigabitstrategie-2017464)

<sup>36</sup> [bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-20/gesetz-beschleunigung-ausbau-telekommunikationsnetze.html](http://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-20/gesetz-beschleunigung-ausbau-telekommunikationsnetze.html)

<sup>37</sup> [www.berlin.de/gigabitstrategie/gigabit-strategie/](http://www.berlin.de/gigabitstrategie/gigabit-strategie/)

bereits 50 % der Bevölkerung erreichen. Zwei Jahre später, im Juli 2023, erreichen Angaben der Bundesnetzagentur zufolge 5G-Netze bereits rund 98,9 % der Berliner Stadtfläche.<sup>38</sup>

Für den Generationswechsel im „Non-SA“-Betrieb braucht die LTE-Infrastruktur nicht vollständig und teuer von den drei Mobilfunknetzbetreibern ausgewechselt werden, sondern kann per Softwareupdate und Modifikationen für den Betrieb im 5G Frequenzspektrum upgraded werden. Zudem bietet 5G direkte Effizienzvorteile für die Telekommunikationsanbieter, insbesondere mehr Datenvolumen in Relation zu den Kosten. Hinsichtlich der Verfügbarkeit kann man aktuell noch zeitliche und räumliche Fragmentierung und somit deutliche Qualitätsunterschiede im Ausbau und Zugang erkennen. Das 5G-Netz ist gemäß der Mobilfunkanbieter und ihrer Werbung aktuell „gut“ bis „sehr gut“. Was dies beim Endkunden bedeutet und inwieweit der Unterschied zu LTE spürbar ist, bleibt hier offen.

Die Unterschiede in der Netzverfügbarkeit zwischen den Mobilfunkanbietern sind nach wie vor messbar. Die Bundesnetzagentur ist u. a. dafür zuständig, Gutachten zu erstellen und hat im März 2023 detaillierte Ergebnisse ihrer Breitbandmessung veröffentlicht. Der Präsident der Bundesnetzagentur, Klaus Müller, gibt darin bekannt, dass die Ergebnisse nach wie vor nicht zufriedenstellend seien und Kunden oft nicht die versprochene Internetgeschwindigkeit erreichen.<sup>39</sup> Kann man sich die Situation mit einem Blick in die Vergangenheit erklären?

In Deutschland entstand ab Mitte der 1990er Jahre nach der Privatisierung der Deutschen Bundespost in drei Aktiengesellschaften (die Deutsche Post AG, Deutsche Postbank AG und Deutsche Telekom) ein Markt für Telekommunikationsdienste, auf dem auch andere Anbieter als die Deutsche Telekom tätig sein dürfen und sind. Dieser Markt wird durch die Bundesnetzagentur sowohl wettbewerbsrechtlich, technisch als auch verbraucher-schützend beaufsichtigt und reguliert. Die Liberalisierung des Telekommunikationsmarktes und die Digitalisierung der Telekommunikation entstanden im gleichen Zeitraum, also im Rahmen der Weiterentwicklung von 2G und weiterer technologischer und gesellschaftlicher Umbrüche.

Das Mobiltelefon eines Nutzers kann, ohne den Kommunikationsvorgang zu unterbrechen, von Funkzelle zu Funkzelle wechseln. Dieser technische Vorgang im Netz wird als Handover bezeichnet. Das wird nur innerhalb des Mobilfunknetzes (und den damit verbundenen physischen Antennen) ermöglicht, für das der Kunde einen kommerziellen Vertrag abgeschlossen hat. Das Umweltbundesamt problematisiert den Betrieb von redundanten – also je nach Interpretation und Argumentation mehrfachen oder überflüssigen – Mobilfunknetzen in der Studie „Green Computing“ von 2020. Es plädiert für ein Konzept zur gemeinsamen Nutzung von Infrastruktur und Geräten, um doppelte (im Fall Deutschlands dreifache) Bereitstellung und Betrieb zu vermeiden. Die technologische Umsetzung und wirtschaftlich faire Gestaltung für alle Anbieter seien hier zentrale Fragen und erste Schritte (UBA 2021).

38 dies bedeutet Verfügbarkeit über 5G (NSA oder SA), nicht aktuelle Nutzung

39 [www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20230315\\_JB\\_Breitbandmessung.html](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2023/20230315_JB_Breitbandmessung.html)

Für die im Wettbewerb stehenden Unternehmen ist es unwirtschaftlich, privatwirtschaftlich in ländliche Gegenden zu investieren, wo etwa Stromversorgung und zum Kernnetz gehörende Infrastruktur wie Glasfaseranschlüsse zusätzlich ausgebaut werden müssten. Ohne regulierende oder fördernde Maßnahmen entstehen durch diese betriebsinternen Kalkulationen Ungleichheiten in der Mobilfunkversorgung, die langfristig bestehen und verstärkt werden. In ländlichen Gegenden sind Mobilfunkbetreiber tendenziell eher bereit, Infrastruktur für ihre Netze gemeinsam zu nutzen. Eine Verpflichtung dazu gibt es zur Zeit nicht.

Hinsichtlich der Energieeffizienz und der Kapazität des Mobilfunks ist grundlegend zu beachten, dass drei Infrastrukturen parallel instandgehalten und privatwirtschaftlich kosteneffizient von Telekommunikationsunternehmen ausgebaut werden. Das Roaming, bei dem Mobilfunknutzer mit ihrem Inlands-Vertrag über Mobilfunknetze anderer Betreiber im EU-Ausland kommunizieren können, ist heutzutage geläufig. Im Inland wird dies aktuell nicht angeboten. Es wäre interessant, welche Effizienz-, Ressourcen- und Kostenvorteile ein (teilweises) Infrastruktur-Roaming im Inland privat- und volkswirtschaftlich bringen könnte. Diese Frage kann im Rahmen dieser Studie leider nicht beantwortet werden.

#### 4.2.4 Komponentenhersteller und Verfügbarkeit kompatibler Hardware

Das physische Netzwerk wird von unterschiedlichen Komponentenherstellern ermöglicht.

Diese haben durch ihre Hardware und Software, ihre Forschung und Entwicklung und ihre wirtschaftliche Stellung einen maßgebenden Einfluss auf die Energieeffizienz des Mobilfunknetzes. Die am Markt dominierenden Hersteller für 5G-Komponenten sind Ericsson (Schweden), Nokia (Finnland) und Huawei (China). Ericsson und Nokia haben einen Marktanteil von 31 % und Huawei bedient gemeinsam mit dem Hersteller ZTE etwa 40 % des Marktes.<sup>40</sup>

Die Kooperationen zwischen den Mobilfunknetzbetreibern (D1, D2 und O2) und den Herstellern unterliegen unterschiedlichen Kriterien und sind über die Infrastruktur hinweg heterogen, also nicht einheitlich. So kann das Zugangnetz von einem und das Kernnetz von einem anderen Hersteller gestellt werden. Sicher ist, dass große Geldsummen in die 5G Upgrades der Mobilfunknetze investiert werden und Hersteller sich einen höchstmöglichen Marktanteil über die IKT-Infrastruktur hinweg sichern möchten. Die Schnelligkeit des Ausbaus von 5G basierend auf der Vollversion (SA) ist sowohl eine Frage der Verfügbarkeit der Hardware und auch eine Kostenfrage. In den letzten Jahren kamen auch Wettbewerbe und Auszeichnungen im Bereich Nachhaltigkeit hinzu, welche Kooperationsentscheidungen unterstützen können.

Viele erinnern sich an dieser Stelle an die öffentliche Debatte um den Technologieführer Huawei, die 2019 startete und damals besonders die geopolitische Situation zwischen China und den USA betraf.<sup>41</sup> Heute sind 5G-Komponenten von Huawei in einigen Europäischen Ländern verboten, sowohl aus Sicherheitsbedenken und auch, um Unabhängigkeit vom Chinesischen Markt

40 [www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/5g-die-zukunft-im-netz.html](http://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/5g-die-zukunft-im-netz.html)

41 [mondediplo.com/2020/11/10huawei](https://mondediplo.com/2020/11/10huawei)

zu bewahren.<sup>42</sup> Andernorts wird aus ähnlichen Gründen der Hersteller Huawei nur für bestimmte Teile des Mobilfunknetzes beauftragt. Dies ist ein Beispiel für die Dynamiken am Markt, die Entscheidungen hinsichtlich der Herkunft und Qualität der Komponenten beeinflussen.

## 4.2.5 Bundesnetzagentur und Verwaltung der Frequenzen

Die Bundesnetzagentur hat zentrale Aufgaben in der Gestaltung der Mobilfunknetze. Die wohl grundlegendste ist die Verwaltung der Mobilfunkfrequenzen. In Deutschland wurden Mobilfunkfrequenzen erstmalig im Jahr 2000 per Auktion versteigert. Es handelte sich um die UMTS-Frequenzen für die dritte Generation (3G) des Mobilfunks.

Die erste Frequenzauktion gilt als legendär und noch heute als Startschuss der aktuellen Frequenzpolitik in Deutschland. Sie hat zu rund 51 Mrd. Euro (damals 100 Mrd. DM) Staatseinnahmen durch die Ausgaben der sechs teilnehmenden Netzbetreiber geführt. Dies war deutlich mehr als in anderen Ländern Europas. In Industrieländern weltweit war es die Zeit der sogenannten Dotcom-Blase, die im März 2000 zu einem Börsencrash und somit zum plötzlichen Verfall spekulativer Gewinnerwartungen mit dem Internet führte. Zur Jahrtausendwende versprechen sich deutsche Netzbetreiber ähnlich ein

Milliardengeschäft mit dem mobilen Internet. Die Bundesnetzagentur möchte durch heutige Vergabeverfahren und damit verbundene Selektionskriterien eine effiziente, optimale und faire Verwendung der Frequenzen sicherstellen.

Zwei Mobilfunkgenerationen später und fast 20 Jahre nach der ersten Frequenzauktion fand die 5G-Frequenzauktion im Jahr 2019 statt, welche durch die Bundesnetzagentur organisiert wurde. Diese hat zu Einnahmen von rund 6,6 Milliarden Euro geführt, welche zu 100 % in das Sondervermögen „Digitale Infrastruktur“ flossen und somit zweckgebunden sind. Seit November 2019 kann das Frequenzband von 3,7 bis 3,8 Gigahertz im sogenannten Antragsverfahren (also ohne Versteigerung) vergeben werden. Dies ist für örtliche nichtöffentliche Mobilfunknetze („Campusnetze“) mit Anwendungen in Land- und Forstwirtschaft, Wirtschaft und Industrie vorgesehen.<sup>43</sup>

Die Branche kritisiert die Frequenzkosten nach wie vor und schreibt diesen noch heute einen langsameren Ausbau der Netzinfrastuktur zu. Im Herbst 2023 wurde öffentlich darüber diskutiert, ob Nutzungsrechte, die 2025 auslaufen, verlängert statt versteigert werden sollen. Die Intention dahinter ist den flächendeckenden Ausbau in ländlichen Gegenden zu fördern und Funklöcher zu schließen – diese Verlängerung ist also auch an Konditionen gebunden, die zu einer effektiveren Verteilung des Ausbaus führen. Darüber entschieden wird im Jahr 2024.<sup>44</sup>

42 [www.handelsblatt.com/politik/international/5g-ausbau-eu-kommission-verlangt-unverzuegliches-huawei-verbot-/29209466.html](http://www.handelsblatt.com/politik/international/5g-ausbau-eu-kommission-verlangt-unverzuegliches-huawei-verbot-/29209466.html)

43 [www.bmuv.de/faq/welche-frequenzen-nutzen-die-5g-netze](http://www.bmuv.de/faq/welche-frequenzen-nutzen-die-5g-netze)

44 [www.sueddeutsche.de/wirtschaft/mobilfunk-deutschland-bundesnetzagentur-frequenzen-auktion-1.6222782](http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/mobilfunk-deutschland-bundesnetzagentur-frequenzen-auktion-1.6222782)

## 4.3 Zum Energieverbrauch der Mobilfunknetze

Laut Komponentenhersteller Ericsson stellt das Funknetz mehr als 75 % des Energieverbrauchs eines Netzanbieters dar. Dienstleister würden ihre Energieeffizienzambitionen daher weiterhin auf diesen Teil der Infrastruktur konzentrieren, um Energieverbrauch zu kontrollieren und bestmögliche „User Experience“ zu liefern.<sup>45</sup>

Zur Abschätzung des tatsächlichen Energiebedarfs der Mobilfunknetze hat es in den letzten Jahren unterschiedliche Studien gegeben. Im Rahmen dieser Studie wurde kein einheitliches oder eindeutigeres Bild über den quantitativen Energieverbrauch und die Energieeffizienzdaten zu Mobilfunknetzen, insbesondere 5G, ermittelt. Die quantitativen Angaben, die hier verwendet und wiedergegeben werden, sind eine Informationswiedergabe von existierenden Daten.

Eine Studie, die ich als Informationsquelle hervorheben möchte, ist der TAB-Bericht von 2022 zum Energiebedarf von IKT Infrastrukturen.<sup>46</sup> Dieser ist für Deutschland umfangreich und aktuell. Das UTAMO Projekt von Stobbe et al. (UBA 2023) sowie das Green Cloud Computing Projekt (UBA 2021) betrachten das Thema aus Umweltaspekten.

Die Abschätzung des Energieverbrauchs erfolgt unter Annahme eines permanenten Betriebs (ohne Lastadaptation), um eine Abschätzung berechnen zu können. Des Weiteren werden theoretische Szenarien angenommen. Genauere Angaben sind den öffentlich zugänglichen Studien zu entnehmen, welche ich in Kapitel 2 aufgeführt habe.

### 4.3.1 Energieverbrauch des gesamten Mobilfunknetzes

Die Tabelle 05 zeigt eine aktuelle Schätzung und Prognose des elektrischen Energiebedarfs des Mobilfunknetzes von 2019 bis 2030, bezogen auf das Zugangnetz (RAN) und das Transportnetz (TCN). Dafür wurde ein Basisszenario erstellt und die Anzahl der Antennenstandorte in Deutschland abgewägt. Weitere Angaben sind in UBA (2023) ab S. 25 zusammengefasst.

Erkennbar ist, dass der wesentliche Anteil des Stromverbrauchs auf das Funkzugangnetz (RAN) entfällt und sich Schätzung somit mit den Angaben der Komponentenhersteller deckt. Insgesamt wird über die nächsten sieben Jahre mit einem substantiellen Anstieg des Energiebedarfs gerechnet, bei dem der 5G-Ausbau mit berücksichtigt ist.

<sup>45</sup> Ericsson (2022)

<sup>46</sup> TAB (2022), UBA (2021) und UBA (2023)

Tabelle 05

**Angaben zum elektrischen Energiebedarf des Mobilfunknetzes nach UBA (2023)**

Jahr	Gesamt	RAN	TCN	Publikation	Quelle
2019	2,31 TWh	1,92 TWh	0,39 TWh	UBA (2023)	UBA (2023), Fraunhofer IZM
2022	4,16 TWh	3,69 TWh	0,47 TWh	UBA (2023)	UBA (2023), Fraunhofer IZM
2030	7,51 TWh	6,80 TWh	0,71 TWh	UBA (2023)	UBA (2023), Fraunhofer IZM

### 4.3.2 Energieverbrauch der Zugangstechnologien im Vergleich

Da sich das Mobilfunknetz durch den Ausbau von 5G im Wandel befindet, ist zu beobachten, dass die Energieeffizienz von 5G insbesondere mit anderen Zugangstechnologien bzw. Generationen verglichen wird.

Die folgende Tabelle illustriert ein solches Beispiel. Dafür wurden ein theoretischer Datenstrom, Zeitraum und Distanz je Zugangstechnologie modelliert. Die Studie veranschaulicht die Einzelergebnisse auf den Seiten 100-105, wobei die Energiebedarfe nach Komponenten der Übertragungstechnologie aufgeteilt wurden.

Demnach verursacht ein Datenstrom von 1 Gb/h beim 5G-Mobilfunk eine Leistungsaufnahme von 2,964 Watt. Dies steht dem Wert von 9,138 Watt bei LTE sowie 25,767 bei UMTS und im leitungsgebundenen Netz einem Wert von 0,452 bei FTTH und 1,640 Watt gegenüber.

Im Vergleich zur direkten Vorgängergeneration 4G (LTE) reduziert sich der theoretische Energieverbrauch und Effizienzgewinn zwischen den Generationen. So gibt die UBA-Studie Green Cloud Computing (2020) an, dass LTE-Netze dreimal soviel Energie benötigen wie 5G-Infrastruktur. Durch einen Vergleich der Mobilfunkgenerationen können drastisch wirkende Kennzahlen generiert werden, deren tatsächlicher Informationsgehalt erst durch eine ausreichende Kontextualisierung vermittelt werden kann. Beispielsweise wurde 3G nicht für so ein hohes Datenvolumen entwickelt.

