

KURZSTUDIE

# Rechenzentren in Bayern: Ökologische Nachhaltigkeit - zukunftsgerichtete Standortpolitik

Dr. Ralph Hintemann

Simon Hinterholzer

Isabel Merz



# IMPRESSUM

## KURZTITEL

Rechenzentren in Bayern 2023

## AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Ralph Hintemann (Borderstep Institut)

**M** [hintemann@borderstep.de](mailto:hintemann@borderstep.de)

Simon Hinterholzer (Borderstep Institut)

**M** [hinterholzer@borderstep.de](mailto:hinterholzer@borderstep.de)

Isabel Merz (Borderstep Institut)

**M** [merz@borderstep.de](mailto:merz@borderstep.de)

## PROJEKTDURCHFÜHRUNG

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH

Dr. Ralph Hintemann

Clayallee 323 | 14169 Berlin | +49 30 306 45 1000 | [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)

## ZITIERVORSCHLAG

Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Merz, I. (2023). Rechenzentren in Bayern: Ökologische Nachhaltigkeit - zukunftsgerichtete Standortpolitik. Im Auftrag der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN im Bayerischen Landtag. Berlin: Borderstep Institut.

# INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	II
Inhaltsverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	IV
Glossar.....	V
Executive Summary .....	1
<b>1 Zielsetzung und Fragestellungen der Studie .....</b>	<b>2</b>
<b>2 Rechenzentrumsmarkt in Bayern – eine Standortbestimmung .....</b>	<b>4</b>
2.1 Überblick.....	4
2.2 Aktuelle Entwicklung des bayerischen Rechenzentrumsmarktes .....	5
2.3 Vertiefende Betrachtung ausgewählter Marktsegmente .....	7
2.4 Bedeutung des Rechenzentrumsmarkts in Bayern im nationalen und internationalen Kontext 10	
2.5 Standortfaktoren für Rechenzentren in Bayern.....	13
2.6 Prognose der zukünftigen Entwicklung des bayerischen Rechenzentrumsmarktes.....	14
<b>3 Ökologische Nachhaltigkeit der Rechenzentren in Bayern.....</b>	<b>16</b>
3.1 Energiebedarf und Treibhausgasemissionen .....	16
3.2 Weitere Umweltwirkungen .....	18
3.3 Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der Rechenzentren in Bayern....	23
<b>4 Handlungsempfehlungen für eine zukunftsgerichtete Standortpolitik für Rechenzentren in Bayern .....</b>	<b>30</b>
4.1 Handlungsfelder für einen bayerischen Weg zum nachhaltigen Rechenzentrumsstandort ...	30
4.2 Handlungsempfehlungen für eine zukunftsorientierte Standortpolitik.....	31
<b>Anhang: Hinweise zur Methodik der Studie .....</b>	<b>35</b>
<b>Literatur.....</b>	<b>37</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 (gemessen in IT-Anschlussleistung) .....	6
Abbildung 2: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 (gemessen in IT-Fläche) .....	7
Abbildung 3: Unterscheidung von verschiedenen Typen von Rechenzentren .....	8
Abbildung 4: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 mit Unterscheidung Cloud Rechenzentren, traditionelle Rechenzentren und Edge Rechenzentren (gemessen in IT-Anschlussleistung) .....	9
Abbildung 5: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 mit Anteil Colocation-Rechenzentren (gemessen in IT-Anschlussleistung) in Bayern .....	10
Abbildung 6: Entwicklung der weltweiten Serververkäufe .....	11
Abbildung 7: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten (gemessen in IT-Anschlussleistung) in Deutschland mit Unterscheidung Cloud-Rechenzentren, traditionelle Rechenzentren und Edge-Rechenzentren in den Jahren 2010 bis 2020 und Prognose bis 2025 .....	12
Abbildung 8: Standortfaktoren für Rechenzentren – Einschätzung von Rechenzentrumsexperten zur Bedeutung (links) und zur Bewertung des Standorts Deutschland (rechts).....	13
Abbildung 9: Mögliche Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren bis 2030 in Bayern in drei Szenarien.....	15
Abbildung 10: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 .....	16
Abbildung 11: Entwicklung der durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern verursachten Treibhausgasemissionen in den Jahren 2010 bis 2022 (mit deutschem Strommix) .....	18
Abbildung 12: Abschätzung der Entwicklung des Elektronikmaterials in bayerischen Rechenzentren und kleinen IT-Installationen in den Jahren 2015 bis 2022 .....	20

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Best Practices Nachhaltige Rechenzentren Bayern.....	23
Tabelle 2: Best Practices Noris Network Rechenzentrum Nürnberg Süd .....	24
Tabelle 3: Best Practices Universität Passau „Bavarian Green Data Center“.....	24
Tabelle 4: Best Practices LEW Telnet LEW Green Data Center .....	25
Tabelle 5: Best Practices Land Bayern: Neubau des staatlichen Rechenzentrums.....	25
Tabelle 6: Best Practices Hartl Group IT-Zentrum 1.....	26
Tabelle 7: Best Practices Equinix MU 4 .....	26
Tabelle 8: Best Practices Bayrische Akademie der Wissenschaften Leibniz Rechenzentrum.....	27
Tabelle 9: Best Practices Hypo-Vereinsbank Rechenzentrum .....	27
Tabelle 10: Best Practices IGN Rechenzentrum .....	28
Tabelle 11: Best Practices EMC - Home of Data “München Rechenzentrum 1” .....	28
Tabelle 12: Best Practices Blue DC des Zweckverbandes Laber-Naab .....	29

## GLOSSAR

Adiabate Kühlung	Bei der Adiabaten Kühlung wird Wasser zum Verdunsten gebracht, wodurch es der Luft Wärme entzieht. Es wird unterschieden zwischen direkter und indirekter Verdunstungskühlung. Bei der direkten Kühlung wird der einströmenden Außenluft Feuchtigkeit hinzugefügt. Die indirekte Kühlung benutzt einen Befeuchter um die Abluft zu kühlen. Durch einen Wärmetauscher wird mit dieser gekühlten Luft die einströmende Außenluft gekühlt (Klingenburg GmbH, o. J.). Die adiabate Kühlung ist deutlich energieeffizienter als eine konventionelle Kühlung mit Hilfe von Kompressionskältemaschinen, da hier nur Energie für das Hinzufügen von Wasser zur Außenluft notwendig ist.
ATES	Aquifer Thermal Energy Storage - Speicherung und Rückgewinnung von Wärmeenergie im Untergrund.
Cloud Computing	Cloud Computing bezeichnet den Ansatz, IT-Ressourcen wie Speicherplatz, Rechenleistung oder Anwendungssoftware über das Internet als Dienstleistung zur Verfügung zu stellen.
Colocation Rechenzentrum	Rechenzentrum, in dem ein Anbieter seinen Kunden Rechenzentrumsfläche und Versorgungsinfrastruktur bereitstellt. Die IT-Geräte sind aber im Besitz des Kunden.
Cool-Wall Technik	Großflächige, wasserdurchströmte Wärmetauschermodule dienen als Trennwand zwischen IT-Raum und Servicegang zur Kühlung und ermöglichen eine effiziente Kühlung des Rechenzentrums.
Corporate Rechenzentrum	Rechenzentrum eines Unternehmens oder einer Behörde, das für eigene Zwecke betrieben wird.
Edge Datacenter	Edge-Datacenter sind IT-Installationen, die sich am Edge (am Rand bzw. dezentral) eines Netzwerkes befinden. Sie nutzen die gleichen Geräte wie Rechenzentren, sind meist kleiner als konventionelle Rechenzentren, befinden sich näher am „Endkunden/Client“ und bieten damit geringe Latenzzeiten und eine lokale Datenverarbeitung.
Grundwasserkühlung	Bei der Grundwasserkühlung wird einem Saugbrunnen das Grundwasser entnommen, gefiltert und dann in den primären Kühlkreislauf gepumpt. Der primäre Kühlkreislauf führt an Wärmetauschern vorbei und leitet dann das Grundwasser über einen Schluckbrunnen wieder zurück. Ein sekundärer Kreislauf wird durch den Wärmetauscher gekühlt und speist das Klimasystem. Ein Vorteil ist, dass das Grundwasser ganzjährig eine weitgehend konstante Temperatur besitzt (Nowitzky, 2012).
Hyperscale-Cloud-Anbieter	Hyperscale-Cloud-Angebote sind IT-Installationen im Bereich Cloud Computing, bei denen massive Skalierungen möglich ist. Solche Angebote gibt es von sehr großen internationalen IT-Dienstleistungsunternehmen. Die

	größten Hyperscale-Cloud-Anbieter sind Amazon Web Services, Microsoft und Google.
Indirekte Verdunstungskühlung	siehe Adiabate Kühlung.
Inline-Air-Cooling	Effizientes Kühlsystem, bei denen die Kühlgeräte über dem Rack angeordnet sind.
IT-Fläche	Die IT-Fläche ist die Fläche innerhalb von Rechenzentren, die für das Aufstellen von IT-Equipment wie Server, Speichersysteme und Netzwerkkomponenten zur Verfügung steht.
IT-Anschlussleistung	Mit IT-Anschlussleistung von Rechenzentren ist in der vorliegenden Studie die maximale Stromaufnahme der tatsächlich in den Rechenzentren installierten Hardware gemeint.
Kapazitäten von Rechenzentren	In der vorliegenden Studie werden die Kapazitäten der Rechenzentren in IT-Anschlussleistung bzw. IT-Fläche angegeben.
KyotoCooling	Besondere Bauart eines Luft-/Luftwärmetauschers. Ein sich langsam drehendes und mehrere Meter im Durchmesser umfassendes Kyoto-Rad wird als Wärmetauscher genutzt, um mit Außenluft die erwärmte Luft aus dem Rechenzentrum effizient zu kühlen.
On-Premise-Rechenzentrum	Rechenzentrum, das sich in eigenen Räumlichkeiten befindet.
PUE	Power Usage Effectiveness: Der Wert der Power Usage Effectiveness (PUE-Wert) gibt das Verhältnis des Jahresenergiebedarfs des gesamten Rechenzentrums zum Jahresenergiebedarf der IT des Rechenzentrums an.
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung.

## EXECUTIVE SUMMARY

Die vorliegende Studie gibt erstmals einen Überblick über die Entwicklung des bayerischen Rechenzentrumsmarktes und über seine Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit in Bayern. Damit wird eine Grundlage geschaffen, auf Landesebene eine gezielte Politik zu betreiben, die einerseits in Bayern eine leistungsfähige Rechenzentrumsinfrastruktur als Basis für eine (nachhaltige) Digitalisierung schafft, andererseits aber auch sicherstellt, dass der ökologische Fußabdruck der Rechenzentren in Bayern möglichst gering ist.

Die durchgeführten Recherchen zeigen, dass der Rechenzentrumsmarkt in Bayern deutlich wächst. Zwischen 2010 und 2022 sind die Kapazitäten in den bayerischen Rechenzentren um 70 % angestiegen. Auch für die Zukunft ist ein weiteres Wachstum im Markt zu erwarten. Setzen sich die aktuellen Trends weiter fort, so steigen die Kapazitäten bis zum Jahr 2030 um weitere 40 % an. Das Marktwachstum ist im Wesentlichen durch die deutliche Ausweitung der Kapazitäten von Cloud-Rechenzentren begründet.

Im bundesdeutschen Vergleich ist Bayern nach Hessen und Berlin aktuell einer der gefragtesten Rechenzentrumsstandorte in Deutschland. Standortvorteile des bayerischen Marktes werden insbesondere in den geringen Risiken für Überschwemmungen und Erdbeben und in der leistungsfähigen Wirtschaft gesehen. Da große internationale Betreibende von Rechenzentren sich in Deutschland aktuell vor allem auf die Bundesländer Hessen und Berlin konzentrieren, wachsen die Kapazitäten der Rechenzentren an diesen Standorten zurzeit aber deutlich schneller als Bayern.

Mit den wachsenden Kapazitäten der Rechenzentren geht – trotz erheblicher Effizienzsteigerungen in der Vergangenheit – auch ein Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren in Bayern einher. Zwischen 2010 und 2022 stieg dieser Energiebedarf um 40 % auf 2.700 Gigawattstunden im Jahr. Das sind etwa 3,5 % des bayerischen Strombedarfs.

Aufgrund ihres hohen Energiebedarfs ist eine klimafreundliche Stromproduktion für Rechenzentren ein wesentlicher Hebel, ihren ökologischen Fußabdruck zu reduzieren. Neben dem Energiebedarf und den durch Rechenzentren verursachten Treibhausgasemissionen sind auch der Material-, Wasser- und Flächenbedarf wesentliche Umweltwirkungen von Rechenzentren. Eine Möglichkeit, den ökologischen Fußabdruck von Rechenzentren zu verbessern, ist die Nutzung der in den Rechenzentren erzeugten Abwärme. Damit kann ein Beitrag geleistet werden, die Wärmeversorgung in Bayern klimafreundlicher zu gestalten.

Um Bayern als Standort für Rechenzentren attraktiv zu halten und gleichzeitig sicherzustellen, dass der Bau und Betrieb von Rechenzentren in Bayern ökologisch nachhaltig erfolgt, wurden fünf Handlungsfelder identifiziert:

- ▶ Unterstützung der Landkreise und Kommunen bei Projekten zur Ansiedlung von Rechenzentren und bei der Förderung eines nachhaltigen Betriebs von Rechenzentren
- ▶ Unterstützung der Rechenzentrumsbranche durch die Verbesserung der Standortbedingungen und durch die Anreize für den ökologisch nachhaltigen Bau und Betrieb von Rechenzentren
- ▶ Förderung der Forschung und Entwicklung zum nachhaltigen Betrieb von Rechenzentren
- ▶ Ausbau der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien im Freistaat Bayern
- ▶ Ökologische Modernisierung der landeseigenen IT und Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung auf ökologische Nachhaltigkeit



## 1 Zielsetzung und Fragestellungen der Studie

Leistungsfähige Digitale Infrastrukturen sind eine Grundlage für Fortschritt und Innovationen. Das gilt insbesondere für technologieorientierte Bundesländer wie den Freistaat Bayern. Die Digitalisierung kann deutlich dazu beitragen, die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Gleichzeitig erfordert der Ausbau digitaler Infrastrukturen einen zunehmenden Bedarf an natürlichen Ressourcen (WBGU, 2019). Um einerseits Fortschritte bei der Bewältigung der Nachhaltigkeits Herausforderungen zu unterstützen und insbesondere mehr Klimaschutz zu realisieren und andererseits aber auch die digitalen Ökosysteme selbst so nachhaltig wie möglich zu betreiben, braucht die Digitalisierung eine entsprechende Rahmensetzung.

Trotz der enormen Bedeutung von Rechenzentren für die Digitalisierung ist allerdings das Wissen um die Strukturen und die Entwicklungen im Rechenzentrumsmarkt verhältnismäßig gering. Zur Anzahl und Größenstruktur der Rechenzentren in Deutschland gibt es nur wenige Untersuchungen (z. B. Hintemann, 2017; Hintemann & Clausen, 2014; Hintemann, Fichter, & Stobbe, 2010; Hintemann, Graß, Hinterholzer, & Grothey, 2022; L. Stobbe et al., 2009; Lutz Stobbe et al., 2015; TU Berlin IZE, 2008). Auch für einzelne Bundesländer existieren bisher kaum Untersuchungen zum regionalen Rechenzentrumsmarkt (z. B. EcoRZ, 2020; Hintemann & Clausen, 2016, 2018; Hintemann, Clausen, Becker, & Hinterholzer, 2021; Hintemann, Hinterholzer, & Grothey, 2022).

Eine Untersuchung des Borderstep Instituts zur regionalen Verteilung hat gezeigt, dass sich die deutschen Rechenzentrumskapazitäten aktuell im Bundesland Hessen im Raum Frankfurt Rhein/Main konzentrieren. Die Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Bayern folgen, gemessen an den installierten Rechenzentrumskapazitäten, auf den Plätzen zwei und drei.

Aktuell ist eine sehr hohe Dynamik in der Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes festzustellen. Die zunehmende Digitalisierung erfordert immer mehr Rechenleistung in Rechenzentren. Insbesondere große neue Cloud-Rechenzentren werden errichtet. Gab es bis vor fünf Jahren in Deutschland nur wenige Rechenzentren mit maximalen Anschlussleistungen von 5 Megawatt (MW) oder höher, werden aktuell immer mehr Rechenzentren projektiert, deren max. Leistungsaufnahme über 20 MW beträgt. Einige Neubauprojekte erreichen sogar max. Leistungsaufnahmen, die deutlich oberhalb von 100 MW liegen.

Auch in Bayern ist ein Trend zum Ausbau der Rechenzentrumskapazitäten zu verzeichnen (Hintemann, Graß, et al., 2022). Es werden hier zunehmend Großrechenzentren mit Leistungsaufnahmen bis in den zweistelligen MW-Bereich geplant, gebaut und betrieben. Insbesondere in München wird auch in der Zukunft ein deutliches Wachstum erwartet. In einer Befragung von Expertinnen und Experten liegt München nach Frankfurt und Berlin auf dem dritten Platz, was die Zunahme der künftigen Bedeutung als Rechenzentrumsstandort angeht (Hintemann, Graß, et al., 2022).