Tabelle 06

**Angaben zum Leistungsbedarf der Zugangstechnologien in Watt nach UBA (2021)**

Jahr	VDSL	FTTH	3G	4G	5G	Publikationen	Quelle
<b>Theoretisches Szenario: Datenrate von 1GB/h</b>							
2020	1,4	0,3	68	9	2,8	UBA Green Cloud Computing, Stand 07.09.2020	UBA (2020), Politische Handlungsempfehlungen
<b>Theoretisches Szenario: Datenrate von 1GB/h (Technik von 2020, Wegstrecke von ca 500 km )</b>							
2021	1,640	0,452	25,767	9,138	2,964	UBA Green Cloud Computing (2021)	UBA Green Cloud Computing (2021)

### 4.3.3 Energieverbrauch von „Streaming“ als beliebtes Beispiel für Vergleiche

Spätestens nach der medienwirksamen Debatte um die Aussage „Streaming ist das neue Fliegen“ aus dem Jahr 2019<sup>47,48</sup> ist das Streamen von Medieninhalten in Videoformaten ein beliebtes Anwendungsbeispiel, um die Energieeffizienz digitaler Dienste und Infrastrukturen zu illustrieren. Innerhalb dieses Anwendungsbeispiels werden wiederkehrend Vergleiche zwischen den Netzzugangstechnologien gemacht.

Die Studie Green Cloud Computing (UBA 2021) berichtet, dass Streaming-Dienste über 5G einen 2,5-fach höheren Verbrauch haben als über den direkten Anschluss am Glasfasernetz (FTTH). Eine andere Studie stellt heraus, dass Streaming am besten via Festnetz im heimischen WiFi mit gutem Gewissen praktiziert werden könne. Studien, die den Energieverbrauch des Netzes

beim Streaming ins Verhältnis zu den Endgeräten (etwa Tablet oder Ferneher) setzen, kommen zu dem Schluss, dass die Wahl des Endgerätes einen weit größeren Einfluss habe als die Wahl der Übertragungstechnologie.<sup>49</sup>

Mit diesen Einschätzungen und Überlegungen vorab lesen sich Berechnungen zu den Klimawirkungen durch die Zugangstechnologie, trotz konkreter Zahlen, wie Umrechnungsübungen:

„Während die Treibhausgasemissionen im Rechenzentrum mit 1,45 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Stunde Videostream konstant bleiben, unterscheiden sich die Treibhausgasemissionen im Netzwerk sehr stark. Das Glasfasernetz (FTTH – „fibre to the home“) ist am effizientesten. Wird der Stream über das Glasfasernetz geleitet, so führt dies zu Treibhausgasemissionen in Höhe von 2 g/h. Beim kabelgebundenen Breitbandanschluss (VDSL – ‚very high speed digital subscriber line‘) benötigt der Stream mit etwa 4 g CO<sub>2</sub>e rund das Doppelte. Noch höhere

47 [www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563](http://www.nzz.ch/wirtschaft/streaming-ist-das-neue-fliegen-wie-der-digitale-konsum-das-klima-schaedigt-ld.1474563)

48 [theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/Excutive-Summary\\_EN\\_The-unsustainable-use-of-online-video.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/Excutive-Summary_EN_The-unsustainable-use-of-online-video.pdf)

49 c't, 2020, Heft 20, S. 63 Online: <https://www.heise.de/select/ct/2020/20/2024608023600913875>

CO<sub>2</sub>- Fußabdrücke hat die Übertragung in mobilen Zugangsnetzen. Das moderne 5G-Netz liegt bei rund 5 g, das derzeit gängige 4G-Mobilfunknetz (LTE) bei rund 13 g CO<sub>2</sub>e pro Stunde Videostreaming.“<sup>50,51</sup>

Weder in einem Factsheet des UBA (2020) zu „Klimawirkungen durch Streaming & Co“ noch in dessen Weiterverwendung durch eine von Breko in Auftrag gegebene Studie zu Zugangstechnologien wird erwähnt, dass der wesentliche Energieverbrauch beim Streaming durch die Endgeräte (also die Datenvisualisierung auf Bildschirmen) verursacht wird und der anteilige Stromverbrauch durch die Heimelektronik signifikant höher ist als der anteilige Verbrauch im Rechenzentrum oder Zugangsnetz. Zudem kann man anmerken, dass die Angaben in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten hier wenig direkte Vergleichsmöglichkeiten mit der signifikanteren Kennzahl (Stromverbrauch durch die Endgeräte) ermöglichen.

Als direkt oder indirekt an den Endnutzer gerichtete Informationen haben sie ähnlichen Charakter wie etwa Informationen für nachhaltige Konsumententscheidungen bei Obst und Gemüse. Umgekehrt liegt es, während der Stream-Konsument die Wahl seines Endgerätes durchaus beeinflussen kann, außerhalb seiner Information und seines Handlungsspielraums, ob das

abgerufene Unterhaltungsmedium (beispielsweise ein Katzenvideo<sup>52</sup>) in einem PUE-optimierten Rechenzentrum mit Abwärmenutzung gespeichert wurde oder woanders.

Eine relevante Beobachtung ist die Tatsache, dass Videoformate für die heutige Information und Kommunikation sowie für den Medienkonsum eine zentrale Rolle eingenommen haben. Hinsichtlich der Gestaltung und des Betriebs von IKT-Infrastrukturen bedeutet dies, dass bei dieser Beispielanwendung zur Datenübertragung und Datenverarbeitung auch die Datenvisualisierung gehört, um sinnvolle Informationen ableiten zu können.

Das Beispiel Streaming soll das Bewusstsein für die Komplexität von Zusammenhängen sowie selten trennscharfen Ursache-Wirkungs-Beziehungen wecken – auch wenn diese innerhalb einer Betrachtung konsistent argumentiert werden können. Die mehr oder weniger willkürliche Einbeziehung von Energieverbräuchen für die Endgeräte führen trotz konsistenter Argumentation zu völlig konträren Ergebnissen und Empfehlungen. Eine zentrale Rolle für eine ressourcenschonende Digitalisierung spielen deshalb weiterhin die Gestaltung und der Betrieb von IKT-Infrastrukturen auf **allen** Ebenen.

50 [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet\\_klimawirkung\\_video-streaming.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/factsheet_klimawirkung_video-streaming.pdf)

51 [www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten\\_thm\\_nachhaltigkeit\\_zugangstechnologien.pdf](http://www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten_thm_nachhaltigkeit_zugangstechnologien.pdf)

52 „Kann man mit Katzenvideos eine ganze Gemeinde mit Wärme versorgen?“ [www.eon.com/de/geschaeftskunden/erfolgstorys/binerogroup-ab.html](http://www.eon.com/de/geschaeftskunden/erfolgstorys/binerogroup-ab.html)

## 4.4 Energieeinsparpotenziele durch 5G – heutige Ansätze

Die Energieeffizienz ist heute eine zentrale Kennzahl – auch Key Performance Indicator (KPI) genannt – für den Betrieb von technischen Systemen. Dabei kann die eingesetzte Energie zu unterschiedlichen Parametern in Bezug gesetzt werden, um politische Entscheidungen zu unterstützen oder Tendenzen im aktuellen Energieverbrauch zu identifizieren bzw. zu korrigieren. Die verfolgten Ziele sind dabei vielschichtig und ihre jeweilige Priorisierung von der Situation abhängig. Höhere Kostenersparnisse im Betrieb, die Sicherheit des Betriebs und eine geringere Umweltbelastung durch den Betrieb der Infrastruktur sind wohl die häufigsten.

Der Mobilfunkstandard 5G verspricht vielerlei Potenziale zur Steigerung der Effizienz und Verringerung des Energieverbrauchs, bei gleicher oder sogar besserer Performance der Datendienstleistungen. Ansatzpunkte liegen hier in der Nutzung des Frequenzspektrums, bei verbesserten Komponenten oder dem lastadaptiven Management des Funkzugangsnetzes. Die Realisation dieser Potenziale beruht ebenso auf einer Vielzahl von Faktoren und Annahmen. Dieser Abschnitt geht beispielhaft auf einige Ansätze davon ein.

### 4.4.1 „Relative Energieeffizienz“ bei hohen Datenübertragungsraten

Das volle Effizienzpotenzial von 5G kommt einigen Studien zufolge erst mit einer sehr hohen Datenrate zur vollen Geltung. In einer Studie aus der Schweiz wird etwa davon ausgegangen, dass 5G erst bei einer Verachtfachung des Datenverkehrs effizienter sei.<sup>53</sup> Das TAB (2022) beschreibt in diesem Zusammenhang zudem, dass sich Fest- und Mobilnetz in ihren Energieintensitäten angleichen. Diese Entwicklung wird dabei der beträchtlichen Steigerung beim Datendurchsatz ohne zusätzlichem Energieverbrauch zugeschrieben, die bei 5G nochmal deutlicher geworden ist als noch bei 4G (TAB 2022, S. 77). Diese Beispiele beschreiben die sogenannte „relative Energieeffizienz“.

Dies ist eine beachtliche technologische Errungenschaft, welche an der weiteren Steigerung des Datendurchsatzes ansetzt. Die weitere Entwicklung der relativen Energieeffizienz wird auch in Veröffentlichungen von Komponentenherstellern besonders hervorgehoben. Gleichzeitig weisen Forschungsinsitute darauf hin, dass bei Jahresberichten oder Strategiepapieren ein Verweis auf die absolute (statt relative) Umweltwirkung oftmals noch fehlt (UBA 2023). In anderen Worten, ohne konkrete Informationen zum absoluten Energie- und Rohstoffbedarf bzw. zu CO<sub>2</sub>-Bilanzen, die an die Entwicklung von Datenwachstum und

53 5g.nrw/5g-reduziert-co2-emissionen/

Effizienz geknüpft sind, kann man schwer sagen, ob diese Entwicklung eine insgesamt unnachhaltige Tendenz lediglich weniger umweltschädlich macht oder den Mobilfunk insgesamt in eine nachhaltig betriebene Branche verwandelt.

Ein Diversifizieren der Ansätze zur relativen Energieeffizienz (bei denen die Effizienz als KPI nicht auf Datenwachstum beruht) verlangt, den Fokus zu weiten und parallel an anderen Entwicklungsbereichen zu arbeiten. Komponentenhersteller wie Ericsson (2022) zeigen sich hier weitsichtig und innovativ, etwa mit dem Ansatz der „network energy performance“, für den der gesamte Energieverbrauch des Netzwerkes betrachtet wird. Des Weiteren gibt es in der Branche Ambitionen, innerhalb der nächsten Jahrzehnte in einem sogenannten „Net Zero“ Zustand zu erreichen und die Netze in 25 Jahren rechnerisch klimaneutral zu betreiben.<sup>54</sup>

Die Energieeinsparpotenziale durch 5G wurden in Studien, etwa die des Umweltbundesamtes (2021 und 2023), auf der Basis von theoretischen Szenarien abgeschätzt. Diese Methode wurde verwendet, da die Produktentwicklung selbst noch nicht abgeschlossen ist und über reale Effekte durch kommerzielle Anwendungen aktuell nur spekuliert werden kann (UBA 2023). Für die genauen Werte möchte ich daher an dieser Stelle auf die öffentlich zugänglichen Studien selbst verweisen.

## 4.4.2 Energiesparen durch lastadaptive Antennensysteme

Die Studie des TAB hebt hervor, dass die Nutzung für Datenverkehr und Telefonate bei Telekommunikationsnetzen sehr zeitabhängig ist und ein Großteil der Infrastruktur tagsüber genutzt wird. Die Netzkomponenten verbrauchen dabei bis zu 90 % der Energie unabhängig von den transportierten Daten (TAB 2022). Betreiber haben die Möglichkeit, die Netze lastadaptiv zu betreiben. Mobilfunknetzbetreiber arbeiten heute im Rahmen des 5G-Standards mittlerweile mit lastadaptiven Systemen in der Probephase, die mittels KI-Anwendungen und automatisierten Entscheidungen die Antennenleistung rauf- bzw. runterfahren. In einem Gespräch wurde hier beispielsweise eine Energieeinsparung von etwa 20 % genannt, die ich jedoch nicht verifizieren oder weiter kontextualisieren konnte. Hier ist weiterer Erfahrungsaustausch nötig, um sichere Mobilfunkverbindungen sowie Ressourcenschonung zu gewährleisten.

## 4.4.3 Effizienzpotenziale durch 5G-Anwendungen

Eine andere Sichtweise auf die Energieeffizienzpotenziale des Mobilfunkstandards 5G liegt in den Anwendungen, also „durch 5G“ an einer anderen Stelle als im Mobilfunknetz bzw. der Infrastruktur selbst. Die Effizienzgewinne sind dabei nicht aus Sicht der 5G-Komponentenhersteller und -Betreiber auf die Infrastruktur bezogen berechnet, sondern aus Sicht der

54 [www.ericsson.com/en/news/2022/10/ericsson-publishes-breaking-the-energy-curve-report-2022](https://www.ericsson.com/en/news/2022/10/ericsson-publishes-breaking-the-energy-curve-report-2022)

Anwender und deren produzierendes System bzw. deren Dienstleistung (eco Verband, 2023).

Anwendungen sind aktuell noch spekulativ. Erste Beispiele können anhand von Industriellen 5G und Campusnetzen herangezogen werden. Die Stadt Rotterdam verwendet 5G-Netze beispielsweise dafür, die Logistik im Hafen zu unterstützen. Hier ist die Effizienz also auf den logistischen Betrieb ausgerichtet. Der Energieverbrauch des 5G-Netzes an sich verliert dabei auf wirtschaftlicher Ebene relativ an Bedeutung, da die zeitkritische Abhandlung der Lieferungen innerhalb des begrenzten Fahr- und Rangierbereichs des größten Hafens Europas an erster Stelle steht. Beispiel ist etwa die Optimierung von Logistikprozessen zwischen Containern oder Land- und Wasserfahrzeugen durch präzise Standortbestimmungen.

#### 4.4.4 Spektrale Effizienz und Massive MIMO

Eine Besonderheit des Mobilfunks ist die sogenannte spektrale Effizienz. Die Mobilfunkgenerationen (3G, 4G und 5G) unterscheiden sich darin, wieviel sie aus dem Spektrum herausholen können. Der 5G-Standard und seine Funkzellen sind aktuell am leistungsfähigsten und erreichen (je nach Szenario) eine um 20–30 % höhere spektrale Effizienz als der Vorgänger 4G (UBA 2023).<sup>55</sup>

Technische Aufrüstung der Infrastruktur wie „massive MIMO“ erhöhen die spektrale Effizienz. MIMO bedeutet Multiple-Input Multiple-Output, wobei die Kapazität einer Funkverbindung durch zusätzliche Sende- und Empfangsantennen multipliziert wird (in Verdopplungsschritten von etwa 8, 16, 64, 128 etc.).<sup>56</sup> Die Technik ist kostspielig, funktioniert in der Praxis bei hohen Frequenzen und führt somit zu kleinen Funkzellen.<sup>57</sup>

Hier ist wesentlich anzuerkennen, dass eine höhere spektrale Effizienz durch mehr energieverbrauchende Infrastruktur ermöglicht wird. Der Gesamtenergieverbrauch eines solchen Mobilfunknetzes ist demnach als höher einzuschätzen als der von Netzen mit größeren Funkzellen und weniger Antennen, hängt aber ebenso wesentlich von der Art des Betriebs ab. So kann es beispielsweise effizient sein, eine datenintensive Anwendung, Aufgabe oder Veranstaltung über ein Massive-MIMO-Netz zu bedienen und das Netz im Anschluss wieder herunterzufahren. Genauere Angaben sind nicht Gegenstand dieser Studie. Der Baukastencharakter von 5G kommt hier jedoch zur Geltung und bedarf weiterer Überlegungen und Erfahrungswerte zum Energie- und Lastenmanagement spezieller Anwendungen.

55 [5g-nrw/app/uploads/2020/11/5G-Week-Webinar-Campusnetze-umlaut-Peiffer.pdf?tracked](https://www.5g-nrw.de/app/uploads/2020/11/5G-Week-Webinar-Campusnetze-umlaut-Peiffer.pdf?tracked)

56 [www.juniper.net/de/de/research-topics/what-is-5g.html](https://www.juniper.net/de/de/research-topics/what-is-5g.html)

57 [5g-nrw/app/uploads/2020/11/5G-Week-Webinar-Campusnetze-umlaut-Peiffer.pdf?tracked](https://www.5g-nrw.de/app/uploads/2020/11/5G-Week-Webinar-Campusnetze-umlaut-Peiffer.pdf?tracked)

## 4.5 Zwischenfazit zur Energieeffizienz von 5G

Der Mobilfunkstandard 5G materialisiert sich aktuell im Ausbau der Mobilfunknetze, in der Entwicklung 5G-spezifischer Anwendungen sowie kompatibler Endgeräte. Die Mobilfunknetze der 5. Generation wurden in Deutschland und auch in Berlin innerhalb relativ kurzer Zeit fast flächendeckend ausgebaut. Folgende Aspekte zur Rolle der Energieeffizienz lassen sich festhalten:

- **Relative Energieeffizienz:** Bei der Mobilfunkgeneration 5G wird insbesondere die relative Energieeffizienz (Energiebedarf pro transportierter Datenmenge) hervorgehoben, welche technologisch auf der besseren Ausschöpfung der Bandbreiteneffizienz bei hohen Datenraten beruht. Wo Hersteller und Betreiber die relative Energieeffizienz als Vergleichszahl angeben, ist zu hinterfragen, womit verglichen wird. Ist die Anwendungstiefe im Vergleichszenario dieselbe? Wird mit einer veralteten Technik verglichen, die nie für besonders hohe Datenraten entwickelt wurde?
- **Lastadaptiver Betrieb:** 5G bietet lastadaptive Funktionen für den Datentransport, die bereits in ihrer angewandten Pilotphase sind.
- **Komponenten und Eigenschaften:** Die Umstellung auf die Vollversion von 5G (New Radio) benötigt große Investitionen in die Hardware, was mit Ressourcenaufwand einhergeht. Die Energieeffizienz von Einzelkomponenten wird generell von den Komponentenherstellern und -betreibern aus Eigeninteresse berücksichtigt. Hier ist eine verlängerte Nutzung bestehender LTE-Komponenten (NSA) gegen Vorteile der 5G-Vollversion (SA) abzuwägen. Beispiele sind etwa ein reduzierter Grundleistungsverbrauch durch optimierte Signalisierung. Etwaige Konflikte zwischen einer sicheren Datenübertragung und energieeffizienten Features benötigen eine separate Betrachtung.
- **Anwendungen:** Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Anwendungen scheinen belastbare und universelle Methoden zu fehlen. Wie am Beispiel Streaming illustriert werden kann, ergeben Abschätzungen zu Energieverbrauch und Umweltauswirkungen unterschiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit davon, welche Faktoren mitgezählt werden. Hier sind kontextspezifische Betrachtungen sinnvoller als das Anstreben allgemeingültiger Verbrauchertipps, sei es auf der Ebene der Mobilfunkgeneration oder einer ganzen Stadt.

- **Netzwerkarchitektur:** Im Ausbau des Mobilfunknetzes ist bei den tendenziell kleineren Funkzellen bzw. kürzeren Reichweiten von hohen 5G-Frequenzen abzuwägen, ob die Zugangsnetze durch den Zubau von Antennen oder eher durch die Leistungsverstärkung bestehender Antennen ressourcenschonender gestaltet werden können.
- **Baukastencharakter:** Zum Abschluss sei der „Baukastencharakter“ von 5G hervorzuheben, der es grundsätzlich ermöglicht, komponenten- und energieintensive Features gar nicht flächendeckend anzubieten oder nur dort, wo sie wirklich benötigt werden.

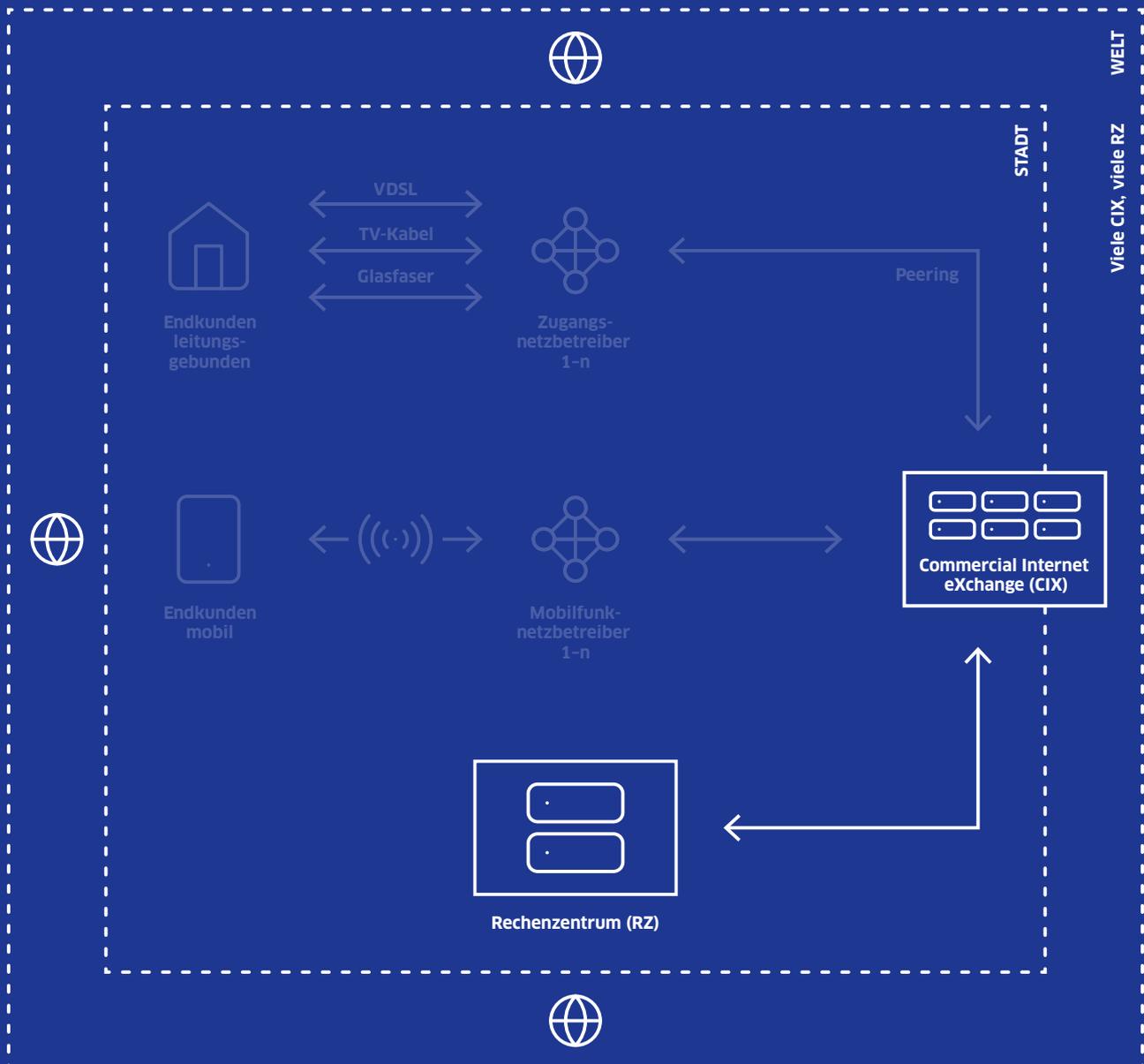
Aktuelle Prognosen deuten, trotz nachweisbar höherer relativer Energieeffizienz von 5G bei hohen Übertragungsraten, auf einen wachsenden Gesamtenergiebedarf des Mobilfunknetzes hin. Für die Gestaltung und Evaluierung der Mobilfunkinfrastruktur hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen ist die weit verbreitete Angabe der relativen Energieeffizienz des Funkzugangsnetzes eine Kennzahl, deren Interpretation und Vergleich irreführend sein kann.

Der Stromverbrauch der Mobilfunknetze ist Schätzungen zufolge höher als beim leitungsgebundenen Zugangsnetz. Im Vergleich sowohl zum Gesamtverbrauch der IKT-Infrastruktur als auch zum Gesamtverbrauch von Wirtschaft und Haushalten ist dieser relativ gering. Energieeinsparungen in gesamtstädtisch relevanten Größenordnungen sind hier potenziell durch den Mobilfunk ermöglichte Anwendungen und durch Verbesserung der kompatiblen Endgeräte zu erreichen. Bandbreite und Sicherheit werden voraussichtlich vorerst die intensiver verfolgten Optimierungsaspekte der Betreiber bleiben, die sich nach den Bedürfnissen der Nutzer richten.



# Nächste Generation Rechenzentren und Abwärmennutzung

Vom Serverraum zur städtischen Einbindung



# 5. Überblick zu Rechenzentren

Dieses Kapitel gibt einen Überblick zu Rechenzentren und Aspekten zu ihrer nachhaltigen Gestaltung bzw. Einbindung im städtischen Raum. Die Nutzung ihrer unvermeidbaren Abwärme liegt dabei im Fokus und wird mit Information zum Standort Berlin ergänzt.

## 5.1 Rechenzentren und ihre Bauarten

Ich möchte dieses Kapitel mit drei grundlegenden bzw. offensichtlichen Beobachtungen einleiten, um Rechenzentren (RZ) als IKT-Infrastruktur und deren Einbindung in die Stadt in Abgrenzung zu den vorherigen Kapiteln einzuordnen. Erstens: Der Ausbau von Rechenzentren wird international als wachstumsorientierter und an Standortvorteilen ausgerichteter (Immobilien-) Markt behandelt, geografisch gesehen also nicht flächendeckend, sondern lokal selektiv. Zweitens: Die Charakteristika von Rechenzentren unterscheiden sich von Mobilfunknetzen und leitungsgebundenen Netzen sowohl in Funktionen (Datenverarbeitung und Datenspeicherung statt Datenübertragung) als auch in ihren Maßstäben (insbesondere in ihrer Größenordnung, ausgedrückt durch die Leistungsaufnahme in Megawatt). Drittens: Die Maßstäbe und auch die Funktionen von Rechenzentren haben sich mittlerweile so sehr geändert, dass sie „urban“ sind, also das städtische Leben betreffen und beeinflussen.

Bis vor einigen Jahren verstand man unter Rechenzentren noch Computerräume oder Serverflächen innerhalb einer Immobilie, die beispielsweise primär für Büros genutzt wurde. Heute haben sich die Dimensionen und Anforderungen an die Infrastruktur Rechenzentrum stark geändert. Rechenzentren sind Immobilien, die eigens für ihre Funktion erbaut bzw. nachgerüstet werden.

Die beiden Hauptfunktionen von Rechenzentren sind die sichere Speicherung von Daten sowie die Verarbeitung großer Datenmengen (also die eigentlichen IT-Prozesse). Im Laufe der letzten

Jahrzehnte hat sich der Charakter von Rechenzentren mitsamt ihres Aufbaus und ihrer technischen Ausstattung und sogar ihrer erweiterten Funktionen grundlegend verändert.

Generell unterscheidet man bei den Flächen eines RZ zwischen Whitespaces und Greyspaces. Die „Whitespaces“ beherbergen die für ihren primären Zweck notwendige Speicher-, Rechen- und Netzwerktechnik (Computer, Speicher, Netzwerkkomponenten, also die Informations- und Kommunikationstechnik, IKT). Die „Greyspaces“ sind die ergänzende und erhaltende Infrastruktur: die Stromversorgung, die Kühlungsvorrichtungen, die Büros für die Mitarbeiter:innen sowie Einrichtungen für den Brandschutz und die Sicherheit.

Folgende Typen von Rechenzentren sind heute üblich. Die Tendenz geht dabei auf Rechenzentren mit hoher Leistungsaufnahme zu. Während zuvor RZ mit etwa 20 MW üblich waren, sind heute RZ mit 100 MW Leistungsaufnahme keine Seltenheit.

- Colocation-Rechenzentren
- Cloud-Rechenzentren
- Hyperscale-Rechenzentren
- Edge-Rechenzentren

Für Betreiber und Behörden ist es heute von Bedeutung, klar und zeitgemäß festlegen zu können, welche Infrastrukturbereiche sich als Teil eines Rechenzentrums identifizieren und klassifizieren lassen. In Deutschland wurde dies beispielsweise praxisnäher in den Mindeststandards nach § 8 Abs. 1 BSIG formuliert.<sup>58</sup> Die Abgrenzung zwischen Rechenzentrum (RZ)

und Serverraum (SR) – welche im IT-Grundschutz noch definiert wurde – ist heute weniger trennscharf. So wird der Begriff Rechenzentrum in der DIN EN 50600-1 unter Nummer 3.1.9. sehr weit gefasst und vermehrt an der Funktion der Infrastruktur gemessen, weniger an ihrer Bauart oder Größe.

Die Infrastruktur von Rechenzentren wird nicht nur in „weiß“ und grau“ hinsichtlich der Funktionen unterteilt, sondern wird auch sogenannten Schutzklassen von 1-4 zugeordnet. Dies ist darin begründet, dass die Hauptfunktionen von Rechenzentren unter hohen Sicherheitsbedingungen ermöglicht werden sollen. Die Schutzklassen kann man sich als Zwiebelschalen vorstellen, die von außen nach innen zu besonders geschützten Komponenten reichen. Zur Schutzklasse 1 gehört das Gelände. Zur Schutzklasse 2 gehören der Eingang, externe Sicherheitsräume, die Eingänge zu den Datacenter-Flächen, Lagerräume, Büros für Mitarbeiter, Testräume und Konfigurationsräume. Der Schutzklasse 3 gehören Server-Räume, Überwachungsräume und interne Sicherheitsräume. Die Schutzklasse 4 beinhaltet Bereiche innerhalb der Serverräume, in denen besonders schützenswerte und sensible Daten gespeichert werden und/oder besondere Systeme arbeiten. Entsprechend ist Schutzklasse 4 am sichersten, da diese Teile nur durch das vorherige Passieren der Räume von 1–3 erreichbar sind.<sup>59</sup>

Die Sicherheit von Rechenzentren (auf wirtschaftlicher, physischer und betrieblicher Ebene) schützt und ermöglicht die Kernfunktionen und Geschäftsmodelle. Ihre Energieeffizienz war und ist für Betreiber weiterhin eine interne und kostengetriebene Kennzahl – zum einen zu Wirtschaftszwecken und zum anderen, um eine zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten. Die Infrastruktur von Rechenzentren wird also aus Eigeninteresse auf ihren energieeffizienten Betrieb hin optimiert. Nun kommen weitere Anforderungen auf RZ-Betreiber zu. Diese liegen im steigenden Gesamtenergieaufwand der Infrastruktur sowie ihrer Wärmeentwicklung durch IT-Prozesse begründet und bilden den Kernpunkt dieses Kapitels.

## 5.2 Rahmenbedingungen für Standortwahl und Betrieb

Spätestens seitdem die Region Berlin-Brandenburg für internationale Großkonzerne wie Google und Tesla interessant wurde, mehren sich auch die medienwirksamen Reports zu Rechenzentren in und um die Hauptstadt. Lange Zeit hielt sich die Branche im Hintergrund. So sind es das stetige Wachstum an Rechenleistungsbedarf als auch die Dimensionen, die den Energiebedarf von Rechenzentren nicht mehr unbemerkt lassen und auf städtischer Ebene langfristig ausgerichteten und koordinierten Handlungsbedarf wecken. Dieser Abschnitt gibt Einblick in die Rahmenbedingungen für ihre Standortwahl sowie ihren Bau und Betrieb.

### 5.2.1 Aktueller Stand zu Rechenzentren in Berlin

Unterschiedlichen Medien und Stimmen zufolge ist Berlin ein attraktiver Standort für Rechenzentren und wird, unter möglichen Ansiedlungsoptionen in Deutschland, als zweiter Standort nach Frankfurt am Main im internationalen Markt angesehen. Erwartungen ziehen oftmals Realitäten nach sich, daher möchte ich Spekulationen an dieser Stelle weder überbewerten noch fördern, sondern lediglich darauf verweisen. Eine offizielle Strategie zur lokalen Ansiedlungspolitik oder Marktentwicklung, wie etwa der Gigabit-Strategie für das leitungsgebundene Netz und den Mobilfunk, gibt es für Berlin aktuell nicht.