Insgesamt kann festgestellt werden, dass im Freistaat Bayern aktuell eine hohe Dynamik im Rechenzentrumsmarkt festzustellen ist. Detaillierte Informationen zu den Entwicklungen und ihren Auswirkungen auf den Standort sowie auf die Nachhaltigkeit stehen aber bislang nicht zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der Studie, die Informationslage zu Rechenzentren in Bayern zu verbessern. Im Einzelnen sollen in der Studie folgende Fragestellungen behandelt werden:

## **A Standortbestimmung des Rechenzentrumsmarktes in Bayern**

- ▶ Wie entwickelt sich der Rechenzentrumsmarkt und die Struktur der Rechenzentren in Bayern? Anhand welcher Messgröße lässt sich die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes darstellen?
- ▶ Welche Bedeutung hat der bayerische Rechenzentrumsmarkt innerhalb von Deutschland und in Europa? Wie entwickeln sich die Rechenzentrumskapazitäten in Bayern? Welche Regionen haben welche Bedeutung?
- ▶ Wie entwickeln sich die Investitionen in Rechenzentren und der Arbeitsmarkt für Rechenzentrumsfachkräfte in Bayern? Wie entwickeln sich unterschiedliche Teilmärkte bzw. Segmente, z.B. der Colocation-Markt, der Cloud-Markt, der Bereich der Edge-Rechenzentren oder On-Premise-Rechenzentren?
- ▶ Inwiefern ist die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien ein Standortfaktor in Bayern?
- ▶ Wie wird sich der Rechenzentrumsmarkt in Bayern voraussichtlich bis zum Jahr 2030 entwickeln? Welche Entwicklungen sind darüber hinaus wahrscheinlich?

## **B Die ökologische Nachhaltigkeit von Rechenzentren in Bayern**

- ▶ Wie lässt sich der ökologische Fußabdruck des Rechenzentrumsmarktes in Bayern annähern? Wie groß ist dieser ungefähr?
- ▶ Wie versuchen die betroffenen Akteurinnen und Akteure (Rechenzentrumsbetreibende, Wärmeversorgungsunternehmen, Kommunen, etc.) ihren ökologischen Fußabdruck zu vermindern? Abwärmenutzung, Effizienzsteigerungen, Erneuerbare Energien? Ressourcenverbrauch? Welche Unterstützung braucht in dem Rahmen die kommunale Ebene?

## **C Maßnahmen für eine zukunftsgerichtete Standortpolitik für Rechenzentren in Bayern**

- ▶ Mit welchen Maßnahmen kann die Staatsregierung unterstützen, dass der Freistaat Bayern für Rechenzentren-Betreibende attraktiver wird? Welche Unterstützung braucht in dem Rahmen die kommunale Ebene?
- ▶ Wie kann der Freistaat Bayern auf Landesebene dafür sorgen, dass sich der ökologische Fußabdruck des Rechenzentrumsmarktes in Bayern möglichst weit verringert?
- ▶ Wie können konkrete Anreize oder notwendige Rahmenbedingungen im Freistaat Bayern ausgestaltet werden?

## 2 Rechenzentrumsmarkt in Bayern – eine Standortbestimmung

### 2.1 Überblick

Im folgenden Kapitel wird zunächst dargestellt, was in der Kurzstudie konkret unter einem Rechenzentrum verstanden wird. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 3.2 die aktuelle Marktentwicklung der Rechenzentren in Bayern dargestellt. Anhand der im Rahmen der Kurzstudie durchgeführten Recherchen und Berechnungen können die Kapazitäten des Rechenzentrumsmarktes anhand der IT-Anschlussleistung der Rechenzentren dargestellt werden. Die IT-Anschlussleistung gibt an, wie hoch die maximale elektrische Leistungsaufnahme der in den Rechenzentren installierten IT-Komponenten ist<sup>1</sup>. Neben der IT-Anschlussleistung werden die Kapazitäten der Rechenzentren auch anhand der für die IT-Komponenten verfügbaren IT-Fläche angegeben. In Abschnitt 3.3 wird vertiefend dargestellt, wie sich die Kapazitäten der Rechenzentren in Bayern auf die verschiedenen Rechenzentrumsarten verteilen.

Unter einem Rechenzentrum wird in dieser Studie ein Gebäude (zumindest aber ein geschlossener Raum) verstanden, in dem neben dem IT-Betriebsbereich auch alle weiteren technischen Supportbereiche (z.B. Kühlung, Stromversorgung) untergebracht sind. Damit gehören die folgenden Bereiche zum Rechenzentrum:

- ▶ IT-Infrastruktur: alle Komponenten, die für den Betrieb der Software benötigt werden, wie z.B. Server, Storage, Netzwerktechnik, Sicherheitslösungen
- ▶ Rechenzentrums-Infrastruktur: alle Komponenten, die dazu dienen, dass die IT-Infrastruktur betrieben werden kann, wie z.B. Stromversorgung und Verteilung, Kälte- und Klimatechnik, Sicherheitstechnik, Telekommunikationsverkabelung, Racks, Steuerungs- und Monitoringsysteme, Lager- und Verwaltungsräume

Diese Definition wurde auch im Rahmen der Rechenzentrumsmarktuntersuchungen des Bitkom – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. – (Hintemann, Graß, et al., 2022) und für Untersuchungen zum Bundesland Hessen genutzt (Hintemann & Hinterholzer, 2022; Hintemann, Hinterholzer, et al., 2022). Sie orientiert sich an der branchenüblichen Verwendung des Begriffs Rechenzentrum, z.B. in der Norm EN 50600 in der Definition des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI, 2017). Mit der Definition wird keine Mindestgröße für Rechenzentren festgelegt. Damit umfasst sie auch kleine Serverräume mit wenigen Servern. Um hier eine Abgrenzung vorzunehmen, wird in dieser Studie erst von einem Rechenzentrum gesprochen, wenn mindestens eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

- ▶ 10 oder mehr Racks sind vorhanden
- ▶ Die IT-Anschlussleistung ist größer als 40 Kilowatt (kW)

---

<sup>1</sup> In Untersuchungen zum Colocation-Markt werden die Kapazitäten von Rechenzentren meist ebenfalls in elektrischer Leistung bemessen. Damit ist dann oft die vermarktete IT-Leistung gemeint. Das ist die Leistungsaufnahme, die das Rechenzentrum hätte, wenn die Kunden genau so viel IT-Hardware installieren, dass die technische Gebäudeausrüstung (Klimatechnik, Stromversorgung) maximal ausgelastet wäre. Bei einer solchen Leistungsangabe kommt man in der Regel zu etwas höheren Werten als bei der hier verwendeten IT-Anschlussleistung. Teilweise werden als Kapazitäten von Rechenzentren auch die elektrischen Leistungsaufnahmen angegeben, die maximal vom Stromversorgenden bereitgestellt werden, die also auch die Leistungsaufnahme für Kühlung und sonstige technische Gebäudeausrüstung umfasst. Diese Werte liegen dann noch einmal höher als die Werte der vermarkteten IT-Leistung.

Diese Abgrenzung wird auch im Rahmen der Marktbetrachtungen des Branchenverbandes Bitkom verwendet (Hintemann, Graß, et al., 2022).<sup>2</sup>

Unabhängig von dieser Abgrenzung werden in der vorliegenden Kurzstudie auch die kleineren IT-Installationen betrachtet. Die Unterscheidung wird jeweils begrifflich kenntlich gemacht.

## 2.2 Aktuelle Entwicklung des bayerischen Rechenzentrumsmarktes

Der Rechenzentrumsmarkt boomt weltweit – auch in Bayern ist ein Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten festzustellen. Es gibt eine Reihe von Bauprojekten für neue Rechenzentren. So plant Hetzner Online ein Rechenzentrum mit einer Leistungsaufnahme von 50 MW in Ellingen. Für das Rechenzentrum ist ein Grundstück von 50 ha vorgesehen, davon 35 ha für einen Solarpark und 15 ha für die Server-Hallen (Lai, 2022). Der internationale Rechenzentrums-Dienstleister Equinix hat im Jahr 2022 in Aschheim ein Rechenzentrum in Betrieb genommen, das in der ersten Ausbaustufe eine maximale Leistungsaufnahme von 4 MW erlaubt. Etwa 825 Serverschränke können hier installiert werden. Voll ausgebaut könnten am Standort bis zu 4.700 Serverschränke stehen (Ostler, 2022). LEW Telnet will ab Mitte 2024 mit dem sogenannten „LEW Green Data Center“ in Augsburg ein Rechenzentrum betreiben, in dem 600 Serverracks Platz finden. Auch der Freistaat Bayern plant den Neubau eines Rechenzentrums in Markt Schwaben (Schweikle, 2022). Außerdem entwickelt das Bayerische Staatsministerium für Digitales zusammen mit der Universität Passau ein innovatives, klimaneutrales Rechenzentrum auf dem Campus der Universität (Bayerische Staatsregierung, 2022).

Wie diese Beispiele zeigen, wird aktuell in Bayern in neue – und oft nachhaltig ausgerichtete – Rechenzentren investiert. Treiber für das Wachstum ist vor allem die steigende Nachfrage nach Rechenzentrumsleistung durch die zunehmende Digitalisierung. Insbesondere die Nutzung von Cloud-Diensten hat in Deutschland seit der Corona-Krise deutlich zugenommen. So stieg der Anteil der Unternehmen in Deutschland, die Cloud-Dienste nutzen, von 2018 bis 2021 von 22 auf 42 % (Eurostat, 2023a). Auch bei Privatpersonen stieg die Zahl der Cloud-Nutzenden deutlich an. Nutzten im Jahr 2018 noch 28 % der Privatpersonen in Deutschland Cloud-Dienste, so waren es 2020 schon 35 % (Eurostat, 2023b).

Neben Cloud-Rechenzentren werden aber auch viele traditionelle Rechenzentren in Bayern betrieben. Viele Unternehmen legen Wert darauf, ihre Daten in den eigenen Räumlichkeiten zu verarbeiten und zu speichern (Hintemann, Graß, et al., 2022). Die interviewten bayerischen Expertinnen und Experten gingen davon aus, dass die Tendenz, eigene Rechenzentren zu betreiben, in Bayern sogar etwas höher ist als in den anderen Bundesländern.

Auf Basis der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Recherchen und der Modellierung wird geschätzt, dass es in Bayern knapp 500 Rechenzentren gibt, in denen mehr als 10 Racks installiert sind oder die über eine höhere Anschlussleistung als 40 kW verfügen. Der überwiegende Teil dieser Rechenzentren wird von Unternehmen, Behörden oder Forschungseinrichtungen für eigene Zwecke betrieben. Allerdings gibt es auch über hundert Dienstleistungs-Rechenzentren in Bayern. Die wichtigsten Standorte für Rechenzentren in Bayern sind München und Nürnberg.

---

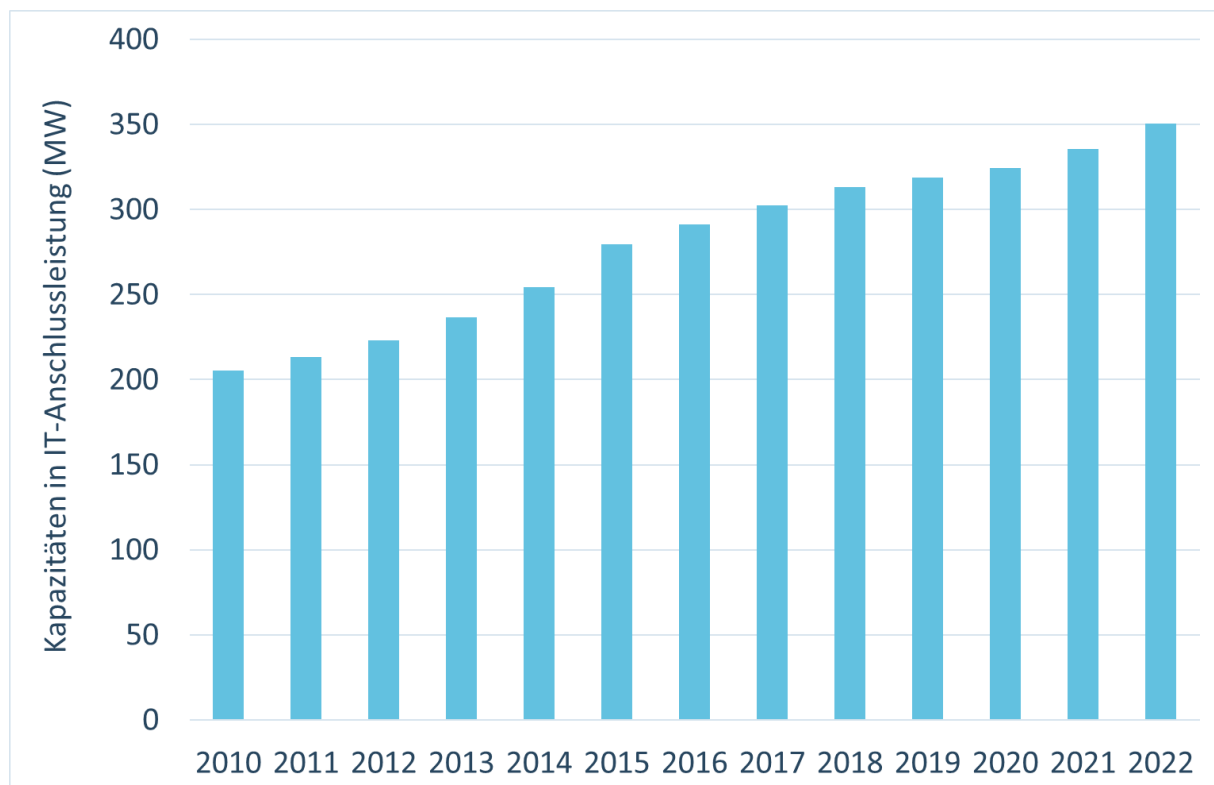
<sup>2</sup> Mit der gewählten Untergrenze von 10 Racks/40 kW fallen auch viele größere Serverräume und Container unter dem Begriff „Rechenzentrum“. Diese werden z.B. oft von (mittelständischen) Unternehmen oder Behörden für eigene Zwecke verwendet werden („On Premise“). Für eine Abgrenzung von Rechenzentren im Rahmen von regulativen Entscheidungen wären aus Sicht der Autorinnen und Autoren eher Leistungsgrenzen von 100 kW bis 500 kW angemessen.

München wird auch international als größerer Rechenzentrumsstandort wahrgenommen. In einer internationalen Vergleichsstudie von weltweiten Rechenzentrumsstandorten des Immobilienunternehmens Cushman & Wakefield zählt München zu den untersuchten 63 Top-Standorten (Cushman & Wakefield, 2023).

In den Rechenzentren in Bayern sind grob geschätzt ca. 20.000 Arbeitskräfte beschäftigt. Diese Zahl umfasst auch die Arbeitskräfte, die in Unternehmen und Behörden für den Betrieb von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen verantwortlich sind.

Mit Hilfe des am Borderstep Institut vorhandenen Bestandsmodells der Rechenzentrumslandschaft in Deutschland konnte die Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren in Bayern abgeschätzt werden. Wie Abbildung 1 zeigt, sind die Kapazitäten – gemessen an der IT-Anschlussleistung – zwischen 2010 und 2022 deutlich von gut 200 MW um 70 % auf 350 MW angestiegen.

**Abbildung 1: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 (gemessen in IT-Anschlussleistung)**

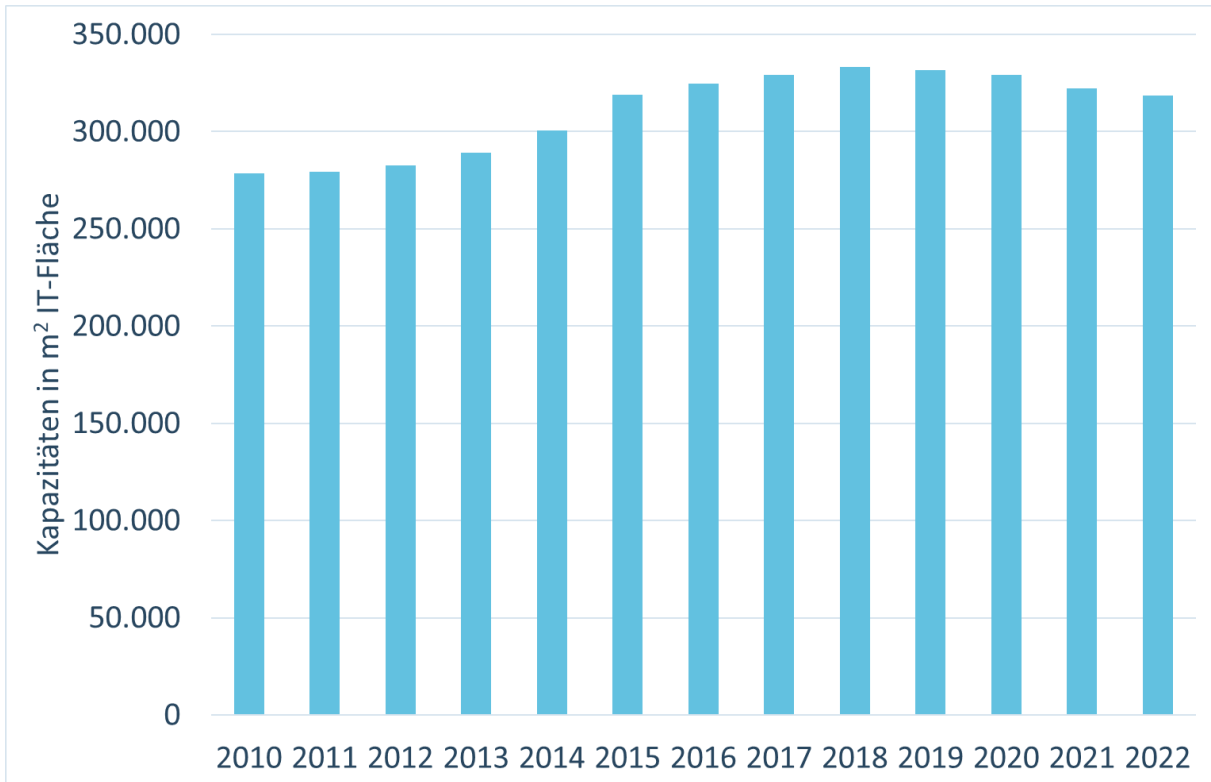


Quelle: Borderstep Institut

Ein anderes Maß für die Kapazitäten von Rechenzentren ist die IT-Fläche. Die IT-Fläche gibt die Bodenfläche im Rechenzentrum an, auf der die IT-Systeme installiert werden können. Die IT-Fläche war bis zum Anfang des vorherigen Jahrzehnts eine oft genutzte Maßgröße für die Kapazitäten von Colocation-Rechenzentren. Sie wird allerdings heute in der Praxis nur noch selten verwendet. Aufgrund steigender Leistungsdichten (gemessen in kW/m<sup>2</sup>) wurde in den vergangenen Jahren zunehmend die maximale elektrische Leistungsaufnahme zum begrenzenden Faktor für die Installation von IT-Systemen in Rechenzentren. D.h. die elektrische Leistungsaufnahme wurde zum relevanten Maß für die

maximale Kapazität eines Rechenzentrums. Wie Abbildung 2 darstellt, ist die IT-Fläche der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen trotz des wachsenden Marktes in Bayern im vergangenen Jahrzehnt kaum noch angestiegen. Das kann dadurch erklärt werden, dass die außer Betrieb genommenen Rechenzentrumsflächen eine deutlich geringere Leistungsdichte haben als die neu geschaffenen Rechenzentrumsflächen.

**Abbildung 2: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 (gemessen in IT-Fläche)**

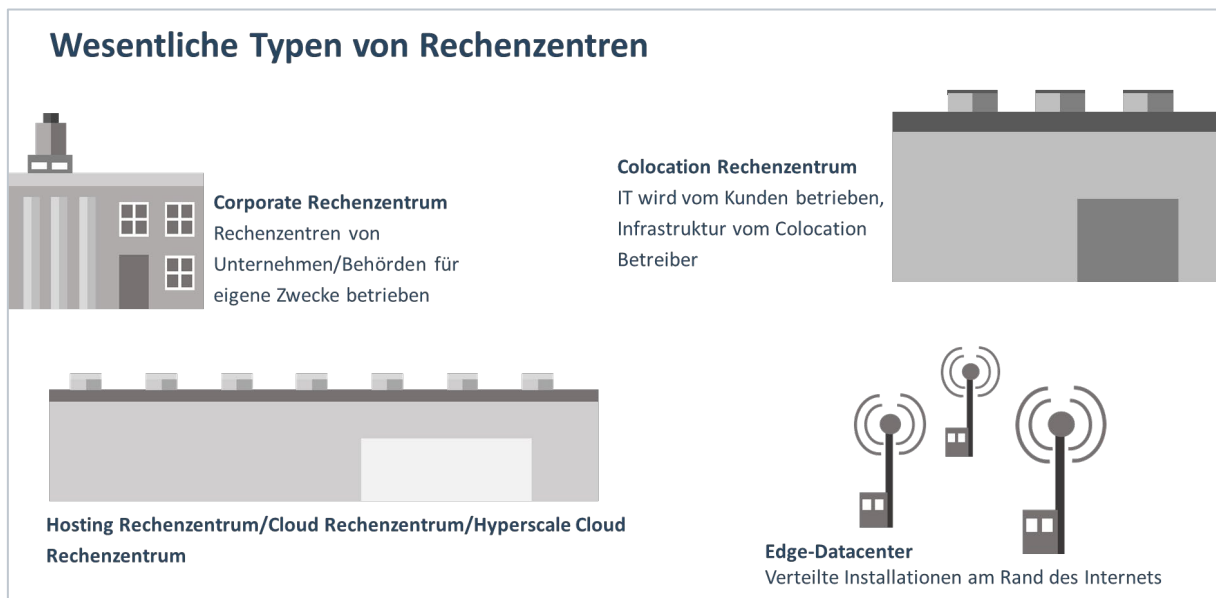


Quelle: Borderstep Institut

### 2.3 Vertiefende Betrachtung ausgewählter Marktsegmente

Im Folgenden wird die Entwicklung verschiedener Segmente des Rechenzentrumsmarktes betrachtet. Unterschieden werden die Segmente Corporate-Rechenzentren, Cloud-Rechenzentren, Edge-Rechenzentren und Colocation-Rechenzentren (siehe Abbildung 3). Rechenzentren von Unternehmen oder Behörden, die in eigenen Räumlichkeiten betrieben werden, werden oft auch als On-Premise-Rechenzentren bezeichnet.

Abbildung 3: Unterscheidung von verschiedenen Typen von Rechenzentren



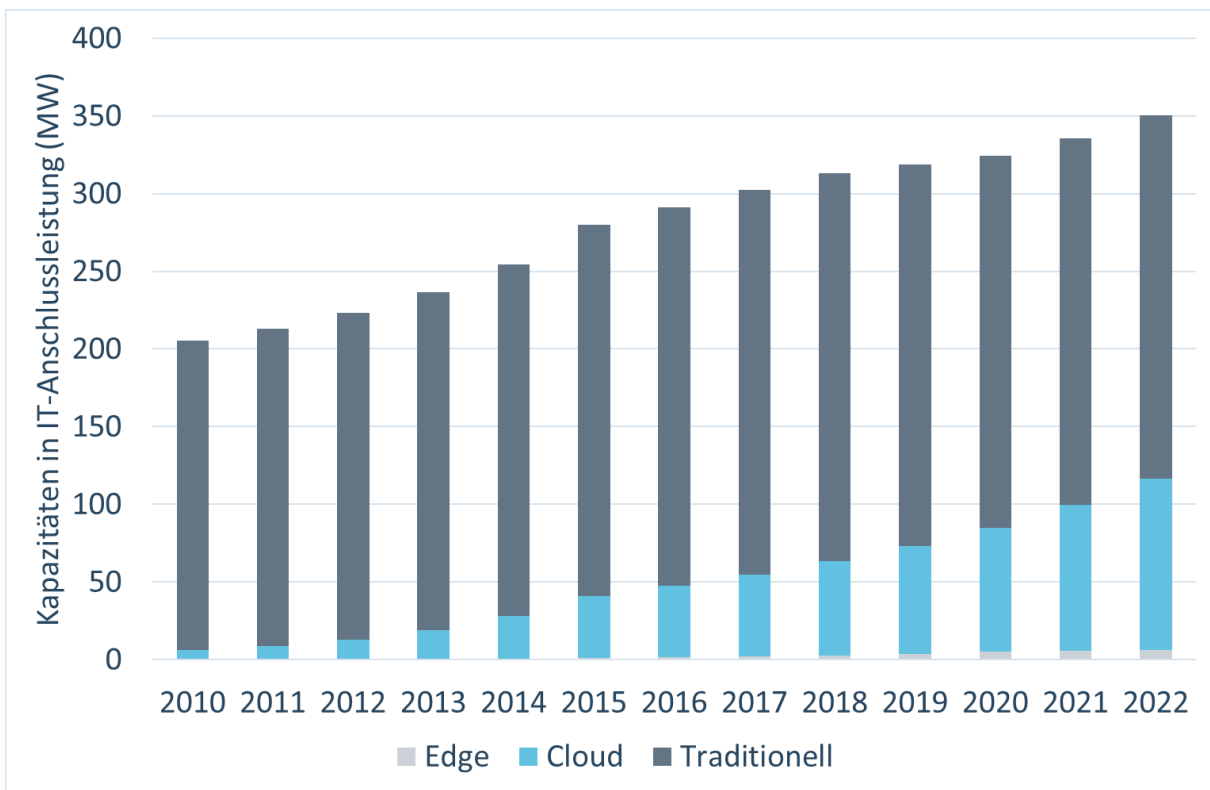
Quelle: Borderstep Institut

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung der Kapazitäten von Cloud- und Edge-Rechenzentren in Bayern. Es ist zu erkennen, dass das Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten im Wesentlichen durch die Zunahme der Cloud-Kapazitäten bedingt ist. Edge Datacenter haben bislang noch einen geringen Anteil an den Rechenzentrumskapazitäten. Es ist aber zu erwarten, dass Edge Datacenter in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. Gründe hierfür sind der Ausbau der 5G-Mobilfunkinfrastrukturen und die Zunahme an latenzkritischen Diensten z.B. im Bereich von Industrie 4.0 und Autonomen Fahren (Hintemann, Graß, et al., 2022). Erwartet werden insbesondere neue kleine Standorte mit automatisierten Systemen, die remote gemanagt werden.

Die Kapazitäten von traditionellen Rechenzentren<sup>3</sup> bleiben seit Jahren weitgehend konstant. Dieser Trend wurde auch von den befragten Betreibenden von Rechenzentren bestätigt. Zwar verlagern insbesondere Klein-Unternehmen ihre IT immer öfter in die Cloud – gleichzeitig wachsen aber auch die IT-Bedarfe in einigen Bereichen der traditionellen Rechenzentren – zu nennen sind hier beispielsweise Anwendungen in der Forschung, insbesondere im Gesundheitswesen oder in der Simulation. Auch in der Finanzbranche und im Bereich der Online-Spiele wird noch ein weiteres Wachstum der Bedarfe an Rechenleistung gesehen.

<sup>3</sup> Der Begriff „traditionelle Rechenzentren“ wird hier für Rechenzentren verwendet, die nicht den Cloud-Rechenzentren und den Edge-Rechenzentren zuzuordnen sind. Das sind z.B. Rechenzentren im Eigenbetrieb von Unternehmen oder Behörden (On-Premise-Rechenzentren), können aber auch IT-Installationen in Colocation-Rechenzentren sein.

**Abbildung 4: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 mit Unterscheidung Cloud Rechenzentren, traditionelle Rechenzentren und Edge Rechenzentren (gemessen in IT-Anschlussleistung)**

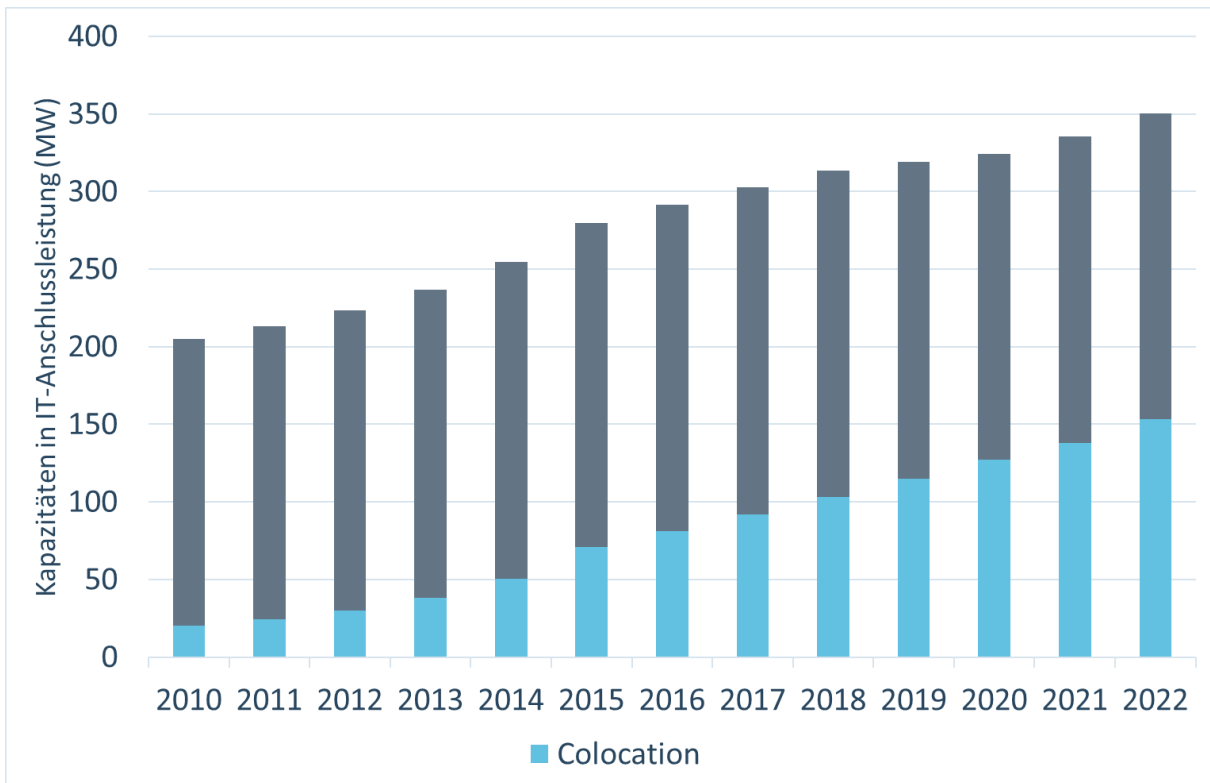


Quelle: Borderstep Institut

Neben dem Trend, mehr Cloud-Dienste zu nutzen, nimmt auch die Bedeutung der Colocation-Rechenzentren zu. Im Jahr 2022 befinden sich in Bayern etwa 44 % der Rechenzentrumskapazitäten in Colocation-Rechenzentren (Abbildung 5). Die verstärkte Nutzung von Colocation-Rechenzentren hat vor allem zwei Gründe. Zum einen werden Cloud-Kapazitäten, insbesondere von internationalen Cloud-Anbietenden, oft in Colocation-Rechenzentren aufgebaut. Zum anderen nutzen aber auch zunehmend Unternehmen und Behörden die Dienste von Colocation-Rechenzentren. Damit entlasten sie sich vom eigentlichen Rechenzentrumsbetrieb, können Investitionskosten sparen und erhöhen die Flexibilität, wenn zusätzliche Server angeschafft werden sollen oder auch die Zahl der Server reduziert wird.



**Abbildung 5: Entwicklung der Kapazitäten von Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022 mit Anteil Colocation-Rechenzentren (gemessen in IT-Anschlussleistung) in Bayern**

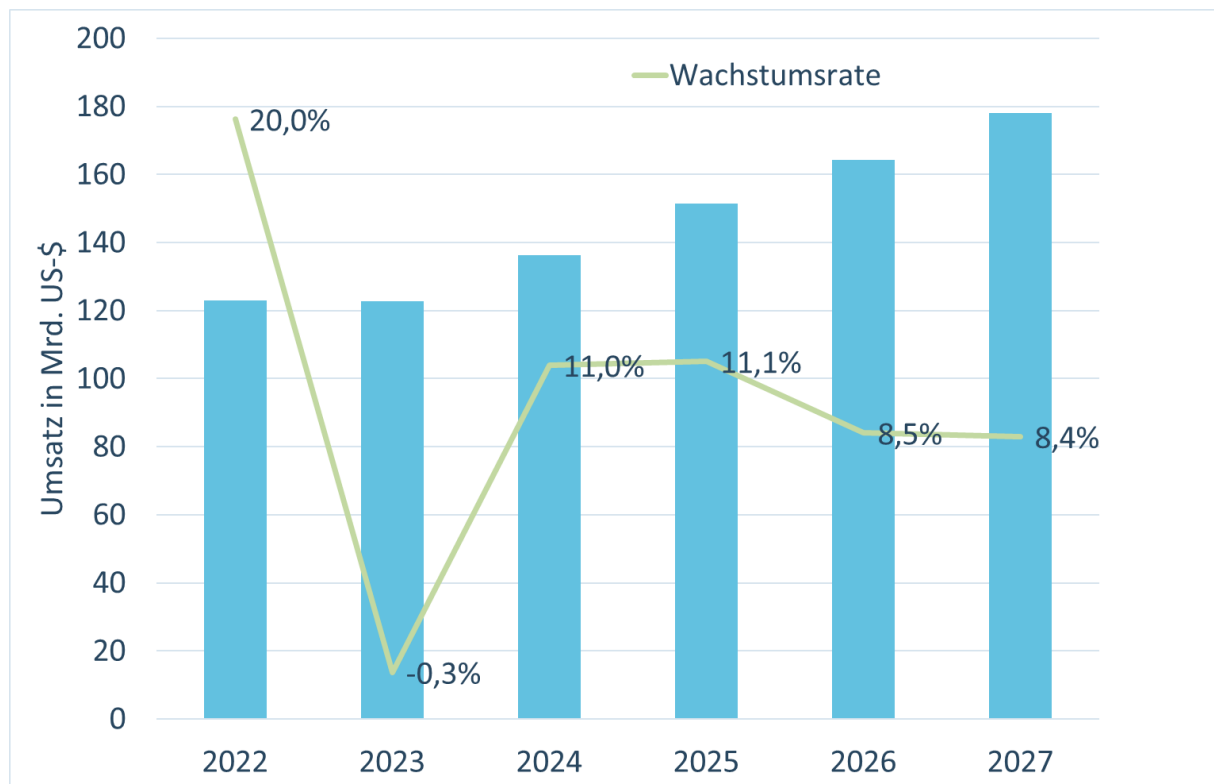


Quelle: Borderstep Institut

## 2.4 Bedeutung des Rechenzentrumsmarkts in Bayern im nationalen und internationalen Kontext

Der weltweite Rechenzentrumsmarkt ist in einer Boom-Phase. Insbesondere aufgrund der zunehmenden Nutzung von Cloud-Diensten werden weltweit immer mehr Rechenzentren gebaut. Das starke Wachstum im Markt wird dokumentiert durch die im Jahr 2022 sehr deutlich zunehmenden Umsätze im Servermarkt (Abbildung 6). Das Marktforschungsunternehmen IDC geht davon aus, dass das Umsatzvolumen im Servermarkt auch in Zukunft deutlich ansteigen wird – zwischen 2022 und 2027 wird ein Wachstum um etwa 45 % erwartet. Nur für das Jahr 2023 wird mit einem leichten Rückgang der Serververkäufe gerechnet. Gründe hierfür sind die Auswirkungen der Pandemie, die historisch hohe Inflation, die Verlangsamung der wirtschaftlichen Aktivität, die Unterbrechung der Lieferkette und geopolitische Konflikte. Der mittelfristige Wachstumstrend im Markt wird aber als stabil angesehen (IDC, 2023).