Quantitative Schätzungen zu Rechenzentren in Berlin, also sowohl zu ihrer Anzahl als auch zu ihrem Energieverbrauch, sind aktuell kaum möglich. Zum einen machen die Betreiber von Rechenzentren ihre Standorte aus Sorgen um deren Sicherheit häufig nicht publik. Zum anderen sind Rechenzentren über eine amtliche Statistik kaum erfassbar, da sie häufig Betriebsteile anderer Branchen sind. Unter Berliner Intermediären kursiert etwa eine Liste mit ungefähr einem Dutzend Rechenzentren. Unterschiedliche Suchansätze im Web führen zu ähnlichen Dimensionen mit teilweise anderen Unternehmen, wobei Rechenzentren aus Hochschulen und Forschungsinstituten und solche, die Betriebsteile von Unternehmen anderer Branchen sind, häufig nicht auftauchen.

Qualitativ sind sehr unterschiedliche Typen von Rechenzentren in Berlin vertreten. Die wohl bekanntesten Großrechenzentren in Berlin werden von NTT betrieben und stehen in Berlin-Spandau (BER1 ehemals e-Shelter) und mittlerweile auch in Berlin-Mariendorf (BER2). Das BER1 hat eine Leistungsaufnahme von bis zu 17 MW IT-Leistung mit einer Fläche von 11,700 m<sup>2</sup>. Das Colocation Rechenzentrum BER2 bietet in zwei Gebäuden eine Kapazität von bis zu 24 MW IT-Leistung. Es ist vorgesehen, seine anfallende Abwärme in das Wärmenetz der GASAG einzuspeisen.

Ein im Vergleich zu industriellen Neubauten einzigartiges Beispiel für ein innenstädtisches Rechenzentrum ist in Berlin-Mitte zu finden. In einem zehngeschossigen Gebäude in der Lützowstraße, nahe des Potsdamer Platzes, hatten sich zur Zeit der Dotcom-Blase viele IT-Unternehmen eingemietet. Das Gebäude beherbergte ursprünglich das Berliner Buchhandels-Zentrum (BBZ), verfügt über eine solide Architektur und kann schwere Server tragen. Nach dem Crash der Internet-Spekulationsblase im Jahr 2000 haben viele der Unternehmen den Ort wieder verlassen. Das Familienunternehmen I/P/B Internet Provider in Berlin GmbH baute in den Folgejahren seinen Standort in dem Gebäude aus. Die mit der Zeit gewachsenen Infrastrukturen und Dienstleistungen haben sich mittlerweile zu einem zentralen Internetknoten der Region entwickelt. Im Vergleich zu etwa NTT BER2 hat das I/P/B Rechenzentrum Standort B weniger IT-Leistungsaufnahme, es weist jedoch eine hohe Konzentration von Datennetzbetreibern unterschiedlicher Branchen auf. Dies liegt an einer der primären Funktion der Infrastruktur,

Datenströme durch das Peering zwischen Internetknoten weiterzuleiten statt diese vor Ort zu verarbeiten. Internetknoten sind eine essenzielle IKT-Infrastruktur und haben bisher eher wenig Aufmerksamkeit bekommen.

Neben Bestandsrechenzentren gibt es Berliner Rechenzentren in Planung und im Bau. In Berlin-Lichtenberg soll unter dem Namen Bluestar bis 2026 ein etwa 100 MW und 30,000 m<sup>2</sup> großes Rechenzentrum entstehen, welches die Nutzung unvermeidbarer Abwärme von Beginn an mit einplant. Das Projekt wurde von den niederländischen Investoren van Caem und Prea ins Leben gerufen. Gemäß eines Berichts in der Berliner Zeitung sollte das in 2015 erworbene Gelände ursprünglich für Wohnungen genutzt werden. Die vorgesehene gewerbliche Nutzung machte daraus Bürogebäude, welche angesichts der Corona-Pandemie der Entscheidung für ein Rechenzentrum Platz machte. Dieses könne nach Schätzung des Investors nun statt 1200 Wohnungen etwa zwölf Millionen Kinofilme (84 Petabyte) im Ultra-HD-Format hosten.

## 5.2.2 Typische Standorte und Standortfaktoren

In Branchenkreisen ist „FLAP“ das Akronym für vier Städte, die die vier wichtigsten Daten-Knotenpunkte in Europa beherbergen: Frankfurt, London, Amsterdam und Paris. Diese sind die Schnittpunkte der Datenleitungen der großen Backbone Provider, über die ein großer Teil des Peerings zwischen deren Netzen abgewickelt wird.<sup>60</sup> Die sogenannten FLAP-Märkte standen lange Zeit im Mittelpunkt für die Ansiedlung neuer Rechenzentren, da die Nähe zu den Network Interchanges Geschwindigkeitsvorteile bei der Internet-Backboneanbindung bringt. Momentan gibt es in Frankfurt etwa mehr als 60 Rechenzentren, die rund 65 Hektar Fläche der Stadt belegen. Die meisten davon sind Colocation RZ und ein weiteres Wachstum wird in den nächsten zehn Jahren erwartet. Dublin ist ebenfalls eine Stadt, die zunehmend große, in diesem Fall sogenannte Hyperscale RZ ansiedelt. Mittlerweile spricht man daher von FLAP-D.

Genauso wie die datenübertragende Infrastruktur aktuell in die flächendeckende „Gigabit“-Dimension übergeht, betritt der Markt für die datenverarbeitende Industrie und IKT-Infrastruktur mittlerweile „secondary markets“. Auch hierbei werden in Branchenkreisen ganze Städte als Märkte für RZ angesehen und es zählen Standorte dazu, die über FLAP(-D) hinaus gehen. Wichtig sind ressourcenökonomische Faktoren sowie gigabitfähige Infrastruktur – also der Anschluss an das Glasfasernetz, zuverlässige Stromversorgung, günstige Stromversorgung und Kühlmöglichkeiten.

Immobilienberater JLL (2021) beschreibt die Relevanz der Stromversorgung als Standortfaktor sehr anschaulich. So ist der Wortlaut eines Marktüberblicks zu Deutschland<sup>61</sup>:

„Eine weitere, absolut essenzielle Standortanforderung ist eine gute Stromversorgung. Von den Betreibern wird bei Ansiedlungsprüfungen nicht nur die aktuelle, sondern auch die perspektivisch verfügbare Stromversorgung der nächsten Jahre analysiert. Die Anschlussleistung moderner Rechenzentren überschreitet meist die 10-Megawatt-Schwelle, in Einzelfällen sind es sogar mehr als 100-Megawatt pro Rechenzentrum. Eine solche Leistung kann in vielen Gebieten schlicht nicht dargestellt werden, so dass ergänzend Umspannwerke errichtet werden müssen. Selbst wo das (z. B. baurechtlich) möglich ist, nimmt es viel Zeit in Anspruch (gegenwärtig bis zu fünf Jahren), so dass dies für ansiedlungswillige Unternehmen gegebenenfalls ein Hindernis sein kann.“

Im internationalen Vergleich weist Deutschland bezüglich der Standortfaktoren „Strompreise“ und „Zügige Genehmigungsprozesse“ eine höhere Kostenstruktur sowie zeitlich längere Genehmigungsprozesse auf. Diese Hindernisse können Kommunen im Umkehrschluss lokal zu ihrem Vorteil nutzen, indem sie eine nachhaltige Bauweise (etwa bezüglich der Energieeffizienz, der Nutzung von erneuerbaren Energien, Fassadenbegrünung und Abwärmenutzung) als Voraussetzung für schnellere Genehmigungsprozesse anführen. Die lokale Integration in die städtische Infrastruktur kann langfristig ressourcenschonende Effekte auf allen Seiten

<sup>60</sup> Neben den großen Knoten für den globalen Datenverkehr existieren selbstverständlich für den lokaleren Datenverkehr (und der Redundanz des Netzes folgend) eine Vielzahl regionaler Peering-Knoten, teilweise auch nur zwischen einzelnen Providern oder zum uplink rein regionaler Provider.

<sup>61</sup> JLL Immobilienberatung (2021), S. 14

erzielen. Dies setzt eine langfristige Sichtweise bei Details von Standortwahl und -genehmigungen voraus.

Der Ausbau des Marktes für Rechenzentren beeinflusst die lokale Wirtschaft und hat insgesamt eine stetige Wachstumstendenz. Insgesamt ist der Markt in Deutschland kleiner als der in den USA und Asien oder etwa skandinavischen Ländern und den Niederlanden. Diese ungleiche Entwicklung wird klaren Strategien zugeordnet, welche anderswo Standorte für eine Ansiedlung von Rechenzentren fördern.<sup>62</sup> Der internationale Markt für RZ schafft lokal sowohl wirtschaftliche Möglichkeiten als auch soziale und technische Abhängigkeiten zur Infrastruktur Rechenzentrum. Arbeitsplätze werden in diesem Zusammenhang oftmals als wirtschaftlicher Faktor in Studien angegeben. Gemäß der Bitkom-Studie von 2017 waren etwa 130.000 Personen in Vollzeit beschäftigt und etwa 85.000 Arbeitsplätze direkt von RZ abhängig.<sup>63</sup> Die Tendenz läuft auf den zunehmend automatisierten Betrieb von Rechenzentren hinaus, für den es vor allem qualifizierte Fach- und Sicherheitskräfte bedarf.

Berater der Finanz- und Immobilienbranche sehen in RZ zunehmend eine Investitionsmöglichkeit. Das Telekommunikationsmodernisierungsgesetz (TKG Novelle 2021) treibt die Digitalisierung und diesen Markt voraussichtlich weiter voran. Im Zuge der dadurch weiter steigenden Datenmengen und des Bedarfs an Rechenzentren stellen RZ mittlerweile eine Anlagemöglichkeit für Investoren dar.<sup>64</sup>

62 Bitkom/Hintemann, 2017

63 zum Vergleich: In der IKT Dienstleistungsgewerbe arbeiten rund 1.300.000 Menschen, in der Agrar- und Forstwirtschaft 557.000

64 [www.handelsblatt.com/inside/energie-und-immobilien/digitale-infrastruktur-warum-gruene-rechenzentren-der-renner-bei-investoren-werden-koennten/27405388.html](http://www.handelsblatt.com/inside/energie-und-immobilien/digitale-infrastruktur-warum-gruene-rechenzentren-der-renner-bei-investoren-werden-koennten/27405388.html)

65 [www.assoimmobiliare.it/wp-content/uploads/2021/02/CW\\_Secondary-Market-Report\\_Data-Centre.pdf](http://www.assoimmobiliare.it/wp-content/uploads/2021/02/CW_Secondary-Market-Report_Data-Centre.pdf)

An internationale Investoren gerichtete Publikationen wie „European secondary markets: The growth story for the new decade“ (Cushman and Wakefield 2020)<sup>65</sup> heben Berlin als – nach Frankfurt – deutschen Standort für Rechenzentren hervor. Die dafür notwendige Energieversorgung oder Integration in die lokalen Begebenheiten der Stadt als „200-MW-Markt“ werden in diesem Fall nicht erwähnt. Diese Dynamik ähnelt der des Immobilienmarktes für Wohnungen und bedarf der Aufmerksamkeit, um städtische Bedürfnisse und Grenzen zu wahren und langfristige Visionen zur lokalen Wirtschaft und Raumnutzung mitzugestalten.

### 5.2.3 Internationale industrielle Standards für Rechenzentren

Die Planung eines Rechenzentrums kann mehrere Jahre dauern, hinzu kommen noch die baurechtlichen Genehmigungsprozesse. Für Rechenzentren gilt die DIN EN 50600 (sogenannte RZ-Norm), welche länderübergreifende Standards vorgibt. Die DIN EN 50600 wird seit 2014 schrittweise in Kraft gesetzt und wurde 2018 in die Technische Spezifikation ISO/IEC TS 22237 übersetzt, welche Vorgaben zur Gestaltung, Bau und Betrieb macht.

Für den sicheren Betrieb und laufende Verbesserungen der Performance sind Kennzahlen für die Bewertung notwendig, für welche es ebenfalls Standards gibt. Die ISO/IEC 30134 gibt einen internationalen Standard für die Key Performance

Indicators (KPI) von Rechenzentren vor. Darunter fällt z. B. auch der Indikator für Energieeffizienz, Power Usage Effectiveness (PUE)<sup>66</sup>, welcher in seiner Effektivität, Aussagekraft und Handlungsweisung durchaus umstritten ist und, als Indikator, der sich auf einen gewissen Zeitraum bezieht, in jedem Fall genügend Kontextualisierung bedarf.

Neben der Normierung, um ein RZ ordnungsgemäß zu bauen und zu betreiben, sind Standards auch relevant, um Kundenbeziehungen aufzubauen, insbesondere wenn die Nutzung der Infrastruktur im Rahmen von Serviceverträgen angeboten wird. So können Betreiber durch die Zertifizierung nach DIN EN 50600 und ISO/IEC 30134 ein Qualitätssignal setzen und Vertrauen in die Infrastruktur schaffen.

## 5.2.4 EU-Strategien und Selbstverpflichtungen der Betreiber

Für Rechenzentren galt lange Zeit tendenziell die Selbstverpflichtung der Branche, etwa für die Sicherheit als auch die Umweltauswirkungen. Auf der EU-Ebene gibt es den „Pakt für klimaneutrale Rechenzentren“, welcher das politische Ziel verfolgt, dass spätestens bis 2030 alle Datenzentren klimaneutral betrieben werden sollen. In Anlehnung an aktuelle Debatten hat die Branche den „Climate Neutral Data Centre Pact“ ins Leben gerufen, welcher an den EU Green Deal anknüpft und daran teilnehmende Betreiber verpflichtet, bis 2050 klimaneutral zu werden.<sup>67</sup>

Auf Bundesebene hat es seit dem Jahr 2023 gesetzlich maßgebliche Änderungen gegeben, die solche Formen der Selbstverpflichtung in für alle geltende gesetzliche Regelungen überführt. Diese werden im Folgenden ausgeführt.

## 5.2.5 Gesetzliche Energieeffizienzstandards für Rechenzentren (EnEfG)

Die Bundesregierung hat im April 2023 das „Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes“ (EnEfG) verabschiedet. Es wird voraussichtlich bis 2030 der Novelle der Energieeffizienzrichtlinie (EED) entsprechen.

Das EnEfG hat das ausgesprochene Ziel, die Energieeffizienz von Rechenzentren zu verbessern. Wo vorher ein ressourcenschonender und klimaunschädlicher Bau und Betrieb in den Händen der Betreiber lag, gibt es dafür nun erstmalig einen klaren gesetzlichen Rahmen. Auch dem aktuellen Informationsmangel zu Energieverbräuchen soll durch ein öffentliches Register, für alle im gleichen Maße und somit fair, entgegengewirkt werden.<sup>68</sup>

Die folgende Tabelle gibt die wesentlichen Punkte des EnEfG wieder. Zwei Kennzahlen stehen im Zentrum der Aufmerksamkeit: der PUE (Power Usage Effectiveness) und zukünftig (ab Juli 2026) der ERF (Energy Reuse Factor), der für die Quantifizierung der Abwärmenutzung verwendet wird.

66 [webstore.iec.ch/preview/info\\_isoiec30134-4%7Bed1.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec30134-4%7Bed1.0%7Den.pdf)

67 [www.climateneutraldatacentre.net/](https://www.climateneutraldatacentre.net/)

68 [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230921-bundestag-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230921-bundestag-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html)

Tabelle 07

**Wesentliche Punkte des EnEFG bezüglich des Betriebs von Rechenzentren**<sup>69</sup>

<b>Bereich</b>	<b>Vorgaben des EnEFG</b>
Energieeffizienzstandards (PUE)	<p>Rechenzentren, die neu geplant werden und vor dem 1. Juli 2026 in Betrieb gehen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ab dem 1. Juli 2027 eine PUE (Power Usage Effectiveness) von <math>\leq 1,5</math> erreichen.</li> <li>• ab dem 1. Juli 2030 ein PUE Wert von <math>\leq 1,3</math> erreichen.</li> <li>• Für Rechenzentren, die ab dem 1. Juli 2026 den Betrieb aufnehmen, gilt sofort eine PUE von <math>\leq 1,3</math>.</li> </ul>
Abwärmenutzung in Rechenzentren	<p>Bei Inbetriebnahme muss der ERF (Energy Reuse Factor) eines Rechenzentrums bei folgenden Werten liegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ab dem 1. Juli 2026 bei mindestens bei 10 %</li> <li>• Ab dem 1. Juli 2027 bei 15 %.</li> <li>• Ab dem 1. Juli 2028 bei 20 %.</li> </ul>
Erneuerbare Energien	<p>Große Betreiber sollen Strom aus Erneuerbaren Energien nutzen. Darüber hinaus müssen Betreiber von Rechenzentren ab 2024 mindestens 50 % ihres Strombedarfs aus ungeforderten erneuerbaren Energien decken und ab 2027 sogar 100 %.</p>
Kühlanforderungen und Management-Systeme	<p>Rechenzentren, die vor dem 1. Januar 2024 in Betrieb gehen, müssen die Luftkühlung des IT-Equipments an die vorgeschriebenen Mindesttemperaturen anpassen. Bis zum 1. Juli 2025 müssen Rechenzentrumsbetreiber zudem ein Energie- oder Umwelt-Management-System einrichten.</p>
Gesetzliche Regulierung der Kältemittel	<p>Die F-Gas-Verordnung der EU von 2014 regelt die Beschränkung des Einsatzes bestimmter Kältemittel. Ein Novellierungsentwurf der EU-Kommission von 2022 beabsichtigt den schrittweisen Ausstieg aus der Verwendung fluoriierter Treibhausgase.</p>

69 [dip.bundestag.de/vorgang/gesetz-zur-steigerung-der-energieeffizienz-und-zur-%C3%A4nderung-des-energiesparleistungsgesetzes/298724?f.wahlperiode=20&rows=25&pos=14](https://dip.bundestag.de/vorgang/gesetz-zur-steigerung-der-energieeffizienz-und-zur-%C3%A4nderung-des-energiesparleistungsgesetzes/298724?f.wahlperiode=20&rows=25&pos=14)

## 5.3 Zum Energiebedarf von Rechenzentren

### 5.3.1 Strombedarf von Rechenzentren in Deutschland

Auch wenn die Bedeutung von Rechenzentren für die Digitalisierung hoch ist, ist das öffentlich zugängliche Wissen um den Rechenzentrumsmarkt verhältnismäßig gering. Um den Strombedarf zu ermitteln, ist zunächst Kenntnis über den Bestand nötig. Zur Anzahl und Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland gibt seit dem letzten Jahrzehnt im wesentlichen drei Studien, die das Borderstep Institut angefertigt und Bitkom herausgegeben hat.<sup>70</sup> Diese bauen aufeinander auf und stellen jeweils ein Update zum jeweiligen Kenntnisstand dar.

Nach aktuellem Kenntnisstand nimmt der Gesamtenergiebedarf von Rechenzentren immer weiter zu – von rund 10 TWh im Jahr 2010 auf 16 TWh 2020 in Deutschland. Zum Vergleich: Berlin hat aktuell 3,8 Mio Einwohner und der städtische Stromverbrauch betrug im Jahr 2022 etwas mehr als 12 TWh. Aus Nachhaltigkeitsbedenken wurde in Amsterdam und Singapur zwischenzeitlich ein Verbot für neue Rechenzentren erlassen.<sup>71</sup>

Allgemein wird der Energiebedarf von Rechenzentren in zwei Bereiche unterteilt: Auf der einen Seite sind die IT-Komponenten (Server, Speicher, Netzwerk), welche die eigentliche Funktion der Rechenzentren darstellen und den „Whitespaces“ zuzuordnen sind. Auf der anderen Seite stehen die Energiebedarfe für die Infrastrukturen, welche die sichere Erhaltung der Funktion durch Kühlung, Klimatisierung und unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gewährleisten und den „Greyspaces“ zugeordnet sind. Das Verhältnis zwischen den beiden ist die Basis für die Berechnung des PUE (Power Usage Effectiveness). Anders formuliert ist es also aus Betreibersicht die Effektivität des Energieverbrauchs der Hülle und der Vorkehrungen, welche die IT-Prozesse sichern und gewährleisten.

<sup>70</sup> Hintemann, 2021, Hintemann, 2017; Hintemann & Clausen, 2014

<sup>71</sup> Bitkom, 2021, S. 27

Tabelle 08

**Öffentliche Angaben zum Energiebedarf von Rechenzentren**

Jahr	Energiebedarf RZ	Energiebedarf IT	PUE Wert	Publikationen	Quelle
2010	10,5 Mrd kWh		1,98	Dt Bundestag (2021), Bitkom (2022), BMWi (2020)	Hintemann, R. Borderstep (2020)
		5,8 Mrd kWh		Dt Bundestag (2021)	Hintemann (2018) <sup>72</sup>
2016	12,4 Mrd kWh			Dt Bundestag (2021), Statista, Eon/RWTH Aachen (2019), c't (2023)	Hintemann, R. (2017) <sup>73</sup>
2017	13,2 Mrd kWh			BMWi (2020)	(Hintemann und Hinterholzer 2019)
		7,9 Mrd kWh		Dt Bundestag (2021)	Hintemann (2018)
2018	14 Mrd. kWh			Dt Bundestag (2021), Statista	Hintemann, R. (2017)
		8,5 Mrd kWh			
2019	14,9 TWh			TAB (2022)	Stobbe (2015), / Hintemann (2019)
		9,1 TWh	1,6	TAB (2022)	Stobbe (2015), / Hintemann (2019)
2020			1,63 (-21 %)	Dt Bundestag (2021), Bitkom (2022)	Hintemann, R. Borderstep (2020)
	16 Mrd. kWh			Dt Bundestag (2021), <sup>74</sup> Bitkom (2022), Statista, c't (2023)	Hintemann, R. Borderstep (2020) <sup>75</sup>
		10 Mrd kWh		Dt Bundestag (2021)	Hintemann, R. Borderstep (2020)

72 Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2018). Digitalisierung treibt Strombedarf von Rechenzentren Boom führt zu deutlich steigendem Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2017", [www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand\\_Dez\\_2018.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/12/Borderstep-Rechenzentren-2017-final-Stand_Dez_2018.pdf)

73 Hintemann, R., Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH (2017). „Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf deutscher Rechenzentren im Jahr 2016“, [www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep\\_Rechenzentren\\_2016.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf)

74 [www.bundestag.de/resource/blob/863850/423c11968fcb5c9995e9ef9090edf9e6/WD-8-070-21-pdf-data.pdf](http://www.bundestag.de/resource/blob/863850/423c11968fcb5c9995e9ef9090edf9e6/WD-8-070-21-pdf-data.pdf)

75 Hintemann, R. Borderstep Institut, (2020). "Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an", [www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

### 5.3.2 Trends und Anwendungen, die Rechen- und Energiebedarfe steigen lassen

Zwischen den Jahren 2014 und 2018 gab es im Vergleich zu den Vorjahren einen Wachstumsschub im Energieverbrauch von Rechenzentren. Dieser wird laut Bundestag (2021) dem Cloud Computing zugerechnet.<sup>76</sup> Dies verdeutlicht, dass das Wachstum im Energiebedarf im direkten Verhältnis zum Wachstum des Marktes für Rechenzentren und damit verbundenen Geschäftsmodellen zuzuordnen ist, was auch deren Sichtbarkeit bzw. die Informationserfassung zu den Verbräuchen voraussetzt.<sup>77</sup> Entwicklungen, welche den Bedarf an Rechenleistung und Datenspeicherung voraussichtlich weiter steigen lassen, werden der Künstlichen Intelligenz, Kryptowährungen, Social Media, dem Videostreaming und Unternehmensanwendungen zugeschrieben.<sup>78</sup>

Unterschiedliche Angaben zu konkreten Energieverbräuchen kursieren im Internet und wissenschaftlichen Studien. Kryptowährungen haben bekanntlich durch das sogenannte Mining der Blöcke einen hohen Energiebedarf. Bitcoin verwendet dafür die Blockchain-Technologie mit einem jährlich geschätzten Energieaufwand von 30 bis 75 Milliarden kWh.<sup>79</sup> Die untere Grenze vergleicht eine Studie des BMWi mit dem gesamten

Energieverbrauch von Dänemark im Jahr 2016.<sup>80</sup> Der Energiebedarf durch das Videostreaming stieg gemäß TAB (2022) von 2016 bis 2021 um 80 % von 24 auf 43 TWh/a an.

In Abgrenzung oder im Vergleich dazu behauptet ein Sachstand zum „Energieverbrauch von Rechenzentren“ des Deutschen Bundestages (WD-3000-070/21), dass Videostreaming an sich etwa 80 % des Stromverbrauchs des Internets verursache. Der Sachstand beruft sich bei dieser Aussage auf einen Beitrag von Deutschlandfunk Kultur, in dem die Informationsquelle zu dieser Angabe fehlt.<sup>81</sup> Der Vergleich der Anwendungen deutet an, dass der Energieaufwand für Kryptowährungen etwa doppelt so hoch geschätzt werden kann als der des Videostreamings. Um eine weitere Referenz zur Orientierung hinzuzufügen, sei hier der Bereich Unternehmensanwendungen, wie etwa Enterprise Resource Planning (ERP) genannt. Gemäß des Studie des TAB (2022) stieg der Energieverbrauch hier um etwa 50 % von 57 auf 84 TWh/a an. Dies ist etwas höher als bei den Kryptowährungen und doppelt so viel wie beim Videostreaming.<sup>82</sup>

Auch wenn Videostreaming ein wiederkehrendes, raumeinnehmendes und medienwirksames Beispiel ist, sind es proportional die weniger sichtbaren IT-Prozesse als die Katzenvideos, welche die IKT-Infrastruktur stark beanspruchen (siehe dazu auch 4.3.4.). Beim Videostreaming ist es nicht

76 Hintemann, Graß, et al., 2022, Hintemann und Hinterholzer 2022

77 Nicht berücksichtigt ist bei diesen Angaben, wie viel Energieverbrauch in lokalen Kleinst-Rechenzentren und Serverräumen von Unternehmen („Besenkammerrechenzentren“) durch das Cloudcomputing ersetzt werden konnte, da die Stromverbräuche der IT in solchen Einrichtungen kaum bekannt sind.

78 TAB (2022), Bundestag (2021)

79 Reetz (2019) in BMWi (2020)

80 BMWi (2020)

81 Bundestag 2021, [www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google-100.html](http://www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google-100.html)

82 TAB (2022)

die Datenspeicherung oder die Datenübertragung über das Internet, sondern der visuelle Konsum über die Endgeräte (Bildschirme), der den höchsten Anteil am Energieverbrauch der Anwendung hat.<sup>83</sup> Inwieweit der Energieverbrauch der Datenvisualisierung zum Internet gehört, wenn beide wie beim Streaming zeitlich aneinander gekoppelt sind, ist eine Frage konzeptioneller Natur.

Während die in unterschiedlichen Quellen genannten Anwendungen als hohe Beiträge zu steigenden Energieverbräuchen durchaus plausibel sind, sind die quantitativen Angaben wenig konsistent. Gründe für die Mangelhaftigkeit solcher Abschätzungen sind in 4.3.3 genannt.

## 5.4 Energieeinsparpotenziale bei Rechenzentren

Während der Strombedarf von Rechenzentren stetig anstieg, erhöhte sich gleichzeitig über viele Jahre auch ihre Energieeffizienz. Die Energieeffizienz lässt sich einerseits auf der Ebene der elektischen Komponenten, andererseits durch die Nutzung von Abwärme verbessern. Die Effizienzgewinne durch verbesserte Komponenten und Betriebsstrategien sind mit dem PUE abbildbar. Aktuell ist ein PUE von etwa 1,6 üblich und hat sich im Vergleich zu 2010 um 21 % verringert (siehe Tabelle 08). Bei modernen Anlagen wird oft nur ein Viertel der Energie durch die Kühlung, Klimatisierung und USV verbraucht, was zu einem PUE von etwa 1,25 führt.<sup>84</sup> Die aktuelle Tendenz ist eine Steigerung der Nachfrage an Rechenleistung und Speicherkapazität (gemäß der Trends in Anwendungen und Cloud Computing) sowie deren elektrischen Energiebedarfs, welche die Effizienzgewinne der Systeme übersteigt.<sup>85</sup>

Neben dem PUE-Wert nutzen Unternehmen gerne auch den tatsächlich „geleisteten Zweck“ pro Energieeinheit. Weitere Metriken und Kennzahlen sind beispielsweise die CUE (Carbon Usage Effectiveness), die WUE (Water Usage Effectiveness) oder der COP (Coefficient of Performance).<sup>86</sup> Es gibt bei Rechenzentren also unterschiedliche Ansätze zur internen Energie- und Kostenoptimierung. Eine aktuelle

Dissertation der TU Dresden (Hackenberg 2021) geht beispielsweise genauer auf die Separation von Kalt- und Warmluft ein.<sup>87</sup> Lt. TAB (2022) seien im Bereich der gebäudeseitigen Infrastrukturen in Rechenzentren (Kühlung, Stromversorgung) mittelfristig keine größeren Effizienzgewinne mehr zu erwarten.<sup>88</sup>

Aktuell wird der in deutschen Rechenzentren verbrauchte Strom über die IT-Prozesse in Wärme umgewandelt und die beim Kühlen der Server entstehende Abwärme weitestgehend ungenutzt in die Umgebung abgegeben. Diese Abwärme entsteht auch bei guter PUE und erreicht inzwischen relevante Dimensionen. Die Nutzung dieser unvermeidbaren Abwärme wurde bisher kaum praktiziert und hat entsprechendes Potenzial.

Um weitere Effizienzgewinne zu erreichen und dieses Potenzial abzuschöpfen, setzt das EnEg mit dem „Energy Reuse Factor“ (ERF) woanders innerhalb der Infrastruktur an. Das Thema Rechenzentrum wird in diesem Zuge grundsätzlich an der Schnittstelle zwischen digitaler Transformation, Energiewende und Wärmerwende gedacht und gehandhabt. Das folgende Teilkapitel geht auf zukünftige Möglichkeiten und Herausforderungen der Abwärmenutzung ein.

<sup>84</sup> Hintemann, 2019

<sup>85</sup> Eon und RWTH Aachen, 2019

<sup>86</sup> Bitkom, 2021, S. 14

<sup>87</sup> [tud.qucosa.de/api/qucosa%3A77844/attachment/ATT-0/](https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A77844/attachment/ATT-0/)

<sup>88</sup> TAB, 2022

## 5.5 Energieeffizienz durch Abwärmennutzung

Das Thema Abwärmennutzung war in der Branche für Rechenzentren bis vor wenigen Jahren eher ein Nischenthema. Im Rahmen des EnEfG wurde diese Option für den energieeffizienten Betrieb von RZ zur öffentlichen Diskussion gebracht und gesetzlich verankert. Aktuell herrschen noch relativ viele Informationsdefizite bei den relevanten Akteuren.

Aus aktuellen öffentlichen Diskussion, wie beispielsweise „Nachhaltige Rechenzentren und das Energieeffizienzgesetz“ auf der Smart Country Convention in Berlin 2023,<sup>89</sup> kann man erkennen, dass aus den anfänglichen Widerständen der Branche mittlerweile eine wohlwollende Akzeptanz des nun verabschiedeten Gesetzes und seiner Regelungen geworden ist.

Dieser Abschnitt trägt dazu bei, die aktuell vorherrschenden Informationsprobleme zwischen Abwärmeanbieter (Rechenzentrumsbetreiber bzw. Wärmequelle), Abwärmeabnehmer (sogenannte Wärmesenken) und mögliche Koordinationsrollen in diesem Kontext aufzuzeigen.

### 5.5.1 Über die Technik der Abwärmennutzung

Die Abwärmennutzung bei RZ bedeutet eine Einspeisung der Abwärme als nutzbare Wärme in Wärmenetze oder andere Räume und Infrastrukturen, und bedarf somit der

Koordinierung von kommunaler Wärmestrategie und Digitalisierung.

Auf übergeordneter Ebene handelt es sich bei der Abwärmennutzung von Rechenzentren in mehr als geringem Maßstab also um die Systemkopplung aus einer bestehenden IKT-Infrastruktur (dem Rechenzentrum samt seiner Energie- und Kühlungssysteme) mit dem Wärmemarkt.

Die Abwärme von Rechenzentren entsteht beim Kühlen der Server, die beim Ausführen der IT-Prozesse konstant Wärme abgeben. Um die Server und ihre Umgebung auf einer für ihre Funktion sicheren Temperatur zu halten und Überhitzung zu vermeiden, haben Rechenzentren entsprechende Kühlsysteme und Wärmetauscher installiert. Die abgegebene Wärme fällt in dem dafür verwendeten Medium an, also in Luft oder Flüssigkeit. Dieses Medium bestimmt dann auch die Art der Wärmetauscher. Die Temperatur der Abwärme liegt dabei üblicherweise bei etwa 30 Grad. Je effizienter und effektiver die interne Kühlung eines RZ funktioniert, umso geringer ist auch die an die Umgebung abgegebene Abwärme.