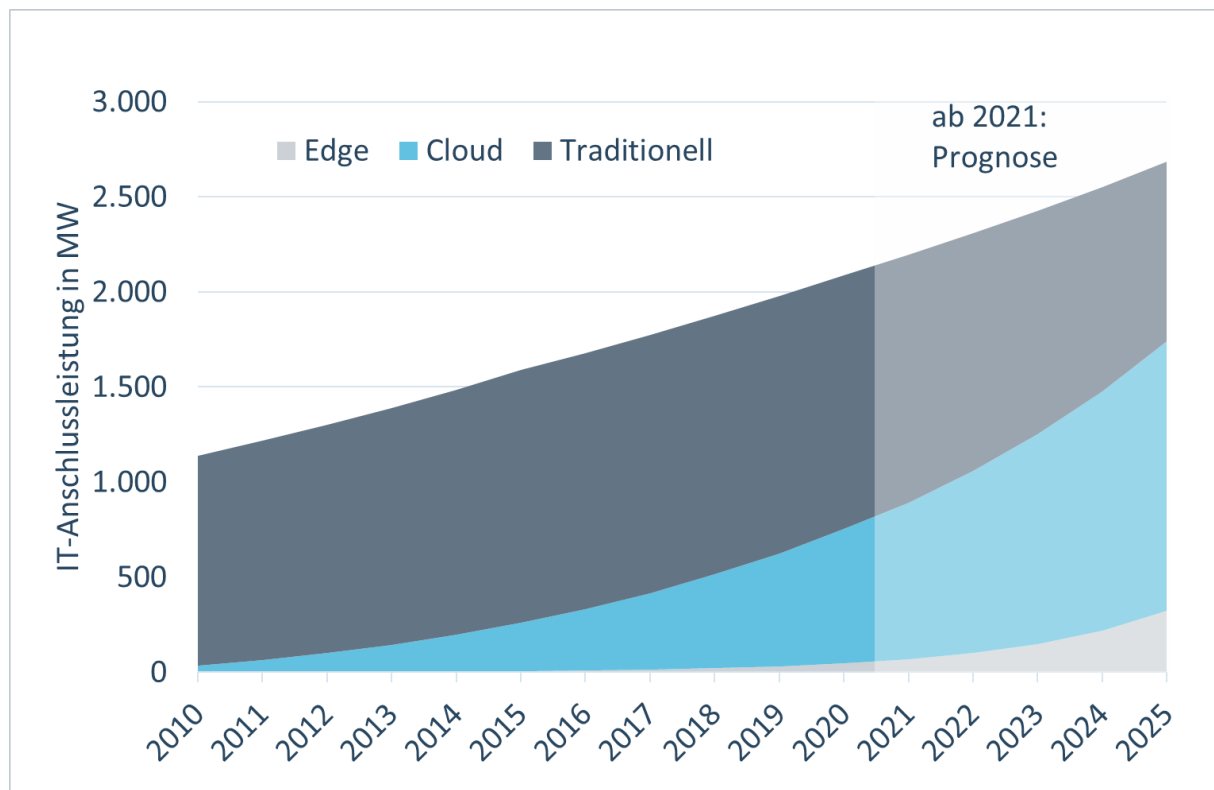
Abbildung 6: Entwicklung der weltweiten Serververkäufe



Quelle: IDC (2023)

Der deutsche Rechenzentrumsmarkt wächst seit Jahren ebenfalls kontinuierlich. Die Kapazitäten der Rechenzentren (gemessen in IT-Anschlussleistung) haben sich zwischen 2010 und 2022 etwa verdoppelt (Abbildung 7). Auch in Deutschland ist das Wachstum des Marktes insbesondere durch den Anstieg der Nachfrage nach Cloud-Diensten begründet. Insbesondere in den letzten fünf Jahren werden zunehmend sehr große Rechenzentren in Deutschland geplant und gebaut. Die maximalen elektrischen Leistungsaufnahmen dieser Rechenzentren bewegen sich im zwei- und dreistelligen Megawattbereich. So wird auf dem Gelände einer ehemaligen Kaserne in Hanau der „Daten Center Campus“ errichtet. Auf einer knapp 40 Hektar großen Fläche soll ein aus fünf Gebäudekörpern bestehendes Rechenzentrum gebaut werden. In den zweigeschossigen Gebäuden sollen Server betrieben werden, die im Endausbau etwa 180 MW Stromleistung aufnehmen. Das entspricht in etwa dem Doppelten der heutigen Stromleistungsaufnahme von ganz Hanau (Iding, 2019). Interxion baut auf dem ehemaligen Neckermann-Gelände in Frankfurt den „Digital Park Fechenheim“. Im Zeitraum von 2021 bis 2028 sollen auf dem Gelände Rechenzentren entstehen, die ebenfalls bis zu 180 Megawatt Stromleistung aufnehmen (Heunemann, 2020). Google hat angekündigt, in Deutschland eine Milliarde Euro in Rechenzentren investieren zu wollen (tagesschau.de, 2021).

**Abbildung 7: Entwicklung der Rechenzentrumskapazitäten (gemessen in IT-Anschlussleistung) in Deutschland mit Unterscheidung Cloud-Rechenzentren, traditionelle Rechenzentren und Edge-Rechenzentren in den Jahren 2010 bis 2020 und Prognose bis 2025**



Quelle: Hintemann, Graß, et al. (2022)

Bayern hat aktuell ungefähr einen Anteil von 15 % an den Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland. Wie oben bereits dargestellt, wachsen auch in Bayern die Kapazitäten der Rechenzentren deutlich. Allerdings sind die Wachstumsraten etwas geringer als im Durchschnitt von Deutschland. Dies ist darin begründet, dass das aktuell starke Wachstum in Deutschland insbesondere durch die sehr großen neuen Rechenzentren im Raum Frankfurt/Rhein-Main getragen wird. Diese werden im Wesentlichen gebaut, um der Nachfrage nach Rechenzentrumskapazitäten durch die großen internationalen Hyperscale-Cloud-Anbietenden gerecht zu werden. Außerhalb des Raumes Frankfurt/Rhein-Main sind den Autorinnen und Autoren aktuell nur im Raum Berlin/Brandenburg Rechenzentrumsprojekte in einer Größenordnung von dreistelligen MW-Leistungen bekannt.

In Bayern werden Cloud-Rechenzentren bislang vorrangig durch regionale Unternehmen gebaut und betrieben. Insgesamt ist der Rechenzentrumsmarkt in Bayern aktuell noch deutlich durch On-Premise-Rechenzentren geprägt. Große neue Rechenzentrumsprojekte in Bayern haben in der Regel Kapazitäten im einstelligen oder niedrigen zweistelligen MW-Bereich. Eine Ausnahme bildet das geplante Rechenzentrum von Hetzner in Ellingen, das eine Leistungsaufnahme von 50 MW haben soll (Lai, 2022).

## 2.5 Standortfaktoren für Rechenzentren in Bayern

Für Rechenzentren sind verschiedene Standortfaktoren von Bedeutung. Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse einer Befragung von Rechenzentrumsexpertinnen und -experten zur Bedeutung verschiedener Standortfaktoren und zur Bewertung des Standortes Deutschland im Jahr 2021. Es ist zu erkennen, dass Deutschland in vielen als wichtig bewerteten Standortfaktoren gut oder sehr gut abschneidet. Weniger gut bewertet werden in Deutschland insbesondere die hohen Strompreise und die oft langwierigen Genehmigungsprozesse. Auch die Versorgung mit klimafreundlich erzeugtem Strom sowie die Verfügbarkeit von Fachkräften werden in Deutschland vergleichsweise schlecht bewertet.

**Abbildung 8: Standortfaktoren für Rechenzentren – Einschätzung von Rechenzentrumsexperten zur Bedeutung (links) und zur Bewertung des Standorts Deutschland (rechts)**



Quelle: Hintemann, Graß, et al. (2022)

In den durchgeführten Interviews wurde Bayern als Rechenzentrumsstandort gut bewertet. Zu diesem Ergebnis kommt auch eine aktuelle Befragung des Borderstep Instituts, bei der Bayern im Vergleich mit den anderen Bundesländern hinter Hessen und Berlin als drittbesten Standort für Rechenzentren bewertet wird.

Gut bewertet wurde insbesondere, dass es in Bayern eine geringe Gefahr an Geo-Risiken wie Hochwasser, Erdbeben o.ä. gibt. Damit können die Versorgungsinfrastrukturen der Rechenzentren zuverlässig betrieben werden. Ein kleiner Nachteil sind in diesem Zusammenhang die im Vergleich zu den anderen Bundesländern etwas höheren Temperaturen, wodurch der Energiebedarf für die Kühlung steigt.

Mit dem Internetknoten DE-CIX Munich bietet Bayern einen guten Anschluss an das Internet. Gemessen am Daten-Traffic ist der Münchener Knoten mit einer aktuellen Peak-Leistung von etwa 180 Gbit/s der viertgrößte Internetknoten in Deutschland. Knapp vor München liegt Hamburg mit einer Peak-Leistung von etwa 200 Gbit/s. Berlin liegt mit einer Peak-Leistung von etwa 920 Gbit/s auf dem zweiten Platz. Unangefochten an der Spitze liegt der DC-CIX in Frankfurt mit einer aktuellen Peak-Leistung von 14.680 Gbit/s<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Daten von der Internetseite <https://www.de-cix.net>, Stand 10.5.2023

Auch die Nähe zu Kundinnen und Kunden sehen die befragten RZ-Betreibenden als Vorteil des Rechenzentrumsstandortes Bayern. Die bayerische Wirtschaft mit seinen leistungsfähigen, innovativen Unternehmen hat einen hohen Bedarf an Rechenzentrumsleistung. Im wissenschaftlich-technischen Bereich – insbesondere mit den zwei Exzellenz-Universitäten in München und mit verschiedenen Fraunhofer-, Max-Planck- und Helmholtz-Instituten – wird Bayern sehr gut bewertet und ein hoher Bedarf an Rechenleistung gesehen.

Schwächen in Bayern werden wie insgesamt in Deutschland bei langwierigen Genehmigungsverfahren, hohen Strompreisen, Verfügbarkeit von Fachkräften und in der Versorgung mit regenerativen Energien gesehen. Viele Verwaltungsverfahren sind noch papierbasiert. Ein Rechenzentrumsbetreiber berichtete von einem Fall, bei dem sich die Genehmigung um fast vier Wochen verzögerte, weil der zuständige Beamte, der die Genehmigung noch abstempeln musste, aufgrund von Überstunden ausgleich nicht im Büro war. In den Interviews wurde aber auch oft betont, dass in konkreten Projekten in Bayern meist eine sehr gute Unterstützung der kommunalen Verwaltung vorlag.

Die Verfügbarkeit von regenerativ erzeugtem Strom bekommt eine zunehmende Bedeutung für Rechenzentren. Dies ist zum einen durch laufende Gesetzgebungsverfahren auf Ebene der EU und des Bundes bedingt. So sieht der aktuelle Entwurf des Energieeffizienz-Gesetzes vor, dass Rechenzentren ab 2027 ihren Strombedarf zu 100 % durch ungeförderten Strom aus erneuerbaren Energien decken. Aber auch aufgrund von eigenen Klimaschutzzielen und Bedarfen von Kundinnen und Kunden wird die klimaneutrale Stromversorgung immer bedeutender. Wie die in Kapitel 3.3 aufgeführten Beispiele von auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Rechenzentren zeigen, nutzen bereits heute viele Rechenzentren Ökostromverträge. Die regionale Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird auch in den Interviews als wichtiger Standortfaktor gesehen.

## 2.6 Prognose der zukünftigen Entwicklung des bayerischen Rechenzentrumsmarktes

Wie sich der Rechenzentrumsmarkt in Bayern in Zukunft entwickeln wird, hängt von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren ab. Neben der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung und der technischen Entwicklung ist es insbesondere auch von Bedeutung, wo sich neue Rechenzentren ansiedeln. Das Wachstum der Branche wurde in den vergangenen Jahren vor allem durch Cloud-Rechenzentren bestimmt. In diesem Marktsegment dominieren wenige große internationale Anbietende. Marktforschungsinstitute gehen davon aus, dass aktuell etwa die Hälfte der weltweit produzierten Server an die großen Hyperscale-Cloud-Anbietenden verkauft wird.

Um die möglichen zukünftigen Entwicklungen des Rechenzentrumsmarktes in Bayern abschätzen zu können, wurden drei Szenarien (Abbildung 9) gebildet:

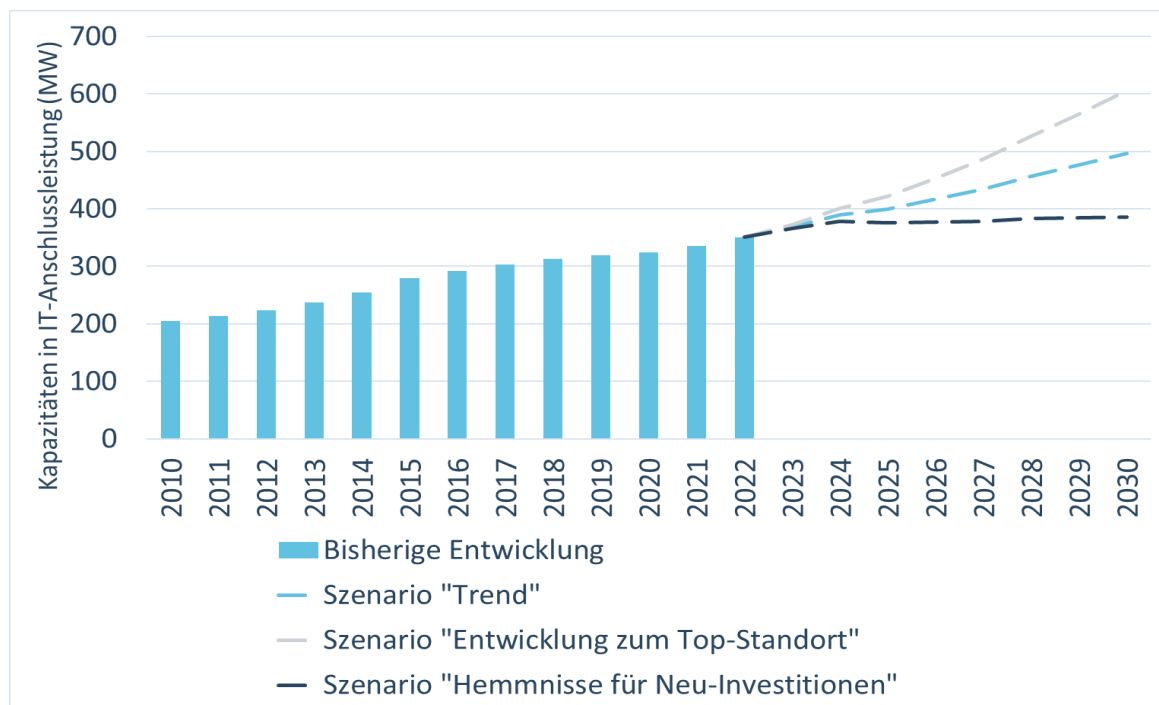
**Trendscenario:** Der Rechenzentrumsmarkt entwickelt sich weiter wie bisher. Es werden keine Entwicklungen oder Ereignisse erwartet, die den Markt deutlich beeinflussen. Es wird mit einem Wachstum der Rechenzentrumskapazitäten bis zum Jahr 2030 von ca. 40 % auf eine IT-Anschlussleistung von 500 MW gerechnet.