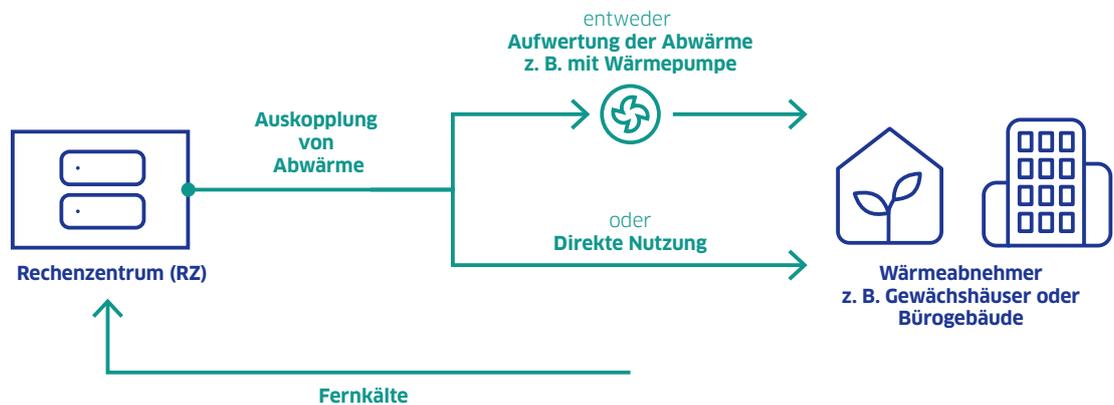
Hier ist also anzumerken, dass die Nutzung der Abwärme zum einen 1) bei neugebauten Rechenzentren von Anfang an eingeplant werden kann und zum anderen 2) bei bereits in Betrieb befindlichen Rechenzentren einen Eingriff in dessen laufende Funktion bedeutet.

89 [www.youtube.com/watch?v=ruVbNGtL\\_wM](https://www.youtube.com/watch?v=ruVbNGtL_wM)

Der Abnehmer der Abwärme hat Einfluss darüber, ob die Abwärme direkt verwendet werden kann oder ob das Temperaturniveau durch einen weitem Zufluss von Energie in nutzbare

Abwärme aufbereitet werden muss. Hier sind Schwimmbäder oder Niedertemperaturheizungen ein beliebtes Beispiel, da deren Temperatur der Abwärme in etwa entspricht.

Abbildung 05 **Schematische Darstellung der Nutzungsmöglichkeiten unvermeidbarer Abwärme der Rechenzentren** <sup>90</sup>



Die Produktion von Abwärme als Abfallprodukt eines RZ versuchen Betreiber intern zu verringern. Es ist dann also nur die unvermeidbare Abwärme (siehe Wärmestrategie Berlin), welche zur weiteren Nutzung zur Verfügung gestellt werden kann. Dessen muss man sich bei der Gestaltung von Sektorkopplungen bewusst sein.

Die Abwärmeabgabe und die Abnahme sind antizyklisch. Im Sommer müssen RZ vermehrt gekühlt werden und geben gleichzeitig viel Wärme ab. Im Winter wird Abwärme gebraucht, die Erhitzung der RZ ist vergleichsweise geringer. Diese saisonalen Schwankungen (sowohl in der Nutzung als auch in der Außentemperatur) sinnvoll miteinzubeziehen, kann eine technische Herausforderung sein und sollte beim Matching mit den Abnehmern von Anfang an einbezogen werden.

<sup>90</sup> Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Bytes2Heat-Plattform.

## 5.5.2 Abwärmenutzung heute in Deutschland

Studien und Aussagen zur Abwärmenutzung vor 2023 basieren auf der Zeit vor der Verabschiedung des EnEfG und sollten entsprechend eingeordnet werden. Generall kann man sagen, dass die Nutzung der Abwärme aus Rechenzentren in Deutschland noch nicht weit verbreitet ist. Als wesentliche Gründe für die Nichtnutzung der Abwärme aus deutschen Rechenzentren gelten die mangelnde Wirtschaftlichkeit und das Fehlen geeigneter Abnehmer.<sup>91</sup>

Erste Anwendungen vor rund zehn Jahren waren etwa die direkte Einleitung der warmen Abluft aus Server-Räumen in Büroräume (TAB 2022). Das Borderstep Institut erstellte 2017 eine (nicht repräsentative) Umfrage unter deutschen Rechenzentrumsbetreibern. Etwa ein Drittel der großen Anbieter von Colocation RZ nutzte demnach die Abwärme in mindestens einem ihrer Rechenzentren. Bei Rechenzentren im Eigenbetrieb lag dies bei etwa 20 %. Nur ein RZ nutzte mehr als die Hälfte der Abwärme. Die Nutzung der Wärme betraf in geringen Anteilen die Heizung und Warmwasserbereitung.<sup>92</sup>

Die bisherige Nutzung von Abwärme betrifft ihre Verwendung in Gebäuden des Rechenzentrums für Heizung und Warmwasserbereitung. Gemäß einer Studie von Eon mit der RWTH Aachen (2019) nutzen nur 19 % der Rechenzentren in Deutschland mindestens 10 % ihrer Abwärme.<sup>93</sup> Schätzungen nach entstehen pro MWh verbrauchten

Strom ca. 0,46 MWh Abwärme. Je nach Szenario und Annahmen, könne so im Jahr 2025 ein Abwärmepotenzial von bis zu 7,5 TWh bestehen (Eon mit der RWTH Aachen, 2019). Eine Möglichkeit sei dabei, dass Gebäude mit geringem Energiebedarf die Rechenzentrumsabwärme ohne den Einsatz von zwischengeschalteten Wärmepumpen direkt nutzen können.

Insgesamt bedarf eine sinnvolle Abwärmenutzung von Rechenzentren zukünftig Koordination und Informationsaustausch, der nicht nur die technischen Infrastruktursysteme betrifft, sondern auch die Art und Weise, wie die zuständigen Akteure miteinander arbeiten können.

## 5.5.3 Wärmestrategie und Abwärmenutzung in Berlin

In Berlin wird momentan in Erwägung gezogen, erforscht und erprobt, ob und wie sich RZ als lokale Wärmequelle in das Wärmesystem integrieren lassen. Dies ist bereits in der Wärmestrategie Berlin erwähnt, wo diese als potenzielle gewerbliche Abwärmequelle im niederkalorischen Bereich erwähnt wird. Damit stehen sie in einer Reihe mit etwa Kaffeeröstereien, Großbäckereien und Kühlhäusern. Es heißt in der Wärmestrategie weiterhin, „die Möglichkeit der Abwärmenutzung sollte in der Flächenplanung und Wirtschaftspolitik berücksichtigt werden, indem z. B. eine gezielte Ansiedlung der Abwärmequellen in der Nähe zu Wärmenetzen erfolgt.“ (Wärmestrategie Berlin, S. 31)<sup>94</sup> Die Strategie weist auch auf die Bedeutung der Risikoabsicherung bei Ausfall der

91 Hintemann/Clausen 2018b, S. 33 in TAB 2022

92 Hintemann/Clausen 2018b, S. 25 u. 32 in TAB 2022

93 Eon mit der RWTH Aachen (2019)

94 Wärmestrategie Berlin S. 31, Wärmestrategie Berlin S. 191

Wärmequelle hin, gemeinsam mit möglichen Ansätzen für entsprechende Instrumente.

Aktuell wurde in Berlin also ein Potenzial erkannt und Rechenzentren als mögliche Wärmequelle in der Wärmestrategie Berlin eingeordnet. Inwieweit Rechenzentren lokal einen größeren oder kleineren Beitrag als Wärmequelle leisten können als etwa Großbäckereien, ist derzeit ungewiss. Die Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz hat 2023 eine Datenerhebung Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu) und das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) veranlasst, die der Bestimmung der Potenziale von Abwärme gewidmet ist. Die Daten dienen der Analyse von Berliner Abwärmenutzungspotenzialen. Hier erkennt man bereits die Synergien, die sich durch die Zusammenarbeit der Senatsverwaltungen ergeben. Das Thema IKT ist der SenWEB zugeordnet, während beim Thema Wärmeplanung die SenUMVK federführend zuständig ist.

### 5.5.4 Informationen für die städtische Einbindung von Rechenzentren

Die meisten Rechenzentren wurden bisher ohne geplante Nutzung unvermeidbarer Abwärme erbaut. Es braucht sowohl Eingriffe in die bereits laufende Infrastruktur, um technische Systeme zu integrieren, als auch eine Koordination mit

dem Wärmemarkt, um durch Sektorkopplung Synergien zu schaffen. Gemäß einer Umfrage unter 50 Rechenzentrumsbetreibern in Deutschland durch Bitkom, fehlen laut 50 % der Befragten in erster Linie Abnehmer für die Abwärme. Auf der Seite der wärmebedürftigen Einrichtungen ist es schwer abzuschätzen, ob die Wärmeabgabe eines Rechenzentrums etwa dem Bedarf des Abnehmers entspricht und ob die Wärmeabgabe (wie etwa bei einer Bäckerei) zeitlichen Schwankungen unterliegt.

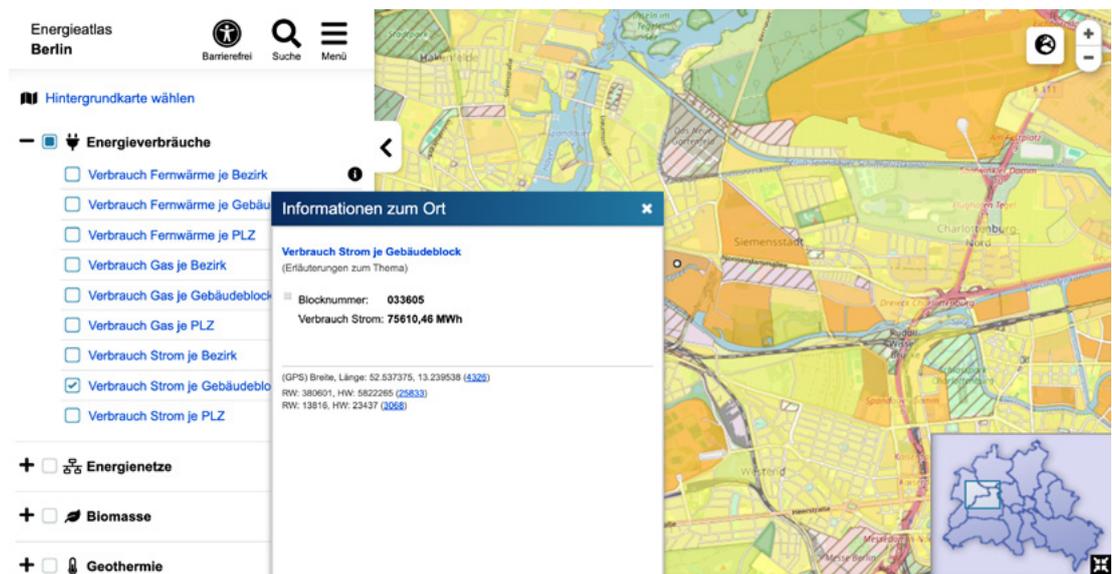
Berlin verfügt bereits über Tools, die für eine ressourcenschonendere Gestaltung von Rechenzentren wesentliche Informationsbedarfe adressieren. Zum einen der Energieatlas Berlin<sup>95</sup> und zum anderen der Gigabit-Monitor<sup>96</sup> des Gigabit-Portals Berlin. Über den Energieatlas lassen sich durch die unterschiedlichen Heatmap-Funktionen potenzielle Wärmequellen und Wärmeabnehmer geografisch – zumindest in Gebäudeblock-Auflösung – lokalisieren.

Die Abbildung 1 ist ein Screenshot des Energieatlas Berlin mit Standort des NTT BER1 Rechenzentrums und zeigt eine Indikation für den lokalen Stromverbrauch per Gebäudeblock (Blocknummer 033605; 75.610,46 MWh). Weitere für eine nachhaltig gestaltete Abnahme und Abgabe von Wärme wichtige Daten, wie etwa der Verbrauch von Gas je Gebäudeblock, können dem Energieatlas geografisch aufbereitet entnommen werden und bieten so eine Informationsgrundlage für zukünftige Kooperationen.

95 [energieatlas.berlin.de/](https://energieatlas.berlin.de/)

96 [gigabit.berlin.de/gigabitmonitor.php](https://gigabit.berlin.de/gigabitmonitor.php)

Abbildung 06 Screenshot des Energieatlas Berlin mit Standort des NTT BER1 RZ und Indikation des lokalen Stromverbrauchs per Gebäudeblock (Blocknummer 033605, 7.5610,46 MWh)

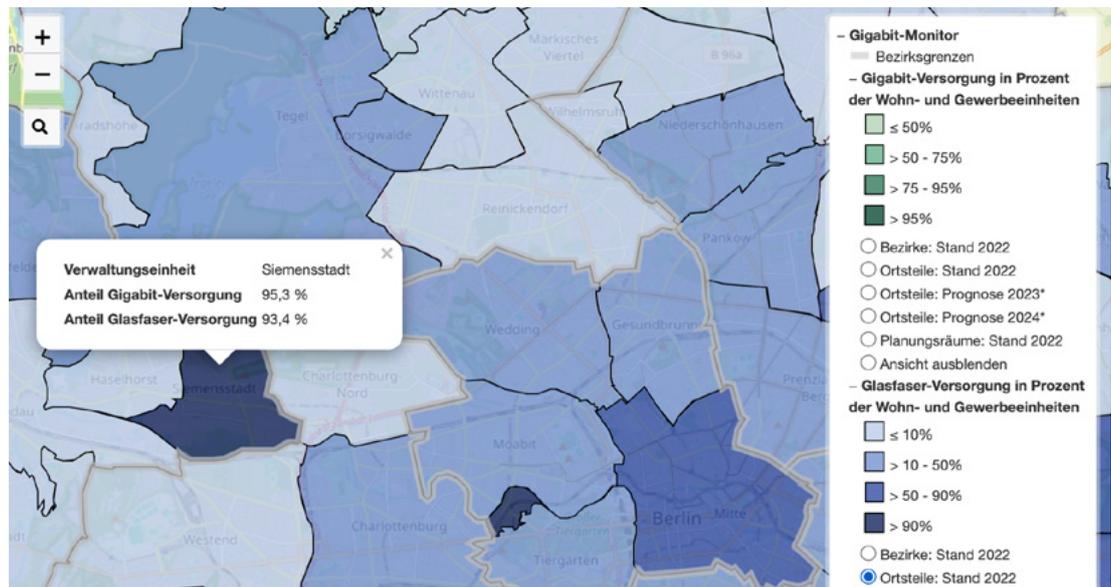


Für Rechenzentren ist eine gute Anbindung an das Glasfasernetz unabdingbar. Der GigabitMonitor kann hier eine Indikation dafür sein, wo bereits notwendige Infrastruktur besteht. Oder wo, im Umkehrschluss, etwa durch den Betrieb oder die Ansiedlung eines Rechenzentrums der lokale Glasfaserausbau forciert werden müsste. Nicht zuletzt gibt der Monitor auch die geografischen Ungleichheiten wieder. In der Stadtforschung wird diskutiert,<sup>97</sup> welche Effekte Ungleichheiten im Ausbau von Infrastrukturen auf die Entwicklung von Stadtgebieten haben.

97 Graham und Marvin (2001) „Splintering Urbanism“

Abbildung 07

**Berliner Gigabit-Monitor mit dem Stand der Glasfaserversorgung in 2022 (identischer Kartenausschnitt wie in Abb. 01)**



Orientiert am Ortsbeispiel Siemensstadt und dem daneben gelegenen Rechenzentrum NTT BER1 in Berlin-Spandau erkennt man, dass sich in dieser Gegend sowohl stromintensive Gebäudeblöcke befinden (Energieatlas Berlin) und im Verwaltungsgebiet Siemensstadt bereits eine fast vollständige Glasfaser-Versorgung bestand (Gigabit-Monitor). Wie Kapitel 3 bereits erwähnte, wird hier momentan an einem smarten Quartier gebaut.

Zukünftig ist eine Kombination von Karten und Informationsquellen nötig, um ein kompletteres Bild von Potenzialen für die Sektor-Kopplung von IKT-Infrastruktur und Wärmemarkt sowie deren Größenordnungen zu erlangen. Momentan steht noch offen, wo dies verwaltungstechnisch verankert sein könnte. Die Technologiestiftung Berlin hat hinsichtlich der Potenziale

der praktischen Datennutzung<sup>98</sup> in Berlin als auch speziell zu Gebäudedaten<sup>99</sup> im urbanen Kontext Studien veröffentlicht, die weitere Möglichkeiten aufweisen.

Die Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e. V. (DENEFF) hat in Kooperation mit anderen Organisationen mit Bytes2Heat eine Plattform geschaffen, die das aktuelle Informationsproblem zur Abwärmenutzung von Rechenzentren mit mehreren Tools angeht. Operationale digitale Lösungen oder Plattformen bieten selten komplette Abhilfe für Themen von taktischer oder strategischer Natur. Sie sind jedoch ein wertvoller Baustein, um erste Informationslücken zu schließen, Kooperationen zu initiieren und weitere Handlungsbedarfe aufzudecken. So bietet die Plattform etwa eine Reihe unterschiedlicher „Best-Price-Beispiele“ sowie ein

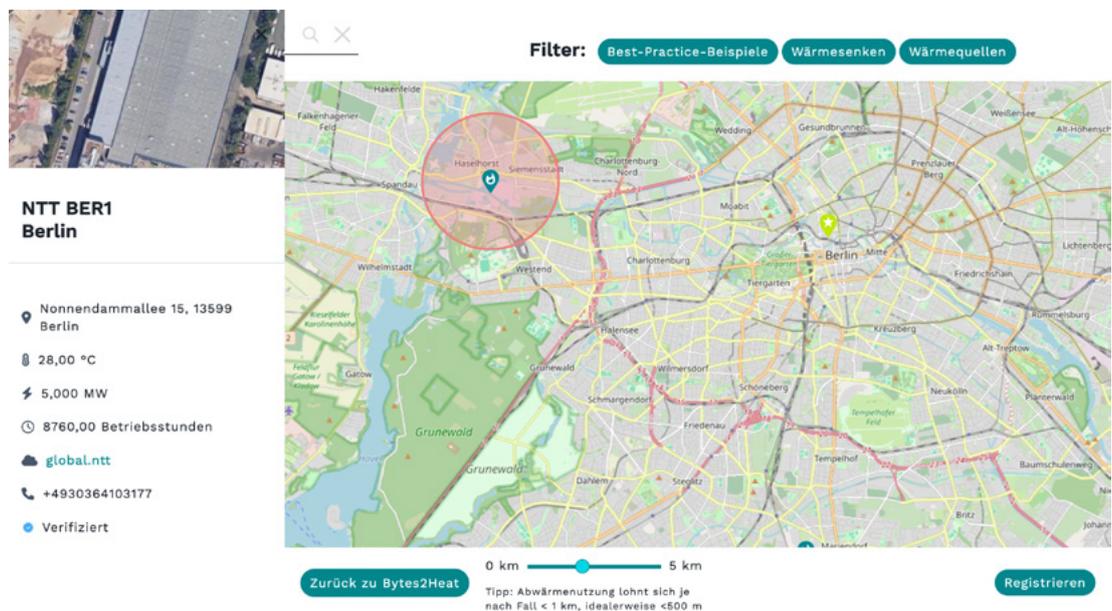
98 [www.technologiestiftung-berlin.de/downloads/datenpotenziale](http://www.technologiestiftung-berlin.de/downloads/datenpotenziale)

99 [www.technologiestiftung-berlin.de/downloads/das-intelligente-quartier](http://www.technologiestiftung-berlin.de/downloads/das-intelligente-quartier)

„Bytes2Heat – Matching Tool“, um potenzielle Wärmequellen mit potenziellen Wärmesenken zusammenzuführen.<sup>100</sup> Wie die Abbildung 3 erkennen lässt, sind dabei relevante Daten zur gegenseitigen Information erfasst. Dazu gehören

etwa die Leistung des Rechenzentrums, die Temperatur der unvermeidbaren Abwärme sowie der Radius, innerhalb dessen die Wärmeinspeisung in ein abnehmendes System je nach Kontext wirtschaftlich wäre.

Abbildung 08 Eintrag des Rechenzentrums NTT BER1 (ehemals e-Shelter) im Bytes2Heat Matching Tool mit Standort Berlin-Spandau, nahe Siemensstadt



100 Weitere Informationen auf: [www.bytes2heat.com](http://www.bytes2heat.com)

## 5.6 Zwischenfazit zu Rechenzentren

Bei der nachhaltigen Umgestaltung und Ansiedlung von Rechenzentren liegt wesentliches unausgeschöpftes Potenzial. Ihre ständig anfallende Abwärme wurde beispielsweise bisher kaum genutzt und das EnEfG bietet nun einen für alle gültigen gesetzlichen Rahmen. Welche Möglichkeiten realisiert werden, hängt von vielen Faktoren ab. Es fehlt an Information und Orientierungspunkten dazu, wie die komplexe Infrastruktur Rechenzentrum möglichst ressourcenschonend und wirtschaftlich in das städtische Umfeld und den Wärmemarkt integriert werden kann.

Die relativ schlechte Informationslage zum Betrieb sowie der Anzahl und Leistungsklassen bestehender Rechenzentren ist bereits seit einigen Jahren bekannt und bessert sich. Im Rahmen dieser Studie wird die Entwicklung von IKT-Infrastrukturen über die Zeit betrachtet. Rechenzentren entwickeln sich von der unternehmerischen betrieblichen Tätigkeit hin zu einem Teil der städtischen Infrastruktur.

Der Bau und Betrieb von Rechenzentren wird heutzutage als internationaler (Immobilien-) Markt behandelt, der sich an Standortkriterien orientiert. Aktuell gibt es für Berlin noch keine Standortpolitik für Rechenzentren, die etwa der Gigabit-Strategie für das leitungsgebundene und funkbasierte Zugangnetz entspricht. Internetknoten (Internet Exchange Points) entsprechen in ihrer Bau- und Betriebsweise Rechenzentren. Als essenzieller Teil der IKT-Infrastruktur ist ihre Nähe und Leistungsfähigkeit wiederum selbst ein Standortfaktor im Zusammenhang mit Ansiedlungen.

Folgende Aspekte lassen sich hervorheben:

- **Wachstum und Gesamtenergieverbrauch:** Sämtliche Prognosen und Gesprächspartner gehen davon aus, dass die Digitalisierung den Energieverbrauch durch Rechenzentren selbst bei Ausschöpfung aller Effizienzgewinne weiter erhöhen wird. Abschätzungen, auf welche Anwendungen dies zurückzuführen ist, sind zwar in sich oft plausibel, in der Gesamtsicht aber oft nicht konsistent. Ursachen dafür sind in 4.4.3 genannt. Offen ist im Umkehrschluss auch, wie viel Energie durch das Wegfallen des Hostings von Anwendungen in betrieblichen Serverräumen der Anwender durch Migration in moderne Rechenzentren eingespart wird.
- **Energieverbrauch:** Der Strombedarf von Rechenzentren betrug 2022 in Deutschland Schätzungen zufolge 18 Mrd kWh (etwa 0,55 % des Gesamtenergieverbrauchs). Für Berlin ist die Anzahl der Rechenzentren und deren Stromverbrauch kaum zu ermitteln. Strom ist ein entscheidendes Standortkriterium für Betreiber und hat beispielsweise Amsterdam dazu gebracht, aus Nachhaltigkeitsbedenken einen vorübergehenden Baustopp zu veranlassen, um das Stromnetz zu entlasten. Die Effizienzgewinne durch verbesserte elektrische Komponenten, bauliche Maßnahmen und Betriebsstrategien sind grundsätzlich bekannt und werden von Betreibern sowohl aus Eigeninteresse als auch durch äußeren Druck gehoben. In der Bestandsmodernisierung dürften noch Potenziale liegen, während für Neubauten

die Maßstäbe des EnEfG bereits bei Errichtung gelten. Ob diese wirtschaftlich zu heben sind, ist unklar. Durch das EnEfG sind hier zukünftig mehr belastbarere Informationen sowie konstruktives Feedback zu erwarten.

- **Lokale Energieressourcen und Wärmesenken:**

Bei der Formulierung einer Strategie für die Ansiedlung und den Bestand sind lokale Standortfaktoren wie ausreichend Strom – vorzugsweise aus erneuerbaren Energien – sowie künftig wohl auch potenzielle Abnehmer für Abwärme (Wärmesenken) wesentlich. Die Integration erneuerbarer Energien bedarf dabei geeigneter Speichertechnologien. Bei weitergehenden Untersuchungen der Auswirkungen auf den Berliner Gesamtstromverbrauch sollte die Stromersparnis berücksichtigt werden, die der Wegfall betrieblicher Kleinst-„Rechenzentren“ durch Migration in die Cloud mit sich bringt. Aktuell sind die Potenziale der Abwärmenutzung auf der Ebene der Gesamtstadt nicht zu quantifizieren. Die Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt hat im Jahr 2023 eine Studie zur Bestimmung der Potenziale von Abwärme auf den Weg gebracht. Ein Tool für kontinuierliche Arbeit in diesem Zusammenhang ist der Berliner Energieatlas ([energieatlas.berlin.de](http://energieatlas.berlin.de)).

- **Realisierung von System- und Sektorkopplung:** Bei der Systemkopplung von bestehenden und neuen Rechenzentren mit dem Wärmemarkt oder industriellen Sektoren gibt es Maßnahmen mit unterschiedlicher Effektivität. Beim Matchen der Wärmequelle Rechenzentrum mit den Wärmeabnehmern bedarf es weiterer Überlegung, was als Wärmesenke im niedrigkalorischen Bereich gilt

und wer ein Matching betreiben oder unterstützen kann. Berlin hat beispielsweise viele Bestandsgebäude mit schlechter Dämmung. Im Gebäudebereich könnten so etwa Bestandgebäude oder Einrichtungen bevorzugt werden, deren Dämmung sich nicht wesentlich verbessern lässt und die aktuell mit fossilem Gas beheizt werden. Dies ist auch das Gebiet, in dem die Förderung von Kooperationen vermutlich sinnvolle Unterstützung leisten könnte, um Quartiersprojekte entwickeln und realisieren zu können. Weitere Praxisbeispiele gibt es auf der Bytes2Heat-Plattform ([www.bytes2heat.com/bestpractices](http://www.bytes2heat.com/bestpractices)).

Der nachhaltige Bau und Betrieb von Rechenzentren steht aktuell sowohl einem Informationsproblem hinsichtlich der Integration in den Wärmemarkt als auch neuen Aufgaben hinsichtlich der Standortpolitik gegenüber. Für eine langfristig nachhaltige Standortpolitik sollte eine innerstädtische Neuansiedlung von Rechenzentren ressourcenschonende und soziale Aspekte mit berücksichtigen. Dazu gehören die im EnEfG geregelten Maßnahmen zur Energieeffizienz und unschädlicher Kühlmittel, die Nutzung erneuerbarer Energien und die Nutzung unvermeidbarer Abwärme als auch die Wohnungspolitik. Dieses kann und wird bereits proaktiv in der Branche angegangen und sollte weiter unterstützt werden.

# **Urbane IKT-Infrastrukturen energieeffizient gestalten**

# 6. Fazit

Angesichts langfristiger Zielvorgaben für den Ausbau von IKT-Infrastrukturen waren bisher eher kurzfristig orientierte Umsetzungen zu beobachten, auch wenn die Infrastrukturen für viele Jahre bestehen werden. Bandbreite, Schnelligkeit und Sicherheit des Betriebs von IKT-Infrastrukturen haben insgesamt Priorität gegenüber ihren Energieverbräuchen, auf die der Strompreis eine regulierende Wirkung hat. Kürzer werdende Innovationszyklen in der Technik und die Dynamiken aktueller Märkte sind nicht im Einklang mit dem Zeithorizont traditioneller Stadtplanung. Dennoch besteht über alle IKT-Infrastrukturen hinweg ein Bedarf, lokalen Unternehmen einen Handlungsrahmen zu schaffen, der sowohl Nachhaltigkeitsansprüche der Digitalisierung erfüllt als auch eine wirtschaftliche Umsetzung ermöglicht. Zeit und Timing sind dabei wichtige Faktoren.

Dieses Gesamtfazit gibt wesentliche Schlussfolgerungen der Studie hinsichtlich der Rolle der Energieeffizienz beim Ausbau der IKT-Infrastruktur wieder. Zu den betrachteten IKT-Infrastrukturen gehören das leitungsgebundene Zugangsnetz mit dem Glasfaserausbau, das funkbasierte Zugangsnetz mit dem Ausbau der 5. Generation (5G) Mobilfunk und Rechenzentren, letztere auch mit Blick auf die mögliche Nutzung ihrer Abwärme mit Beispielen in Berlin. Mögliche Energieeinsparung in anderen Bereichen durch die Digitalisierung, also durch die Nutzung der IKT-Infrastruktur, war nicht Gegenstand dieser Studie. Die vorangegangenen Kapitel bieten ein eigenes Zwischenfazit für jede Infrastruktur (S. 34 für Glasfaser, S. 55 für 5G-Mobilfunknetze und S. 80 für Rechenzentren).

## Vergleichsszenarien zur Energieeffizienz

IKT-Infrastrukturen erfüllen die Funktionen der Datenübertragung, der Datenverarbeitung, der Datenspeicherung und der Datenweiterleitung (in Internetknoten bzw. Internet Exchange Points). Der Energieverbrauch für die Datenübertragung (etwa durch Glasfaserkabel oder 5G-Funkzellen) ist insgesamt relativ gering im Vergleich zu dem der Datenverarbeitung und -speicherung in eigens dafür geschaffenen Rechenzentren. Bei den leitungsgebundenen Techniken ist dabei der Energieverbrauch geringer als beim Mobilfunk. Die Datenvisualisierung findet durch die Endgeräte statt, welche hier nicht mit einbezogen wurden und relativ viel Energie verbrauchen.

Jede Teilinfrastruktur hat spezifische Funktionen für eine zuverlässige Internetnutzung und ihre essenzielle Daseinsberechtigung. Vergleiche der jeweiligen Energieverbräuche stellen also kein Entweder-Oder-Szenario dar. Sie geben vielmehr Auskunft darüber, wo hinsichtlich einer ressourcenschonenden Digitalisierung erfolgversprechende Gestaltungsmöglichkeiten bestehen (im politischen Sinne) und wo weitere technologische Innovationssprünge wünschenswert wären.

Angesichts des relativ hohen Stromverbrauchs von Endgeräten kommen Studien durch ihr Mit-einbeziehen oder Ausklammern zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Ob Endgeräte zur IKT-Infrastruktur gehören oder nicht, wird derzeit als Ansichtssache gesehen. Da sich die Funktionen, Anwendungen und auch Energieverbräuche gegenseitig beeinflussen, sollte die Koevolution kompatibler Endgeräte zukünftig grundsätzlich miteinbezogen werden.

## Effizienzaspekt Auslastung der Infrastruktur

Bezüglich der Infrastrukturen ist darauf hinzuweisen, dass es Infrastrukturen gibt, die “always on“ sind oder sein müssen, und solche, die lastabhängig betrieben werden können. Besonders 5G hat mit seinem „Baukastencharakter“ als auch im laufenden Betrieb die Möglichkeit lastadaptiv zu sein. Bei den Rechenzentren ist die Entstehung unvermeidbarer Abwärme der Auslastung der Server zuzuordnen und ein zeitlicher Aspekt. So müssen Internetknoten für den Datendurchfluss konstant Leistung erbringen, während Cloud-Rechenzentren in ihrer Auslastung und Wärmeentwicklung abhängig von den Nutzungszeiten schwanken können.

## Relative Energieeffizienz und Gesamtenergieverbrauch

Bisherige Entwicklungen haben bereits beachtliche Effizienzsprünge, vor allem durch die Halbleitertechnik und Photonik, gemacht. Hier sind abnehmende Effizienzgewinne zu beobachten, hin zu einer Abschwächung von Moore’s Law. Eine weitere Optimierung der bestehenden Technologien führt langfristig zu abnehmendem Grenznutzen der eingesetzten Arbeit in Relation zu den gewünschten Effekten.

Der Mobilfunk und das Festnetz profitieren aktuell von weiteren Verbesserungen der spektralen Effizienz (Bandbreiteneffizienz), welche sich in relativer Energieeffizienz widerspiegelt. Alle gesichteten Studien und Gespräche deuten eindeutig darauf hin, dass sich die Energieverbräuche der IKT-Infrastrukturen insgesamt

weiter erhöhen werden. Aussagen zur Energieeffizienz von 5G, basierend auf der relativen Energieeffizienz, sind bezüglich zukünftiger Umweltauswirkungen teilweise irreführend.