**Szenario „Hemmnisse für Neu-Investitionen“:** Aufgrund weiterer weltweiter wirtschaftlicher Krisen wächst der Bedarf an Rechenleistung deutlich geringer als bisher erwartet. Die Energiepreise bleiben vergleichsweise hoch. Europa und insbesondere Deutschland sind als Standorte für internationale Cloud-Anbietende weniger interessant – auch aufgrund zunehmender gesetzlicher Anforderungen an

den Rechenzentrumsbetrieb. Auch Bayern gelingt es nicht, ein attraktiver Standort für Neu-Investitionen von Rechenzentren zu werden. In diesem Szenario wird damit gerechnet, dass sich die Kapazitäten der Rechenzentren in Bayern bis zum Jahr 2030 nur noch geringfügig um etwa 10 % erhöhen.

**Szenario „Entwicklung zum Top-Standort“:** Die weltwirtschaftliche Entwicklung nimmt wieder Fahrt auf. Insbesondere in Deutschland und Bayern wird mit einem starken wirtschaftlichen Wachstum und zunehmender Digitalisierung gerechnet. Die Energiepreise sinken wieder deutlich und eine nachhaltige Stromversorgung in Bayern ist sichergestellt. Die Standortvorteile von Bayern können weiter ausgebaut werden und Bayern entwickelt sich zu einem der wichtigsten europäischen Rechenzentrumsstandorte. Es kommt zu verstärkten Investitionen von internationalen Cloud-Anbietenden in Bayern. In diesem Szenario scheint es möglich, dass sich die Kapazitäten der Rechenzentren in Bayern um mehr als 70 % auf 600 MW erhöhen.

Abbildung 9: Mögliche Entwicklung der Kapazitäten der Rechenzentren bis 2030 in Bayern in drei Szenarien



Quelle: Borderstep Institut

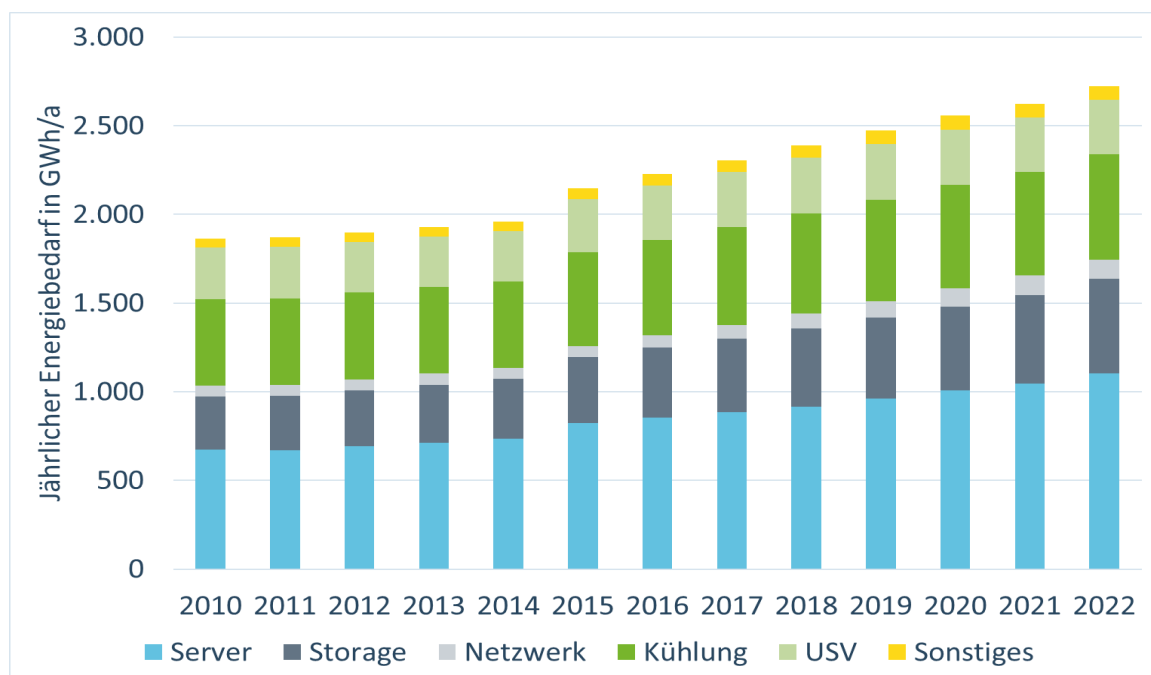
Eine Prognose der Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes über das Jahr 2030 hinaus ist mit hohen Unsicherheiten behaftet. Neben der unklaren Entwicklung der wirtschaftlichen und regulativen Rahmenbedingungen ist auch nur schwer vorhersehbar, wie sich die Nachfrage nach Rechenleistungen und insbesondere die Prozessortechnik weiter entwickeln wird. Vor allem durch Entwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz und im Bereich virtueller Realitäten sind extrem hohe zukünftige Rechenbedarfe möglich. Aktuell werden beispielsweise für Anwendungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz Prozessoren mit einer sehr hohen elektrischen Leistungsaufnahme entwickelt. Es gibt aber auch Entwicklungen von energieeffizienten morphologischen Prozessoren, die Anwendungen z. B. im Bereich Mustererkennung mit Bruchteilen des Energiebedarfs konventioneller Prozessoren ausführen können. Langfristig könnte auch das Thema Quantencomputing einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklung des Rechenzentrumsmarktes haben.

### 3 Ökologische Nachhaltigkeit der Rechenzentren in Bayern

#### 3.1 Energiebedarf und Treibhausgasemissionen

Aufgrund der steigenden Rechenzentrumskapazitäten in Bayern hat sich auch der Energiebedarf der Rechenzentren seit 2010 erhöht – er stieg bis 2022 um 40 % auf 2.700 Gigawattstunden im Jahr (GWh/a). Dabei sind die Rechenzentren deutlich effizienter geworden. Im Jahr 2010 waren pro verbrauchter Kilowattstunde (kWh) Strom der IT-Hardware in Rechenzentren und kleineren IT-Installationen noch etwa 0,8 kWh für die Kühlung, unterbrechungsfreie Stromversorgung und sonstige Gebäudetechnik notwendig. Das Verhältnis des Gesamtenergiebedarfs eines Rechenzentrums zu Energiebedarf der IT-Hardware wird mit der Effizienzkennzahl Power Usage Effectiveness (PUE) gemessen. Im Jahr 2010 lag der durchschnittliche PUE-Wert in Bayern bei 1,80. Bis zum Jahr 2022 hat sich der durchschnittliche PUE-Wert in Bayern auf 1,56 verbessert. Noch deutlicher sind die Effizienzsteigerungen im IT-Betrieb selbst. Durch leistungsfähigere Hardware und insbesondere Virtualisierungs- und Cloudtechnologien ist es zwischen 2010 und 2020 gelungen, die Zahl der installierten Workloads in den deutschen Rechenzentren um mehr als den Faktor acht zu erhöhen. Damit stieg die Energieeffizienz der IT-Bereitstellung gemessen in IT-Workloads pro Energiebedarf fast um den Faktor 5 (Hintemann, Graß, et al., 2022).

**Abbildung 10: Entwicklung des Energiebedarfs der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern in den Jahren 2010 bis 2022**



Quelle: Borderstep Institut

Die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren in Deutschland entstehen zu etwa 90 % aufgrund des Stromverbrauchs der Rechenzentren (siehe auch Kapitel 3.2). Eine klimafreundliche Stromversorgung hat also entscheidende Auswirkungen auf die Entwicklung der Treibhausgasemissionen. In Abbildung 11 ist die Entwicklung der durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-

Installationen in Bayern verursachten Treibhausgasemissionen in den Jahren 2010 bis 2022 dargestellt. Die im langfristigen Trend sinkenden spezifischen Treibhausgasemissionen in der Stromerzeugung haben dazu geführt, dass trotz steigenden Energiebedarfs die Treibhausgasemissionen der Rechenzentren weitgehend konstant geblieben sind. Für die Berechnung wurde der Strommix des Inlandsverbrauchs in Deutschland zugrunde gelegt. Damit werden individuelle Maßnahmen wie Ökostromverträge von einzelnen Rechenzentren und die regionale Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energiequellen nicht berücksichtigt<sup>5</sup>.

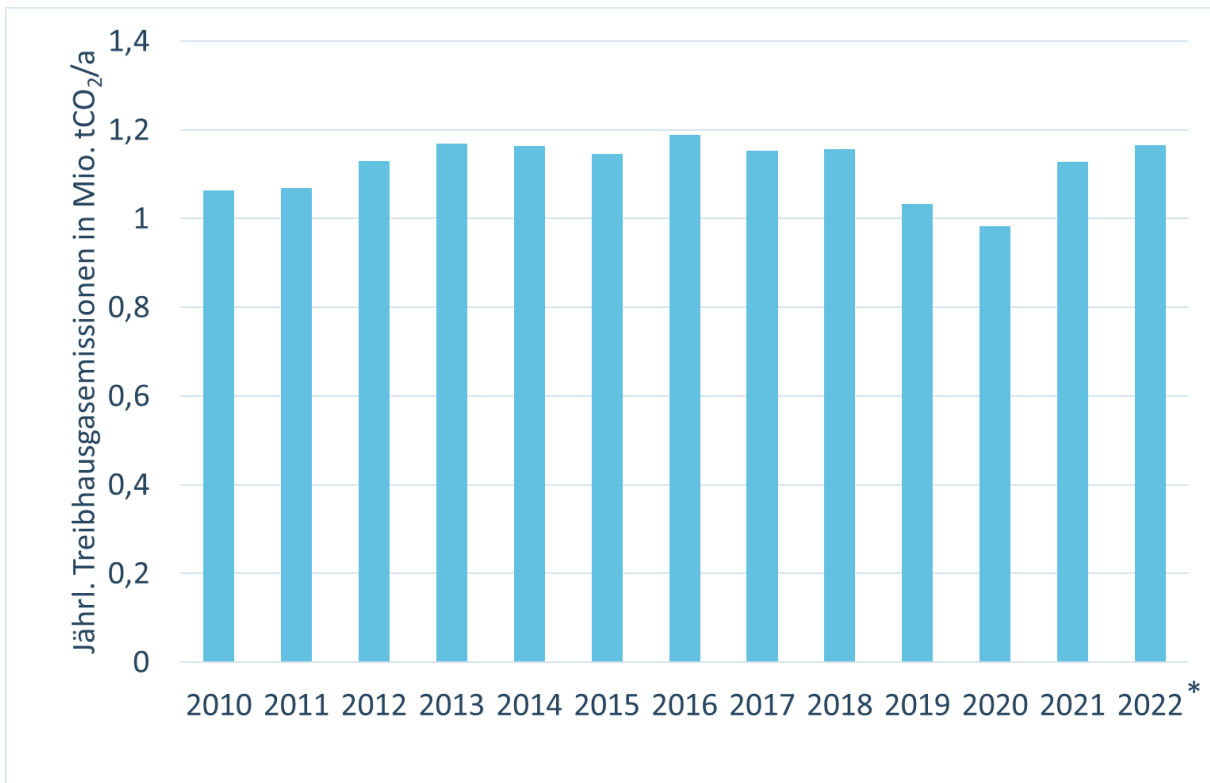
Auf Basis von Befragungen von Rechenzentrumsbetreibern, die das Borderstep Institut in verschiedenen Projekten (Hintemann & Clausen, 2018; Hintemann, Graß, et al., 2022; Pehlken et al., 2020) durchgeführt hat, kann abgeschätzt werden, dass aktuell etwa die Hälfte der Betreiber von Rechenzentren in Deutschland über Ökostromverträge verfügt. Oft wird bei solchen Rechenzentren dann von „klimaneutralen Rechenzentren“ gesprochen. Dabei wird in der Regel nicht berücksichtigt, dass Treibhausgasemissionen von Rechenzentren nicht nur durch ihren Stromverbrauch verursacht werden. Auch durch die Errichtung der Gebäude, die Herstellung der IT-Geräte und anderer technischer Anlagen in den Rechenzentren oder durch die Verwendung klimaschädlicher Kältemittel entstehen Treibhausgasemissionen. Auch muss berücksichtigt werden, dass es bei Ökostromverträgen deutliche Unterschiede geben kann. Werden für die Ökostromtarife beispielsweise Herkunftsnachweise aus dem Ausland verwendet, tragen diese teilweise nur wenig zum Klimaschutz bei (Ostler, 2021; Verbraucherzentrale, 2022).

---

<sup>5</sup> Die Verwendung des nationalen Strommixes bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen ist aufgrund des einheitlichen Strommarktes in Deutschland aus Systemsicht notwendig. Würden beispielsweise Ökostromverträge berücksichtigt und für Rechenzentren geringere Treibhausgasemissionen ausgewiesen, so müsste der Stromverbrauch der anderen Verbrauchsgruppen wie Industrie und Haushalte mit höheren Treibhausgasemissionen bewertet werden.



**Abbildung 11: Entwicklung der durch den Stromverbrauch der Rechenzentren und kleineren IT-Installationen in Bayern verursachten Treibhausgasemissionen in den Jahren 2010 bis 2022 (mit deutschem Strommix)**



Quelle: Borderstep Institut

\* Da zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Studie für das Jahr 2022 noch keine Daten des Umweltbundesamtes zu den spezifischen Treibhausgasemissionen des deutschen Strommixes vorliegen, wurde angenommen, dass sich diese gegenüber 2021 nicht verändert haben.

### 3.2 Weitere Umweltwirkungen

Die bisherigen Untersuchungen zu den Umweltwirkungen von Rechenzentren fokussieren zumeist auf ihren Energiebedarf im Betrieb und die damit verbundenen Treibhausgaswirkungen. Die Fokussierung ist aus zwei Gründen auch nachvollziehbar. Ein erster Grund für die Fokussierung auf Energiebedarf und Treibhausgasemissionen liegt im pausenlosen Betrieb der Rechenzentren (24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr). Daher dominiert die Lebensphase des Betriebes den ganzheitlichen Energiebedarf gegenüber den Lebensphasen Herstellung, Transport und Entsorgung. Das führt dazu, dass die Betriebsphase auch für den Großteil der weltweiten Treibhausgasemissionen der Rechenzentren verantwortlich ist. Die verfügbaren Studien kommen zu dem Ergebnis, dass etwas 90 % des ganzheitlichen Energiebedarfs und der Treibhausgasemissionen der Rechenzentren beim Betrieb der Rechenzentren entstehen (Bieser, Hintemann, Beucker, Schramm, & Hilty, 2020; Schödwell, Zarnekow, Gröger, Liu, & Wilkens, 2018). Regional kann dies aber auch deutlich anders sein. In Ländern bzw. Regionen mit niedrigen Treibhausgasemissionen in der Stromerzeugung, z.B. Skandinavien, Schweiz oder Frankreich (Atomstrom), hat schon heute die Phase der Herstellung eine vergleichsweise hohe Bedeutung.

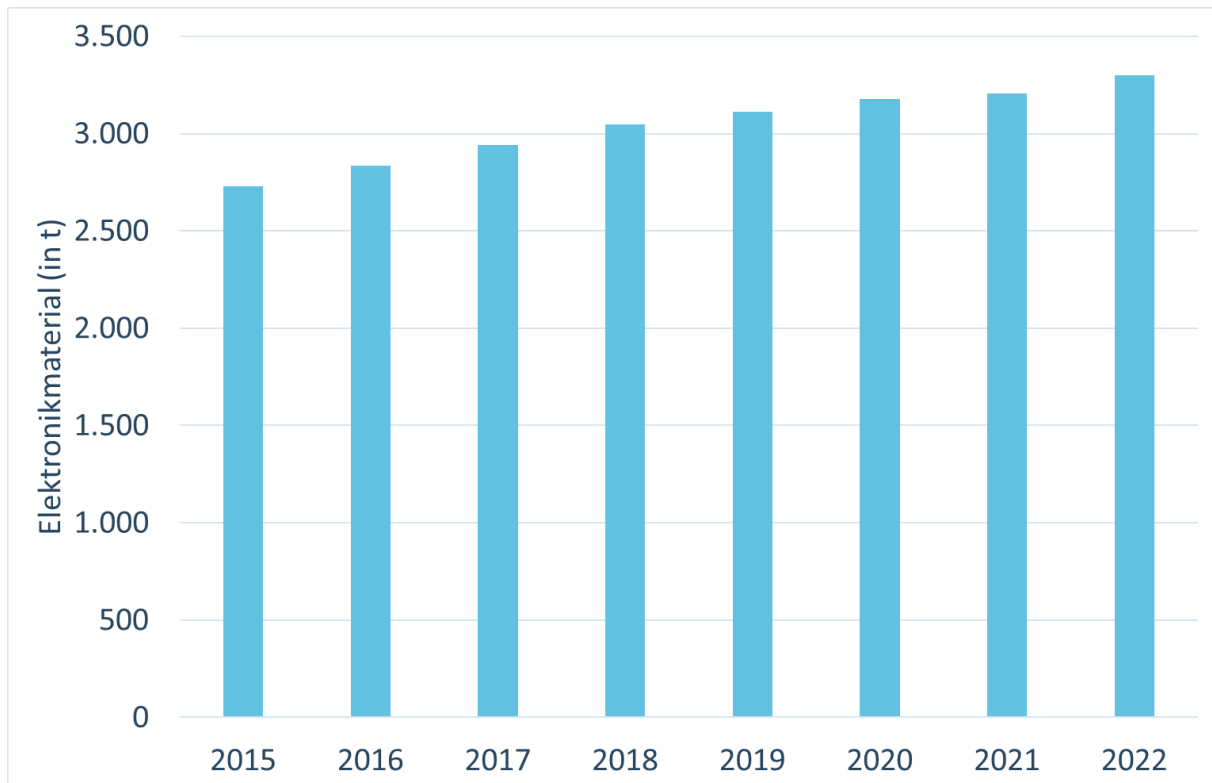
Ein zweiter Grund für die Fokussierung der bisherigen Untersuchungen auf Energiebedarf und Treibhausgasemissionen liegt darin, dass zu den anderen Umweltwirkungen bislang kaum belastbare Daten zur Verfügung stehen (Fichter & Hintemann, 2014; Pehlken et al., 2020; Penaherrera, Pehlken, Hintemann, Hinterholzer, & Koch, 2021). Während der Energiebedarf im Betrieb der Rechenzentren über die Analyse der verfügbaren Marktdaten noch vergleichsweise gut abschätzbar ist, gibt es nur sehr wenige Informationen zu anderen Ressourcenbedarfen wie Material-, Wasser- oder Flächenbedarf. Im Folgenden werden im Überblick grobe Abschätzungen zu den Auswirkungen der Rechenzentren in Bayern auf diese Ressourcen vorgestellt.