## Bandbreite über Energieverbrauch

Blickt man zurück, so ist die Genehmigung des Vectorings beim leitungsgebundenen Zugangnetz ein Beispiel für eine politische Entscheidung, die einen technischen Innovationssprung bzw. Generationswechsel (von kupferbasierten Kabeln auf Glasfaser) erstmal hinausgezögert hat. Die vorhandene Infrastruktur wurde kostengünstig erweitert und unter höherem Energieaufwand hinsichtlich der Datenübertragungsgeschwindigkeit (durch Rauschreduzierung) optimiert. Das Vectoring illustriert ein Phänomen, welches weiterhin in der Branche zu beobachten ist. So werden relativ kostengünstige Neukonfigurationen der IKT-Infrastruktur orientiert an der Erhöhung der Geschwindigkeit und der Bandbreite (und nicht orientiert an der Reduzierung des Ressourcen- oder Energieverbrauchs) vorgenommen.

## Informationsprobleme und Fallstudien

Der Ausbau von Rechenzentren hat deutlich gemacht, dass die Branche nach der Verabschiedung des EnEfG in 2023 aktuell vor der Herausforderung steht, die Digitalisierung enger mit der Energie- und Wärmewende zu verbinden. Unter anderem geht es hier um die Nutzung unvermeidbarer Abwärme aus Rechenzentren und deren Integration in den Wärmemarkt. Diese neuartige Form der System- und Sektorkopplung steht zunächst vor einem Informationsproblem,

welches Koordination, Best-Practice-Beispiele, Wissen aus der Gebäudetechnik sowie – angesichts ambitionierter Ziele – einen taktischen Rahmen zur Umsetzung braucht. Sinnvolle Maßnahmen können bei Neuerrichtungen und bei der Bestandsmodernisierung unterschiedlich sein. Die Bytes2Heat-Plattform ([www.bytes2heat.com](http://www.bytes2heat.com)) bietet beispielsweise Tools und Informationen, die sowohl bei der Umsetzung unterstützen sowie weitere Gesprächsbedarfe und Handlungsfelder aufdecken.

## Standortpolitik und taktisches Vorgehen

Berlin hat aktuell keine Standortpolitik für Rechenzentren und die Nutzung ihrer Abwärme. Der Ausbau von Rechenzentren wird aktuell als internationaler (Immobilien-) Markt behandelt, in dem Deutschland aufgrund relevanter Standortkriterien als eher zweitrangig angesehen wird. Berlin hat als Standort eine Sogwirkung innerhalb des internationalen Marktes und könnte hier, weniger auf quantitativer und mehr auf qualitativer Ebene, eine internationale Vorreiterfunktion für den nachhaltigen Bau und Betrieb von Rechenzentren einnehmen.

Abhängig von der lokalen Umsetzung könnte die Abwärme nicht nur genutzt, sondern die Art und Weise der Sektor- und Systemkopplung auch einen Beitrag zur Unabhängigkeit von fossiler Energie leisten. Gleichzeitig ist klar darauf zu verweisen, dass bei Entscheidungen über neue Immobilienprojekte im städtischen Umfeld der Rechenzentrentrumsmarkt und der Wohnungsmarkt in Konkurrenz gelangen könnten. Angesichts dieser Immobilienmarktentwicklungen und der Zielvorgaben des EnEfG braucht es ein proaktives taktisches Vorgehen mit der Bereitschaft,

Informationen sowie Bedenken zu teilen und Best Practices auszutauschen.

## Geografische Ineffizienzen

Der aktuelle Ausbau der Berliner Zugangsnetze nächsten Generation geht voran. Er zeigt dabei deutliche Ungleichheiten in der Versorgung der Flächen. Beim leitungsgebundenen Zugangsnetz ist aktuell durch den Doppelausbau eine relative Überbereitstellung von Glasfaseranschlüssen in bereits versorgten Gebieten zu beobachten und eine relative Unterversorgung von Gebieten mit geringer Siedlungsdichte. Lokale Initiativen und Carriermodelle könnten Unterversorgungen unter Mehraufwand ausgleichen. Baustellenkoordination und Kundeninformationen sind dabei wichtige Punkte. Das Gigabit-Portal Berlin ([gigabit.berlin.de](http://gigabit.berlin.de)) bietet hier wesentliche Unterstützung, die Bedarfe zu vermitteln und umfangreich zu informieren.

Beim funkbasierten Zugangsnetz greift die Gigabit-Strategie des Bundes, erst die Funklöcher zu beheben und an zweiter Stelle den aktuellen Mobilfunkstandard umzusetzen. Dabei hat diese Studie weder erhoben noch eingeschätzt, welche Gebiete etwa mit 5G NSA (Aufrüstung) oder 5G SA (Vollversion) versorgt werden, noch welchen realen Einfluss dies auf deren Energieverbrauch haben könnte. Es werden deutschlandweit drei parallele Mobilfunknetze betrieben und ausgebaut. Der ressourcenschonende Einsatz von Hardware-Komponenten ist hier ein Thema, welches bisher eher geringe Aufmerksamkeit bekommen hat.

# Anhang

# Gesprächs- partner:innen

An dieser Stelle bedanke ich mich herzlich für alle Gespräche, Kontakte und Ressourcen, die zu dieser Studie beigetragen haben. Besonderer Dank gilt dabei folgenden Personen:

Stefanie Bauling, Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe, Berlin

Roland Broch, eco – Verband der Internetwirtschaft e.V.

Steffen David, I/B/P Internet Provider in Berlin GmbH

Artur Faust, greenDCision GmbH

Ralf Hintemann, Borderstep Institut gGmbH

Jens Lietzmann, BCIX Management GmbH

Stefan Mink, IONOS

Michael Pemp, Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe, Berlin

Martin Schell, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut (HHI)

Frank Schramm, Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe, Berlin

Frederike Steddin, Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF)

Béla Waldhauser, Telehouse Deutschland GmbH

Den Vertreter:innen der Vattenfall Eurofiber, der Telekom und der Tiefbauunternehmen beim Besuch der Glasfaserbaustellen

Christian Hammel und den Kolleg:innen bei der Technologiestiftung Berlin

Ich freue mich langfristig über weiteren Austausch, spontane Rückmeldungen und Gedanken dazu, ob persönlich oder per Email: [gabriele.schliwa@ts.berlin](mailto:gabriele.schliwa@ts.berlin).

# Ausgewählte Literatur

BMWi (2020). Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz Erkenntnisse aus Forschung und Praxis. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Herausgeber).

[www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/schwerpunktstudie-digitalisierung-energieeffizienz.pdf)

Bundesnetzagentur (o.J.). Mobiles Breitband.

[www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Telekommunikation/Frequenzen/OeffentlicheNetze/Mobilfunknetze/mobilfunknetze-node.html)

Bytes2Heat (2023). Bytes2Heat Plattform.

[www.bytes2heat.com](http://www.bytes2heat.com)

Bytes2Heat Plattform (2023). Bytes2Heat Wärmeabnehmer Flyer. IER Universität Stuttgart.

Cushman and Wakefield (2020). European secondary markets: The growth story for the new decade. Global Data Center Advisory Group.

Dunkelberg, E.; Weiß, J., Maaß, C., Möhring, P., Sakhel, A. (2021): Entwicklung einer Wärme-strategie für das Land Berlin. Kurzfassung. Studie im Auftrag des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz; Berlin.

[www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/waermestrategie/](http://www.berlin.de/sen/uvk/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/waermestrategie/)

Dt. Bundestag (2021). Sachstand – Energieverbrauch von Rechenzentren. WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung. WD 8 - 3000 - 070/21.

eco Verband (2023) Digitale Transformation für mehr Nachhaltigkeit: Positive Effekte digitaler Technologien und Infrastrukturen auf die Klimabilanz von Wirtschaft und Gesellschaft.

[www.eco.de/jointhesolution/jts-studie/](http://www.eco.de/jointhesolution/jts-studie/)

Ericsson (2022). Breaking the energy curve—A key building block for a Net Zero future.

[www.ericsson.com/en/about-us/sustainability-and-corporate-responsibility/environment/product-energy-performance](http://www.ericsson.com/en/about-us/sustainability-and-corporate-responsibility/environment/product-energy-performance)

Fraunhofer. (2018). 5G – Netze und Sicherheit. Positionspapier der Fraunhofer-Gesellschaft.

[www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/artikel/2018/5G-die-zukunft-im-netz/5G-Netze-und-Sicherheit\\_Fraunhofer-Positionspapier.pdf](http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/forschung/artikel/2018/5G-die-zukunft-im-netz/5G-Netze-und-Sicherheit_Fraunhofer-Positionspapier.pdf)

Graham, S., und Thrift, N. (2007). Out of Order: Understanding Repair and Maintenance. Theory, Culture & Society, 24(3), 1-25.

[doi.org/10.1177/0263276407075954](https://doi.org/10.1177/0263276407075954)

Graham, S., und Marvin, S. (2001). *Splintering Urbanism: Networked Infrastructures, Technological Mobilities and the Urban Condition* (1. Ed.). Routledge.

[doi.org/10.4324/9780203452202](https://doi.org/10.4324/9780203452202)

Gigabit-Portal Berlin (2021). *Gigabit-Strategie Berlin*. Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe.

[www.berlin.de/gigabitstrategie/gigabit-strategie/](http://www.berlin.de/gigabitstrategie/gigabit-strategie/)

Hackenberg, D. (2021). *Ein Beitrag zum energie- und kostenoptimierten Betrieb von Rechenzentren mit besonderer Berücksichtigung der Separation von Kalt- und Warmluft*. Dissertation. TU Dresden.

[tud.qucosa.de/api/qucosa%3A77844/attachment/ATT-0/](http://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A77844/attachment/ATT-0/)

Hintemann, R. (2020). *Energiebedarf der Rechenzentren steigt trotz Corona weiter an*. Borderstep Institut.

[www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep\\_Rechenzentren2020\\_20210301\\_final.pdf](http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf)

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

JLL Immobilienberatung (2021). *Rechenzentren in Deutschland Marktüberblick Deutschland: Hotspot Frankfurt – Leitthema Nachhaltigkeit*. JLL Immobilienberatung Research Deutschland.

Koomey, J. und Naffziger, S. (2015). *Moore's Law might be slowing down but not energy efficiency*. IEEE Spectrum, 31 Mar 2015.

Laidler, P., & Bamforth, M. (2021). *Why energy management is critical to 5g success*. STIL Partners und Vertiv.

Morozov, E. (2020). *The Huawei war*. Le Monde Diplomatique. November 2020.

[mondediplo.com/2020/11/10huawei](https://mondediplo.com/2020/11/10huawei)

Stobbe, L., Proske, M., Zedel, H., Hintemann, R., Clausen, J. & 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.

TAB. (2022). *Grünwald, R. und Caviezel, C. (Projektleiter), Energieverbrauch der IKT-Infrastrukturen in Deutschland*. Endbericht zum TA-Projekt. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.

[www.tab-beim-bundestag.de/projekte\\_energieverbrauch-der-ikt-infrastruktur](http://www.tab-beim-bundestag.de/projekte_energieverbrauch-der-ikt-infrastruktur)

THM (2022). Obermann, K. (Verfasser), Breko-Studie: Nachhaltigkeitsvergleich Internet Zugangsnetz-Technologien. Technische Hochschule Mittelhessen.

[www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten\\_thm\\_nachhaltigkeit\\_zugangs-technologien.pdf](http://www.brekoverband.de/site/assets/files/18892/gutachten_thm_nachhaltigkeit_zugangs-technologien.pdf)

UBA (2020) Factsheet Klimawirkung von Videostreaming & Co. Umweltbundesamt.

[www.umweltbundesamt.de/dokument/factsheet-klimawirkung-von-videostreaming-co](http://www.umweltbundesamt.de/dokument/factsheet-klimawirkung-von-videostreaming-co)

UBA (2021). Gröger, J., Ran Liu, Stobbe, L., Druschke, J., Richter, N. (Autoren). Abschlussbericht Green Cloud-Computing Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Texte 94/2021. Umweltbundesamt.

[www.umweltbundesamt.de/publikationen/green-cloud-computing](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/green-cloud-computing)

UBA (2023). Stobbe, L., Richter, N., Quaeck, M., Knüfermann, K., Druschke, J., Fahland, M., Höller, V.W., Wahry, N., Zedel, H., Kaiser, M., Hoffmann, S., Töpfer, M. und Nissen N. (Autoren) Abschlussbericht Umweltbezogene Technikfolgenabschätzung Mobilfunk in Deutschland Projekt UTAMO. Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, IZM. Umweltbundesamt (Herausgeber).

[www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte\\_26-2023\\_umweltbezogene\\_technikfolgenabschaetzung\\_mobilfunk\\_in\\_deutschland.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_26-2023_umweltbezogene_technikfolgenabschaetzung_mobilfunk_in_deutschland.pdf)

Queder, F., Stronzik, M. und Wernick, C. (2019). Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTX Infrastrukturen in Europa. WIK Diskussionsbeitrag, No. 442, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef.

Die hier und in den Fußnoten angegebenen Web-Links wurden zuletzt im November 2023 abgerufen.





Die **Technologiestiftung Berlin** ist eine unabhängige und gemeinnützige Stiftung bürgerlichen Rechts. An der Schnittstelle von Zivilgesellschaft, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung engagieren wir uns für innovative Stadtentwicklung und fördern die Entwicklung Berlins zu einem bedeutenden Technologiestandort. Die Stiftung veröffentlicht regelmäßig Analysen und Reports, organisiert Workshops und Veranstaltungen und entwickelt Werkzeuge, um den digitalen Wandel der Hauptstadt zu gestalten.

**Dr. Gabriele Schliwa** ist Humangeografin und arbeitet seit 2023 als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der Technologiestiftung Berlin im Bereich Innovation Policies und Research. Ihre Forschung verbindet Theorie und Praxis mit Schwerpunkten im Wandel städtischer Mobilitäts- und Telekommunikations-Infrastruktur und in Methoden für die öffentliche Teilhabe sowie der Einbindung von Nutzern in der Technologieentwicklung. Zu ihren weiteren beruflichen Tätigkeiten gehörten die Forschung und Lehre in Urban Governance an der Universität Utrecht sowie wissenschaftliche Mitarbeit in EU-geförderten Innovationsprojekten und im Bereich Regenerative Energien der dena. Gabriele Schliwa studierte Betriebswirtschaftslehre (Universität Münster), Environmental Management and Policy (Universität Lund) und promovierte an der Universität Manchester, UK.

## Impressum

Technologiestiftung Berlin 2023  
 Grunewaldstraße 61-62  
 10825 Berlin  
 Telefon +49 30 209 69 99 0  
[info@technologiestiftung-berlin.de](mailto:info@technologiestiftung-berlin.de)  
[technologiestiftung-berlin.de](http://technologiestiftung-berlin.de)

### Autorin

Gabriele Schliwa

### Redaktionsschluss

November 2023

### Layout

Anja Bender, Technologiestiftung Berlin

### Satz & Grafiken

Ann Christin Sievers

### Druck

LM Druck + Medien GmbH

### Abbildungen

Coverbild: Unsplash / Jonathan Hanna  
 Screenshots: jeweilige Quelle  
 S.92: Unsplash / Andrii Bondarenko  
 Alle Bilder ohne Quellenangabe: Schliwa, 2023

### Inhaltsrechte

Textinhalte, Diagramme und Tabellen dieses Werkes können genutzt und geteilt werden unter einer Creative Commons – Lizenz Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Deutschland



### Nähere Informationen

[creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de)

Als Namensnennung ist anzugeben:  
 Gabriele Schliwa, Digitalisierung unter Strom,  
 Technologiestiftung Berlin, 2023.  
 Abbildungen und Tabellen: Schliwa, 2023 unter  
 Einbeziehung der jeweiligen Quellen.

### Publikation als PDF

[technologiestiftung-berlin.de/downloads/ikt\\_infrastruktur](http://technologiestiftung-berlin.de/downloads/ikt_infrastruktur)

### Bleiben Sie auf dem Laufenden

Abonnieren Sie unseren Newsletter oder folgen Sie uns auf X und LinkedIn:

 [x.com/TSBBerlin](https://x.com/TSBBerlin)

 [linkedin.com/company/technologiestiftung/](https://linkedin.com/company/technologiestiftung/)

### Gender Hinweis

Die Autorin weiß um die Bedeutung einer geschlechtergerechten Sprache und befürwortet grundsätzlich den Gebrauch von Parallelformulierungen. Von einer durchgehenden Benennung beider Geschlechter bzw. der konsequenten Verwendung geschlechterneutraler Bezeichnungen wurde im vorliegenden Text dennoch abgesehen, weil die Lesbarkeit deutlich erschwert würde.

### Förderungen

Dieses Projekt wurde von der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Energie und Betriebe und der Investitionsbank Berlin aus Mitteln des Landes Berlin gefördert.