### **Materialbedarf**

Im Vergleich zu den Studien zu Energiebedarf und Treibhausgasemissionen von Rechenzentren ist ihr Materialbedarf bislang noch kaum erforscht. Dies liegt insbesondere an den methodischen Schwierigkeiten, den Gerätebestand in den Rechenzentren zu erfassen. Außerdem liegen bisher kaum belastbare Daten zu den Materialzusammensetzungen der Geräte und Anlagen vor. Die existierenden Daten zu Materialzusammensetzungen sind oft schon älteren Datums und können aufgrund der schnellen Fortschritte in der Technologieentwicklung und in den Fertigungstechnologien nur noch bedingt für neue Elektronikprodukte genutzt werden (Fichter & Hintemann, 2014; Hintemann et al., 2010; Penaherrera et al., 2021; Schödwell et al., 2018).

Eine grobe Abschätzung des Materialbedarfs der Rechenzentren in Bayern kann auf Basis der Daten des entwickelten Rechenzentrumsmodells zu den IT-Beständen in den bayerischen Rechenzentren vorgenommen werden. Das Modell erlaubt die zahlenmäßige Bestimmung der wesentlichen IT-Komponenten (verschiedene Servertypen und verschiedene Speichersysteme). Mit Hilfe der in der Studie „Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland“ (Hintemann et al., 2010) bestimmten Elektronikanteile dieser Geräte kann die Gesamtmasse der Elektronikkomponenten in bayerischen Rechenzentren abgeschätzt werden (Abbildung 1). Aktuell befinden sich in den bayerischen Rechenzentren ca. 3.300 t Elektronikmaterial – mit leicht steigender Tendenz. Geht man davon aus, dass die IT-Geräte in den Rechenzentren etwa in einem Zyklus von sechs Jahren ausgetauscht werden, so bedeutet das jährlich etwa 500 t Elektronikmaterial, das der Weiterverwertung zugeführt werden muss.

**Abbildung 12: Abschätzung der Entwicklung des Elektronikmaterials in bayerischen Rechenzentren und kleinen IT-Installationen in den Jahren 2015 bis 2022**



Quelle: Borderstep Institut

## Flächenbedarf

Wie andere Industriegebäude auch, haben Rechenzentren einen gewissen Flächenbedarf. Auf Basis der oben bestimmten IT-Fläche in den bayerischen Rechenzentren von etwa 300.000 m<sup>2</sup> wird grob ein Flächenbedarf für die Rechenzentrumsgebäude von bis zu 1 Mio. m<sup>2</sup> geschätzt. Aufgrund der steigenden Leistungsdichten in den Rechenzentren und einer Zunahme von mehrgeschossigen Rechenzentrumsgebäuden wird erwartet, dass sich dieser Flächenbedarf in Summe in Zukunft nicht weiter erhöhen wird. Für Rechenzentrums-Neubauten werden an anderer Stelle wahrscheinlich Gebäude mit ähnlichen Grundflächen außer Betrieb genommen.

Für die ökologische Bewertung des Flächenbedarfs der Rechenzentren sind insbesondere folgende Faktoren von Bedeutung:

- ▶ Auf welchen Flächen werden neue Rechenzentren gebaut? Sind dies unbebaute Naturflächen oder Industriebrachen? Werden ggf. Altlasten saniert oder Ausgleichsflächen geschaffen?
- ▶ Wie hoch ist die Geschoszahl der Rechenzentren? Mit dem Bau von mehrgeschossigen Gebäuden kann die Kapazität der Rechenzentren bezogen auf die Grundfläche sehr deutlich erhöht werden.
- ▶ Wie stark werden die Flächen versiegelt? Insbesondere die Beschaffenheit von Außenflächen wie Parkplätzen ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung.

## **Wasserbedarf**

Rechenzentren können einen erheblichen Wasserbedarf verursachen. Ein direkter Wasserbedarf im Rechenzentrum entsteht, wenn zur Kühlung der Rechenzentren eine Verdunstungskühlung verwendet wird. Dies ist zwar energieeffizient, benötigt aber große Mengen an Wasser. Relevant ist dabei aber auch, welche Art von Wasser verwendet wird und wie knapp die Ressource Wasser im lokalen/regionalen Umfeld ist. Kritisch ist insbesondere, dass hohe Wasserbedarfe vor allem an Tagen mit hohen Außentemperaturen vorliegen. An diesen Tagen ist Wasser häufig eher knapp.

Ein weiterer Wasserbedarf im Rechenzentrum entsteht, wenn Luft befeuchtet werden muss. Dies ist der Fall, wenn mit Außenluft gekühlt wird und diese (im Winter) nur eine geringe Feuchtigkeit aufweist. Luft mit zu geringer Feuchtigkeit kann z. B. zu Problemen durch elektrostatische Aufladung führen. Die Wassermengen, die zur Luftbefeuchtung benötigt werden, sind aber eher gering und stellen aus ökologischer Sicht keine Herausforderung dar.

Neben dem direkten Wasserbedarf im Rechenzentrum wird indirekt auch für die Stromproduktion Wasser benötigt, wenn der Strom mit Hilfe von Dampfturbinen erzeugt wird. Auch bei Wasserkraftwerken kann von einem Wasserbedarf gesprochen werden.

Über den Anteil der Nutzung von Verdunstungskühlung in den bayerischen Rechenzentren konnten keine Informationen gefunden werden. Eine grobe Abschätzung des möglichen Wasserbedarfs der bayerischen Rechenzentren kann mit Hilfe von Daten aus den USA durchgeführt werden. In einer Studie zum Energiebedarf des US Rechenzentren (Shehabi et al., 2016) wird angenommen, dass im Durchschnitt aller mittleren und größeren Rechenzentren ein direkter Wasserbedarf von 1,8 Litern pro verbrauchter kWh Strom besteht. Der indirekte Wasserbedarf durch die Stromerzeugung wird mit 7,6 Litern pro kWh abgeschätzt (Shehabi et al., 2016). Damit ergäbe sich als direkter Wasserbedarf der Rechenzentren in Bayern ein Wert von etwa 4 Mrd. Litern und als indirekter Wasserbedarf ein Wert von 24 Mrd. Litern.

## **Abwärmenutzung**

Insgesamt könnten nach einer Schätzung des Branchenverbandes Bitkom bis zu 350.000 Wohnungen in Deutschland mit Abwärme aus Rechenzentren geheizt werden (Bitkom, 2022). Dafür würden allein die etwa 90 Großrechenzentren mit mehr als 5 MW Anschlussleistung ausreichen. Allerdings gibt es in Deutschland bislang kaum Rechenzentren, deren Abwärme in größerem Umfang genutzt wird – in der Vergangenheit waren die Alternativen Öl und Gas einfach viel zu billig (Clausen, Hintemann, & Hinterholzer, 2022).

In der aktuellen Situation ist die Zahl von 350.000 durch Rechenzentren geheizte Wohnungen nur ein theoretischer Wert. Dazu müssten die Großrechenzentren an Fern- oder Nahwärmenetze angeschlossen werden. Oft sind diese vor Ort aber gar nicht vorhanden oder technisch ungeeignet, weil sie z.B. auf einem zu hohen Temperaturniveau arbeiten. Außerdem besteht eine Vielzahl ökonomischer und organisatorischer Herausforderungen, um Abwärmenutzung aus Rechenzentren in größerem Umfang möglich zu machen.

Die Bundesregierung hat mit dem Entwurf für das Energieeffizienzgesetz eine Initiative gestartet, mit der die Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Zukunft vorangebracht werden soll. In dem Gesetzesentwurf werden Betreibende von Rechenzentren verpflichtet, ihre Rechenzentren künftig so zu planen, bauen und betreiben, dass eine Abwärmenutzung möglich ist (BMWK, 2023). Aktuell ist mit

einem Gesetzesvorhaben zur kommunalen Wärmeplanung ergänzend vorgesehen, auch die Nachfrage nach Abwärme aus Rechenzentren zu fördern.

In Bayern gibt es bereits einige Leuchtturmprojekte zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren. Insbesondere beim IT-Dienstleistungszentrum in München, beim IT-Servicezentrum der Universität Bayreuth und beim Rechenzentrum der Universität Passau wird Abwärme bereits in erheblichem Umfang genutzt. Auch bei den neu geplanten „Bavarian Green Data Center“, „LEW Green Data Center“ sowie beim geplanten staatlichen Rechenzentrum in Markt Schwaben ist eine Abwärmenutzung vorgesehen (siehe auch Darstellungen Abschnitt 3.3).

Aktuell ist die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren eine der größten Herausforderungen. Das bestätigen auch die Interviews. Die bereits existierenden Projekte würden meist aus Nachhaltigkeitsgründen durchgeführt, eine Wirtschaftlichkeit wäre nicht gegeben. In Bayern existieren nach Angaben des AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. aktuell 27 Fernwärmenetze, in die jährlich etwa 6.200 GWh an Wärme eingespeist werden. Der Energieatlas Bayern<sup>6</sup> listet 344 – meist sehr kleine – Wärmenetze in Bayern auf. Um in diese Netze Wärme einspeisen zu können, muss aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus der Abwärme aus Rechenzentren oft eine Wärmepumpe betrieben werden. Die Stromkosten für den Betrieb dieser Wärmenetze übersteigen meist die erzielbaren Wärmeerlöse bei den Kundinnen und Kunden (Clausen et al., 2022). Auch stellen die notwendigen Investitionen in den weiteren Aufbau oder die Modernisierung von Wärmenetzen ein wesentliches Hemmnis dar. Die Mittel dafür ständen den Kommunen und Betreibenden von Wärmenetzen oft nicht zur Verfügung, wurde in den Interviews angemerkt.

Hinzu kommt, dass die bestehenden Wärmenetze bereits Lösungen und Verträge für die Lieferung von Wärme hätten. Oft wäre das Interesse der Wärmenetzbetreibenden gering, mit hohem Aufwand neue Wärmequellen in das Netz aufzunehmen.

Die verstärkte Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren scheint insbesondere dann möglich zu sein, wenn neue Wärmenetze auf niedrigem Temperaturniveau aufgebaut werden und neue Abnehmerinnen und Abnehmer für die Wärme gefunden werden. Als ein gutes Instrument hierfür erscheint die kommunale Wärmeplanung. In Baden-Württemberg besteht für alle größeren Kreisstädte die Pflicht, bis Ende 2023 einen kommunalen Wärmeplan vorzulegen. Kleinere Städte werden gefördert, wenn sie freiwillig einen kommunalen Wärmeplan erstellen. In Hessen wird eine ähnliche Regelung eingeführt. Auf Bundesebene gibt es aktuell auch ein entsprechendes Gesetzesvorhaben. Mit den kommunalen Wärmeplänen erfolgt eine Bestandsaufnahme des Wärmebedarfs- und Wärmeverbrauchs. Abwärmequellen werden identifiziert und die Potenziale einer klimaneutralen Wärmeversorgung in den Kommunen ermittelt. Auf dieser Basis wird ein Zielszenario erstellt und eine Strategie zur Umsetzung eines kommunalen Wärmeplans formuliert.

In Bayern gibt es – auch wenn es noch keine entsprechende Verpflichtung gibt – ebenfalls einige Aktivitäten zum Umbau der Wärmeversorgung. Zu nennen ist insbesondere der Energieatlas Bayern und das Beispiel für einen Energienutzungsplan im Landkreis München<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme)

<sup>7</sup> <https://www.landkreis-muenchen.de/themen/energie-und-klimaschutz/digitale-energienutzungsplanung/>

### 3.3 Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks der Rechenzentren in Bayern

Die technischen Möglichkeiten, den ökologischen Fußabdruck von Rechenzentren zu reduzieren, sind vielfältig. So führen z.B. die Best Practice Guidelines für den EU Code of Conduct für Energieeffiziente Rechenzentren (Acton, Bertoldi, & Booth, 2022) etwa 160 Einzelmaßnahmen auf, mit deren Hilfe die Energieeffizienz von Rechenzentren verbessert werden kann. Diese Maßnahmen setzen auf verschiedenen Ebenen an, z.B. beim Rechenzentrums-Management, beim IT-Equipment, bei der Ausgestaltung der Kühlsysteme, bei der Stromversorgung, beim Gebäude oder beim Monitoring des Energiebedarfs.

Im Folgenden wird beispielhaft an Rechenzentrumprojekten in Bayern gezeigt, wie der ökologische Fußabdruck von Rechenzentren weiter verringert werden kann. Tabelle 1 zeigt die dargestellten Fallbeispiele im Überblick.

**Tabelle 1: Best Practices Nachhaltige Rechenzentren Bayern**

Name	Betreibende / Errichtende
Bavarian Green Data Center	Universität Passau und Bayerisches Staatsministerium für Digitales
LEW Green Data Center	LEW Telnet
<b>Neubau des staatlichen Rechenzentrums</b>	Land Bayern
IT Zentrum 1	Hartl Group
MU 4	Equinix
Leibniz Rechenzentrum	Bayrische Akademie der Wissenschaften
Rechenzentrum der HypoVereinsbank	Hypo-Vereinsbank
Nürnberg Süd	Noris Network
IGN-Rechenzentrum	IGN
München Rechenzentrum 1	EMC - Home of Data
BlueDC	Zweckverband Laaber-Naab, Beratzhausen

#### Noris Network: Nürnberg Süd

Das Noris Network Rechenzentrum Nürnberg Süd ist seit 2022 in Betrieb und verfügt über eine IT-Fläche von 4000 m<sup>2</sup>. Als Teil des Ziels „Klimaneutralität bis 2030“ kommen mehrere Technologien zum Einsatz, um eine hohe Energieeffizienz zu erreichen. Der Strom wird nach Angaben des Unternehmens aus regenerativen Quellen bezogen.

Um die Effizienz zu erhöhen, werde zudem wiederaufbereitete Computerhardware genutzt, wo es möglich ist. Als erste Megawatt-USV-Anlage werden hier Lithium-Eisenphosphat (LiFePo<sub>4</sub>)-Batterien verwendet, die deutlich effizienter sind im Vergleich zu Bleibatterien. Für die Klimatisierung kommen

KyotoCooling-Wärmetauscher zum Einsatz, d.h. die gekühlte Luft strömt direkt auf die IT-Fläche und die Warmluft wird über einen Abluftbereich in der Deckenregion abgeführt. Dadurch werden Doppelböden eingespart, die in vielen anderen Rechenzentren zu finden sind.

Die Noris Network AG verfügt über weitere Rechenzentren in München, wo ebenfalls Kyoto-Cooling und klimaneutrale Stromversorgung genutzt werden.

**Tabelle 2: Best Practices Noris Network Rechenzentrum Nürnberg Süd**

Betreiber	Noris Network
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Eröffnung 2022 4000 m <sup>2</sup> IT-Fläche Standort in Nürnberg
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Stromnutzung aus regenerativen Quellen Nutzung wiederaufbereiteter Computerhardware Effizientere Batterien Klimatisierung über KyotoCooling
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.it-daily.net/shortnews/noris-network-eroeffnet-rechenzentrum-nuernberg-sued-offiziell">https://www.it-daily.net/shortnews/noris-network-eroeffnet-rechenzentrum-nuernberg-sued-offiziell</a>

### Universität Passau: „Bavarian Green Data Center“

Das geplante klimaneutrale Rechenzentrum und Modellprojekt der Universität Passau und dem Bayerischen Staatsministerium für Digitales befindet sich noch im Aufbau und soll 2024 fertiggestellt werden. Dabei treffen mehrere Technologien aufeinander, wie Stromversorgung durch erneuerbare Energien, aber auch die Abwärmenutzung für Urban Gardening. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Nutzung von Abwärme in einem verbundenen Gewächshaus. Dort soll die CO<sub>2</sub>-Aufnahmefähigkeit verschiedener Pflanzen getestet werden.

Einsparungen sind auch im Bereich intelligenter Planung der Rechenlast für Künstliche Intelligenz-Server geplant.

**Tabelle 3: Best Practices Universität Passau „Bavarian Green Data Center“**

Betreibende	Universität Passau und Bayerisches Staatsministerium für Digitales
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Rechenzentrum und Modellprojekt für die Zusammenführung verschiedener Technologien Fertigstellung 2024 geplant Standort in Passau
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Stromversorgung durch erneuerbare Energien Abwärmenutzung durch Urban Gardening
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.bayern.de/digitalministerium-entwickelt-mit-universitaet-passau-innovatives-klimaneutrales-rechenzentrum-gerlach-gut-fuer-klima-und-digitale-transformation/">https://www.bayern.de/digitalministerium-entwickelt-mit-universitaet-passau-innovatives-klimaneutrales-rechenzentrum-gerlach-gut-fuer-klima-und-digitale-transformation/</a>

### LEW Telnet: LEW Green Data Center

Das Rechenzentrum der LEW Telnet soll 2024 fertiggestellt werden und dann über ca. 1900 m<sup>2</sup> Fläche verfügen.

Sowohl Luft-Luft-Wärmetauscher, die ein hohes Freikühlungspotential haben, als auch USV-Anlagen mit kinetischem Energiespeicher statt Batterien werden als energiesparende Maßnahmen verwendet. Außerdem wird Wärmerückgewinnung durch Abwärmenutzung zum Beispiel in Form von Nahwärme zum Einsatz kommen. Die Stromversorgung soll mit erneuerbaren Energien abgedeckt werden. Eine Fassadenbegrünung ist ebenfalls geplant.

**Tabelle 4: Best Practices LEW Telnet LEW Green Data Center**

Betreiber	LEW Telnet
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Fertigstellung ab 2024 Colocation-Rechenzentrum mit ca. 1900 m <sup>2</sup> Fläche Standort in Augsburg
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Luft-Luft-Wärmetauscher USV-Anlagen mit kinetischem Energiespeicher Wärmerückgewinnung durch Abwärmenutzung Versorgung mit erneuerbarer Energie Dach - und Fassadenbegrünung
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.green-data-center.de/nachhaltigkeit">https://www.green-data-center.de/nachhaltigkeit</a>

### Land Bayern: Neubau des staatlichen Rechenzentrums

Das Land Bayern hat 2022 in Markt Schwaben den Bau eines staatlichen Rechenzentrums angekündigt. Systemrelevante Dienste, wie Server für Schulen in Bayern können darüber laufen. Das Rechenzentrum soll CO<sub>2</sub>-neutral werden und Restwärme in das bereits vorhandene Fernwärmenetz des Orts einspeisen.

Die Betreibenden erwarten in der Gegend zudem die Entstehung vieler Arbeitsplätze durch den neuen Bau.

**Tabelle 5: Best Practices Land Bayern: Neubau des staatlichen Rechenzentrums**

Betreiber	Land Bayern
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Planung begonnen 2022 Standort Markt Schwaben
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Geplante CO <sub>2</sub> Neutralität Restwärmenutzung in Fernwärmenetz
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.sueddeutsche.de/muenchen/ebersberg/rechenzentrum-markt-schwaben-1.5654954">https://www.sueddeutsche.de/muenchen/ebersberg/rechenzentrum-markt-schwaben-1.5654954</a>



### Hartl Group IT-Zentrum 1

Das 2016 in Betrieb genommene Rechenzentrum der Hartl Group in Hofkirchen bezieht Energie aus erneuerbaren Quellen und setzt mehrere andere Maßnahmen zur Energieeinsparung um. Unter anderem durch Photovoltaik-Anlagen auf dem Dach und eine eingebaute indirekte Verdunstungskühlung, die eine konstante Temperatur ohne Kompressoren gewährleistet, hat das Rechenzentrum bereits eine hohe Energieeffizienz erreicht.

Die Hartl Group strebt an, damit das energieeffizienteste Rechenzentrum Bayerns zu werden. Die Abwärme wird unter anderem genutzt, um einen integrierten Swimmingpool im Gebäude zu beheizen, der auch als Wasser-Backup dient.

**Tabelle 6: Best Practices Hartl Group IT-Zentrum 1**

Betreiberin	Hartl Group
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	In Betrieb seit 2016 Private-/Hybrid-/Public-Cloud Dienste Standort in Hofkirchen
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Energie aus erneuerbaren Quellen Photovoltaik auf dem Dach Indirekte Verdunstungskühlung Abwärmenutzung in integriertem Swimmingpool
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.hartl-group.de/wirtschaftlich-handeln-heisst-heute-energie-effizient-handeln/">https://www.hartl-group.de/wirtschaftlich-handeln-heisst-heute-energie-effizient-handeln/</a>

### Equinix: MU 4

Das dritte Rechenzentrum des Anbieters Equinix in München, MU 4 wurde 2022 in Betrieb genommen. Das Gebäude soll bei vollständigem Ausbau über mehr als 12.000 m<sup>2</sup> verfügen.

Als Teil der Equinix-Strategie, Klimaneutralität bis 2030 zu erreichen, kommen mehrere Technologien zur Energieeffizienz zum Einsatz. Sowohl Fassade als auch Dach sollen teilweise bepflanzt und begrünt werden als zusätzliche natürliche Isolierung und Kühlung.

Im nächsten Bauschritt soll zudem ein Ates-System (ATES = Aquifer Thermal Energy Storage) installiert werden, um Wärme-Energie zu speichern und die Kühleffizienz zu optimieren.

**Tabelle 7: Best Practices Equinix MU 4**

Betreiber	Equinix
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	In Betrieb seit 2022 Soll mehr als 12.000 m <sup>2</sup> Fläche umfassen Colocation- und Interconnection-Services für hauptsächlich lokale Unternehmen Standort zentral in München

<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Fassaden – und Dachbegrünung Ates-System zur Speicherung und Rückgewinnung von Wärme-Energie Energie aus erneuerbaren Quellen
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.datacenter-insider.de/equinix-nimmt-das-3-muenchner-datacenter-in-betrieb-a-1093113/">https://www.datacenter-insider.de/equinix-nimmt-das-3-muenchner-datacenter-in-betrieb-a-1093113/</a>

### Bayerische Akademie der Wissenschaften: Leibniz Rechenzentrum

Das über 22.000 m<sup>2</sup> große Rechenzentrum in München Garching versorgt in Zusammenarbeit mit der Universität München und der TU München Universitäten und Hochschulen in ganz Bayern mit IT-Dienstleistungen.

Die entstehende Abwärme der IT-Systeme kann für das Heizen von Hochschulgebäuden genutzt werden. Durch direkte Warmwasserkühlung wird dabei der Verzicht auf Kältemaschinen ermöglicht.

**Tabelle 8: Best Practices Bayerische Akademie der Wissenschaften Leibniz Rechenzentrum**

Betreiberin	Bayerische Akademie der Wissenschaften
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	IT-Versorgung der Universitäten und Hochschulen in ganz Bayern Über 22.000 m <sup>2</sup> Fläche Standort in München Garching
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Direkte Warmwasserkühlung Abwärmenutzung zur Gebäudeheizung
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.lrz.de/wir/green-it/ee-infrastruktur/">https://www.lrz.de/wir/green-it/ee-infrastruktur/</a>

### Hypo-Vereinsbank Rechenzentrum

Das 2021 modernisierte Rechenzentrum der Hypo-Vereinsbank in München nutzt „Inline Air-Cooling“ (INA) zur Energieeinsparung. Das Inline Air-Cooling ermöglicht es mittels Top-Coolern, in der Kälteaufbereitung Energie einzusparen. Die Top-Cooler saugen dabei die warme Luft an und kühlen sie mit Hilfe von raumnaheem Kühlwasser effizient ab. Das Rechenzentrum kommt mit dieser Kühltechnik ganzjährig ohne Kompressionskühler aus.

Die energetische Fassadensanierung trägt ebenfalls zur Energieeinsparung bei.

**Tabelle 9: Best Practices Hypo-Vereinsbank Rechenzentrum**

Betreiberin	Hypo-Vereinsbank
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	2021 modernisiert Standort in München
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	"Inline Air-Cooling" Energetische Fassadensanierung

**Quellen** <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/natuerliche-kaeltemittel-in-stationaeren-anlagen/aus-der-praxis/beispiele-aus-der-praxis/rechenzentrum#rechenzentrum-hypo-vereinsbank>  
<https://www.hvb-tower.de/index.php?id=22&L=0>

### IGN Rechenzentrum

Das bereits seit 2012 in München betriebene Rechenzentrum von IGN verfügt über eine Fläche von ca. 380 m<sup>2</sup>. Ein geringer Energiebedarf ergibt sich vor allem aus der Kühlung mit Grundwasser, das anschließend zurückgeführt wird und sich schnell wieder abkühlt.

Der notwendige Strom wird aus erneuerbaren Quellen durch den Zukauf von Grünstromzertifikaten bezogen. Einsparungen ergeben sich auch aus USV- Systemen mit einem hohen Teillast-Wirkungsgrad.

**Tabelle 10: Best Practices IGN Rechenzentrum**

Betreiber	IGN
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	In Betrieb seit 2012 Fläche von ca. 380 m <sup>2</sup> Standort in München
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Grundwasserkühlung USV-Systeme mit hohem Teillast-Wirkungsgrad Energie aus erneuerbaren Quellen
<b>Quellen</b>	<a href="https://www.ign.de/news-und-presse/aktuelle-meldungen/9-ign-eroeffnet-gruenes-rechenzentrum-in-muenchen.html">https://www.ign.de/news-und-presse/aktuelle-meldungen/9-ign-eroeffnet-gruenes-rechenzentrum-in-muenchen.html</a>

### EMC - Home of Data: “München Rechenzentrum 1”

Das Rechenzentrum München 1 ist ein CO<sub>2</sub>- neutrales Rechenzentrum des Münchner Colocation-Anbieters EMC – Home of Data. Es wird mit Grünstrom betrieben, der aus Flusswasserkraft und eigenen Photovoltaikanlagen kommt. Zudem wird mit dem Rechenzentrum seit 2021 das Projekt „Racks4Roots“ unterstützt. Dabei wird zusammen mit der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) jedes Jahr pro Rack ein Baum gestiftet, um Waldbestände zurückzubringen.

Seit 2013 sind ein adiabatisches Kühlsystem und Cool-Wall Kühlgeräte eingebaut. Geplant ist zudem eine Fassade aus Solar-Panels.

**Tabelle 11: Best Practices EMC - Home of Data “München Rechenzentrum 1”**

Betreiber	EMC - Home of Data
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Ca. 3300 m <sup>2</sup> Fläche Standort in München

<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Seit 2013 adiabatisches Kühlsystem Aufbau des Umwelt-Projekts „Racks4Roots“ Erneuerbare Energie (Flusswasserkraft und eigene Photovoltaikanlage) Geplante Fassade aus Solar-Panels Interne Nutzung von Abwärme Cool-Wall Technik
---	---

**Quellen**

<https://www.datacenter-insider.de/emc-home-of-data-redet-nicht-von-nachhaltigkeit-sondern-handelt-a-fcc4f2b86e744f532b87d2c36c58e0f7/>  
[https://www.emc-homeofdata.de/de/download?file=files/content/downloads/EMC\\_Flyer\\_A4\\_Factsheet.pdf&cid=4083](https://www.emc-homeofdata.de/de/download?file=files/content/downloads/EMC_Flyer_A4_Factsheet.pdf&cid=4083)

### Blue DC

Der Zweckverband der Wasserversorgungsgruppe Laber-Naab im oberpfälzischen Beratzhausen hat ein neues klimaneutrales Rechenzentrum mit einem innovativen Kühlkonzept errichtet. Das Rechenzentrum ist an das Wasserwerk gekoppelt und die Server werden mit Hilfe des 11 Grad kalten Wassers im Hochbehälter gekühlt. Damit kann ein PUE-Wert von 1,11 erreicht werden. Die Abwärme des Rechenzentrums wird zur Beheizung von Fahrzeughallen verwendet. Das Projekt wird im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert und wurde vom Verband Kommunaler Unternehmen e. V. (VKU) mit dem VKU-Innovationspreis 2023 in der Kategorie „Kommunale Wasser-/Abwasserwirtschaft“ ausgezeichnet.

**Tabelle 12: Best Practices Blue DC des Zweckverbandes Laber-Naab**

<b>Betreiber</b>	Zweckverband Laber-Naab
<b>Basisinformationen zum Rechenzentrum</b>	Inbetriebnahme im Jahr 2023
<b>Wesentliche Maßnahmen zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks</b>	Kühlung des Rechenzentrums über Wasser aus einem Wasserturm PUE-Wert vom 1,11 CO <sub>2</sub> -Minderung von 3.241 Tonnen im Jahr Abwärmenutzung für die Beheizung von Fahrzeughallen Erfüllt Kriterien des Blauen Engels und soll zertifiziert werden Rechenzentrum wird im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative gefördert
<b>Quellen</b>	<a href="https://line-of.biz/it-infrastruktur-und-rechenzentren/wasserwerk-und-rechenzentrum-intelligent-miteinander-koppeln/">https://line-of.biz/it-infrastruktur-und-rechenzentren/wasserwerk-und-rechenzentrum-intelligent-miteinander-koppeln/</a> <a href="https://www.zv-laber-naab.de/content/rechenzentrum/">https://www.zv-laber-naab.de/content/rechenzentrum/</a> <a href="https://www.klimaschutz.de/de/service/meldungen/ausgezeichnetes-projekt-das-nachhaltige-blaue-rechenzentrum">https://www.klimaschutz.de/de/service/meldungen/ausgezeichnetes-projekt-das-nachhaltige-blaue-rechenzentrum</a>

## **4 Handlungsempfehlungen für eine zukunftsgerichtete Standortpolitik für Rechenzentren in Bayern**

### **4.1 Handlungsfelder für einen bayerischen Weg zum nachhaltigen Rechenzentrumsstandort**

Die vorliegende Kurzstudie gibt erstmalig einen Überblick über die Entwicklung des Rechenzentrumsstandortes Bayern mit dem Fokus auf seine Auswirkungen auf die ökologische Nachhaltigkeit. Damit ist eine erste Grundlage für die Entwicklung einer zukunftsgerichteten Standortpolitik für Rechenzentren in Bayern geschaffen. Auf Basis der gewonnenen Informationen stellen sich für den Freistaat Bayern insbesondere zwei Fragen:

#### **Wie kann Bayern attraktiv als Rechenzentrumsstandort sein?**

Rechenzentren bilden das Rückgrat der Digitalisierung. Ohne eine leistungsfähige Rechenzentrumsinfrastruktur sind insbesondere die Ziele, die mit einer nachhaltigen Digitalpolitik – zum Beispiel im Rahmen des Klimaschutzes – verfolgt werden, nicht erreichbar. Ein Ziel der bayerischen Politik sollte daher sein, den nachhaltigen Ausbau der Rechenzentrumsinfrastruktur in Bayern zu fördern und Bayern attraktiv für die Ansiedlung von Rechenzentren zu machen.

#### **Wie kann die bayerische Staatsregierung darauf hinwirken, dass der Bau und Betrieb von Rechenzentren in Bayern möglichst ökologisch nachhaltig erfolgt?**

Wie die obigen Ausführungen gezeigt haben, benötigen Rechenzentren insbesondere viel Energie für ihren Betrieb. Der Energiebedarf der Rechenzentren in Bayern ist im vergangenen Jahrzehnt deutlich gestiegen und wird aufgrund des wachsenden Bedarfs an Rechenleistung voraussichtlich auch in Zukunft weiter ansteigen. Neben dem Energiebedarf gibt es aber auch weitere Umweltwirkungen, die beachtet werden müssen, wenn ein ökologisch nachhaltiger Betrieb von Rechenzentren erreicht werden soll. Damit die Rechenzentren in Bayern zukünftig so nachhaltig wie möglich betrieben werden können und ihr ökologischer Fußabdruck reduziert werden kann, sind unterstützende Maßnahmen der bayerischen Staatsregierung erforderlich.

Viele der Rahmenbedingungen für Rechenzentren werden auf EU-Ebene oder auf nationaler Ebene gesetzt. Der Freistaat Bayern kann durch seinen Einfluss an der Entwicklung der Rahmenbedingungen mitwirken, um einen attraktiven Standort in Europa zu entwickeln, die europäische digitale Souveränität zu erhalten und die ökologische Nachhaltigkeit zu fördern.

Aber auch auf Landesebene gibt eine Reihe von Ansatzpunkten für die bayerische Staatsregierung, im Bereich des Themenfeldes Rechenzentren die Ziele von Digitalisierung und nachhaltiger Entwicklung zu verbinden. Vor dem Hintergrund der durchgeführten Untersuchung werden für die oben genannten Fragestellungen insbesondere in folgenden Punkten Handlungsfelder gesehen:

- ▶ Unterstützung der Landkreise und Kommunen bei Projekten zur Ansiedlung von Rechenzentren und bei der Förderung eines nachhaltigen Betriebs von Rechenzentren
- ▶ Unterstützung der Rechenzentrumsbranche durch die Verbesserung der Standortbedingungen und durch die Anreize für den ökologisch nachhaltigen Bau und Betrieb von Rechenzentren
- ▶ Förderung der Forschung und Entwicklung zum nachhaltigen Betrieb von Rechenzentren

- ▶ Ausbau der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien in Freistaat Bayern
- ▶ Ökologische Modernisierung der landeseigenen IT und Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung auf ökologische Nachhaltigkeit

### **Übergreifende Maßnahmen**

Als übergreifende Maßnahmen der bayerischen Staatsregierung wird eine noch stärkere Fokussierung auf Nachhaltigkeit im Digitalplan Bayern vorgeschlagen. Die existierenden Maßnahmen zum Themenfeld Rechenzentren und Cloud-Computing könnten gebündelt werden. Denkbar wäre auch, für diese Maßnahmen und ggf. weitere Aktivitäten in dem Themenfeld eine zentrale Zuständigkeit in der Landesregierung zu schaffen, wie dies beispielsweise mit dem Rechenzentrumsbüro in Hessen oder durch die Kompetenzstelle GreenIT in Baden-Württemberg geschehen ist. Eine solche Stelle könnte auch die im Folgenden vorgestellten Handlungsempfehlungen umsetzen und koordinieren.

Weitere konkrete Handlungsempfehlungen für die genannten Handlungsfelder werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.

## **4.2 Handlungsempfehlungen für eine zukunftsorientierte Standortpolitik**

### **Unterstützung Landkreise und Kommunen**

In der Praxis stellt die neue Ansiedlung von größeren Rechenzentren oft eine schwierige Aufgabe für die betroffenen Kommunen dar. Bei den Kommunen ist oft keine oder wenig Erfahrung mit diesem Wirtschaftszweig vorhanden. Insbesondere bei kommerziellen Rechenzentren besteht häufig ein hohes Interesse an einer schnellen Realisierung der Projekte. Dies ist Herausforderung und Chance zugleich. Wie Erfahrungen aus dem Raum Frankfurt zeigen, sind viele Rechenzentrumsbetreibende gerne bereit, bei einer zügigen Bearbeitung der Genehmigungsprozesse beispielsweise besondere Maßnahmen zur besseren Verträglichkeit der Gebäude mit der Umgebung oder hinsichtlich der ökologischen Nachhaltigkeit zu ergreifen. Um hier zielgerichtet handeln zu können, ist es sinnvoll, die Kommunen durch entsprechende Maßnahmen zu unterstützen. Im Rahmen der durchgeführten Interviews konnten insbesondere zu folgenden Themen Informationsbedarfe bei den Kommunen identifiziert werden:

- ▶ Was heißt das eigentlich, wenn ein Rechenzentrum in einer Kommune neu gebaut wird? Welche Einflussmöglichkeiten hat die Kommune?
- ▶ Welche Vor- und Nachteile bietet die Ansiedlung eines Rechenzentrums für eine Kommune?
- ▶ Welche Vereinbarungen sind mit den Errichtenden und Betreibenden von Rechenzentren möglich?
- ▶ Wie kann die Kommune an Planungs-Know-how für den Rechenzentrumsbau gelangen?
- ▶ Wie kann eine geeignete Bürgerbeteiligung bei Ansiedlungsprojekten von Rechenzentren realisiert werden?
- ▶ Was bedeutet der hohe Strombedarf von Rechenzentren für den lokalen Strombezug bzw. die lokale Stromversorgung?

Speziell zu den Themen Nachhaltigkeit und Abwärmenutzung aus Rechenzentren werden folgende Informationsbedarfe gesehen:

- ▶ Welche Nachhaltigkeitswirkungen haben Rechenzentren? Wie ist ihr Energiebedarf, ihr Wasserbedarf und ihr Flächenbedarf? Welche negativen Wirkungen (z. B. Lärm, Abgase) können Rechenzentren auf die Nachbarschaft haben?
- ▶ Welche Finanzierungsmöglichkeiten für Nah- und Fernwärmeprojekte gibt es?
- ▶ Wie können die relevanten Akteure von Wärmenetzbetreibenden, Energieversorgenden, Technik anbietenden, Kommunen und Rechenzentren zusammengebracht werden?

Die bayerische Staatsregierung sollte ein Konzept entwickeln, wie Kommunen bei der Beantwortung dieser Fragen inhaltlich und finanziell unterstützt werden können. Dies kann beispielsweise über die Einrichtung einer zentralen Beratungsstelle für Kommunen, die an einer öffentlichen Organisation des Freistaats Bayern angesiedelt ist, geschehen. Sinnvoll ist es sicher auch, die Ebene der Landkreise und Akteure wie die Industrie- und Handelskammern und die Wirtschaftsförderungen in ein solches Konzept mit einzubeziehen.

Speziell zum Thema Abwärmenutzung wurde in den Interviews festgestellt, dass der Aufbau kommunaler Wärmenetze in vielen Fällen zu teuer für die Kommunen ist. Eine über die Bundesförderung hinausgehende Landesförderung wäre eine Möglichkeit, um dieses Hemmnis abzubauen.

### **Unterstützung der Rechenzentrumsbranche**

Die befragten Betreibenden von Rechenzentren berichteten alle, dass sie durch kommunale Behördenvertreterinnen und -vertreter gut unterstützt wurden und sahen hier auch im Vergleich zu anderen Bundesländern Vorteile in Bayern. Allerdings wurde bemängelt, dass auch in Bayern die Genehmigungsverfahren relativ langwierig sind und teilweise noch die Papierform erfordern. Mit dem Abbau bürokratischer Hemmnisse und der Beschleunigung von Genehmigungsverfahren kann die Rechenzentrumsbranche in Bayern also weiter unterstützt werden.

Eine Unterstützung der Branche wurde von den Rechenzentrumsbetreibenden darin gesehen, dass keine weiteren Hürden bei der Errichtung von Rechenzentren aufgestellt werden. Die Förderung des nachhaltigen Betriebs von Rechenzentren sollte möglichst über Anreize erfolgen. Insbesondere hinsichtlich der energieeffizienten Modernisierung von meist kleineren Bestandsrechenzentren, die On-Premise von Unternehmen und Behörden betrieben werden, wird ein Handlungsbedarf gesehen. Neben einer finanziellen Förderung von Effizienzmaßnahmen im Bereich der Nachrüstung und Ertüchtigung von solchen Rechenzentren wurde auch die Bereitstellung von Informationen angeregt. So könnten Leitfäden zur Modernisierung von Bestandsrechenzentren von einer Vielzahl kleinerer Rechenzentren und IT-Installationen in mittelständischen Unternehmen genutzt werden. Auch ein Leitfaden zum Thema Abwärmenutzung wurde angeregt. Für den Neubau von Rechenzentren wären Informationen über die verfügbaren nachhaltigen Technologie-Alternativen hilfreich. Möglich wären solche Informationen beispielsweise auch im Rahmen der Digitalisierungsinitiative des Freistaats Bayern.

Das Land könnte auch unterstützend durch die Organisation von Round Tables dazu beitragen, dass ein Austausch innerhalb der Branche und auch ein Austausch mit branchenfremden Akteurinnen und Akteuren erfolgen kann. Themen für solche Round Tables wären beispielsweise die Abwärmenutzung aus Rechenzentren oder die Versorgung mit Strom aus regenerativen Quellen

Vor dem Hintergrund des vorliegenden Entwurfs für das Energieeffizienzgesetz des Bundes wurde auch mehrfach angemerkt, dass Rechenzentren hier in Zukunft Unterstützung bräuchten, wie die darin formulierten spezifischen Maßnahmen von Rechenzentren umgesetzt werden können.

### **Förderung der Forschung und Entwicklung**

Bayern verfügt bereits über eine sehr gute Forschungslandschaft. Wie die oben dargestellten Beispiele zeigen, werden von den bayerischen Forschungseinrichtungen bereits eine Reihe von Projekten zu nachhaltigen Rechenzentren durchgeführt. Auch im Rahmen der Maßnahmen des bayerischen Digitalplans gibt es einige entsprechende Ansätze.

Auch wenn die Forschungsförderung im Wesentlichen auf Ebene der EU und auf Ebene des Bundes erfolgt, wäre es sinnvoll, für spezifisch bayerische Forschungsthemen aus dem Bereich des nachhaltigen Aufbaus und Betriebs von Rechenzentren eine ergänzende Förderung vorzusehen.

Von besonderer regionaler Bedeutung sind z. B. die Nutzung von Abwärme, die Versorgung mit regenerativ erzeugtem Strom und neue Lösungen für Energiespeicher. Auch die Bereitstellung von Flexibilitäten zur Stabilisierung des Stromnetzes (Jetter et al., 2021) könnte eine hohe regionale Bedeutung haben. Die Förderung von Machbarkeitsstudien für neue Technologien in Rechenzentren und ihrem Umfeld wäre ebenso ein geeigneter Ansatz, um das Forschungsprofil von Bayern in Bezug auf den nachhaltigen Rechenzentrumsbetrieb zu schärfen.

Neben der reinen Forschung kann auch die Weiterentwicklung der Lehre an den Hochschulen zu mehr Nachhaltigkeit bei Rechenzentren führen. Effiziente Algorithmen oder auch der Einsatz von Lösungen der Künstlichen Intelligenz zur Unterstützung eines nachhaltigen IT-Betriebs sind Themen, die im Lehrplan stärker berücksichtigt werden sollten.

### **Ausbau der Stromversorgung aus erneuerbaren Energien**

Für den Betrieb von Rechenzentren ist Stromversorgung ein zentrales Thema. Wie oben dargestellt sind die Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung ein wesentlicher Faktor für den ökologischen Fußabdruck von Rechenzentren. Mit den Anforderungen auf Ebene der EU (EU Kommission, 2020) und auf Bundesebene (BMWK, 2023) hat sich der Druck auf die Rechenzentren, künftig regenerativ erzeugten Strom zu nutzen, weiter erhöht. Im Rahmen des Climate Neutral Data Centre Pacts<sup>8</sup> haben sich mehr als 100 Betreibende von Rechenzentren in Europa verpflichtet, ihre Rechenzentren bis 2030 klimaneutral zu betreiben. Bereits heute gibt es eine Vielzahl von Rechenzentren, die über Ökostromverträge verfügen (Hintemann, Graß, et al., 2022).

Bislang ist der Strommarkt in Deutschland national organisiert. Daher erfolgt über den Markt keine direkte regionale klimaneutrale Stromversorgung. Dennoch spielt das Vorhandensein einer regionalen, regenerativen Stromversorgung für die Betreibenden von Rechenzentren eine Rolle. In den Interviews wurde von allen befragten Rechenzentrumsbetreibenden gewünscht, dass ein weiterer Ausbau von Photovoltaik und Windkraft in Bayern erfolgt. Damit könne in Zukunft eine nachhaltige, sichere und preiswerte Stromversorgung der Rechenzentren in Bayern gewährleistet werden. Eine Reihe von Rechenzentren in Bayern erzeugen einen (oft eher kleinen) Teil ihres Strombedarfs durch eigene Photovoltaik-Anlagen (siehe auch Kapitel 3.3). Auch die aktuelle Studie „Bayernplan Energie 2040“

---

<sup>8</sup> <https://www.climateneutraldatacentre.net/>



(Guminski & Kigle, 2023) betont die hohe Bedeutung des Ausbaus von Photovoltaik und Windenergie für die Klimaneutralität Bayerns.

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Stromversorgung in Bayern kann ein erheblicher Betrag zum künftigen klimafreundlichen Betrieb von Rechenzentren geleistet werden.

### **Ökologische Modernisierung der landeseigenen IT und Ausrichtung der öffentlichen Beschaffung auf ökologische Nachhaltigkeit**

Über seine eigenen Rechenzentren hat der Freistaat Bayern einen weiteren Hebel, den Rechenzentrumsstandort Bayern zu fördern und die ökologische Nachhaltigkeit der Rechenzentren zu verbessern. Nach Auskunft der befragten bayerischen Expertinnen und Experten gibt es trotz der umfangreichen Maßnahmen Bayerns, die Digitalisierung voran zu treiben, noch eine Reihe von öffentlichen Rechenzentren in Bayern, die technisch veraltet sind und ineffizient arbeiten. Es wird empfohlen, einen Maßnahmenplan zu entwickeln, wie in Bayern die vorhandenen landeseigenen Rechenzentren von Behörden und in Forschungseinrichtungen ökologisch modernisiert werden können. Für neue Rechenzentren kann eine Ausrichtung an den Kriterien des Blauen Engels für Rechenzentren als Hilfestellung zur nachhaltigen Planung und Betrieb dienen. Auch die Beschaffung von Geräten und Anlagen für Rechenzentren sollte verstärkt an ökologischen Kriterien ausgerichtet werden. Auch ein Outsourcen von Rechenzentrumsleistungen an ein (nachhaltiges) Rechenzentrumsdienstleistungsunternehmen kann eine Option sein, um die ökologische Nachhaltigkeit zu erhöhen.

In Baden-Württemberg wurden mit der Landesstrategie GreenIT (Baden-Württemberg, 2023) gute Erfahrungen gemacht, wie mit konkreten Zielsetzungen und über geeignete Maßnahmen die ökologischen Wirkungen der Landes-IT deutlich reduziert werden können.

## ANHANG: HINWEISE ZUR METHODIK DER STUDIE

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wurden mit Hilfe der Kombination verschiedener Methoden erzielt. Da es keine offiziellen Statistiken zum Rechenzentrumsmarkt in Bayern gibt, sind die ermittelten Zahlen und Daten als faktenbasierte Abschätzungen zu verstehen. Im Einzelnen wurden folgende Methoden genutzt:

- ▶ Desk Research: Es wurde eine umfassende Recherche in Literatur und Internet zu Rechenzentren mit dem Fokus auf Bayern durchgeführt und die Ergebnisse schriftlich zusammengefasst. Insbesondere wurden neue und aktuell verfügbare Daten zu Rechenzentren und entsprechende Studien ausgewertet.
- ▶ Interviews: Es sind Interviews mit verschiedenen Expertinnen und Experten geführt worden. Befragt wurden zum einen fünf Vertreter der Rechenzentrumsbranche: drei Betreiber von Rechenzentren in Bayern, ein Projektierer von Rechenzentrumsbauten und ein bayerischer mittelständischer Hersteller von Kühlanlagen für Rechenzentren. Aus Bayern wurden weiterhin ein Technologie-Experte für nachhaltige Rechenzentren, zwei Experten für Energiesysteme und ein Energie- und Umweltexperte einer Kommune interviewt. Außerdem wurden zwei Interviews mit Vertreterinnen und Vertretern aus Landesbehörden anderer Bundesländer geführt, die sich mit der Förderung nachhaltiger Rechenzentren beschäftigen.
- ▶ Modellierung: Das am Borderstep Institut vorhandene Modell zur Rechenzentrumslandschaft in Deutschland wurde erweitert und so angepasst, dass für das Land Bayern die Berechnung der Entwicklung von Kapazitäten, Energiebedarf und Treibhausgasemissionen möglich war. Der Anteil des bayerischen Rechenzentrumsmarktes am bundesdeutschen Markt konnte mit Hilfe der recherchierten Daten zu etwa 100 Dienstleistungs-Rechenzentren in Bayern sowie der Unternehmensstruktur der bayerischen Wirtschaft abgeschätzt werden. Das Modell ermöglicht die Betrachtung der Segmente Colocation-, Cloud-, Edge- und On-Premise-Rechenzentren.

Für die Kurzstudie konnte auf umfangreiche Vorarbeiten von Borderstep zurückgegriffen werden. Zu nennen sind hier insbesondere:

- ▶ Fichter, K., & Hintemann, R. (2014). Beyond Energy. The Quantities of Materials Present in the Equipment of Data Centers. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 846–858.
- ▶ Hanstein, B. (2014). Abschlussbericht Verbundprojekt AC4DC - Adaptive computing for green data centres.
- ▶ Hintemann, R., & Clausen, J. (2014). Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wettbewerbssituation. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM). Berlin.
- ▶ Hintemann, R., & Clausen, J. (2018). Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozio-ökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Berlin. Verfügbar unter: Berlin.
- ▶ Hintemann, R., Fichter, K., & Stobbe, L. (2010). Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland-Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen- und Energieeinsatz. Studie im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens "Produktbezogene Ansätze in der Informations- und Kommunikationstechnik" (Förderkennzeichen 370 893 302), Beauftragt vom Umweltbundesamt.
- ▶ Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). Rechenzentren in Deutschland—Aktuelle Marktentwicklungen. Bitkom.

- ▶ Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung—Teil 1. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland.
- ▶ Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Clausen, J. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung—Teil 2. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland.
- ▶ Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market. Berlin, Vienna: Borderstep Institute & Environment Agency Austria.
- ▶ Pehlken, A., Hintemann, R., Penaherrera, F., Gizli, V., Hurrelmann, K., Hinterholzer, S., ... Daumlechner, A. (2020). Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO. Oldenburg: TEMPRO
- ▶ Stobbe, L., Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H., & Beucker, S. (2015). Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland—Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Abgerufen von Fraunhofer IZM und Borderstep Institut.

## LITERATUR

- Acton, M., Bertoldi, P., & Booth, J. (2022). *2022 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency* (Nr. Version 13.1.1). Ispra (VA), Italy: Joint Research Centre. Abgerufen von Joint Research Centre website: <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/publications/2022-best-practice-guidelines-eu-code-conduct-data-centre-energy-efficiency>
- Baden-Württemberg. (2023, März 22). Landesstrategie Green IT. Abgerufen 11. Mai 2023, von Baden-Württemberg.de website: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/ministerium/aufgaben-und-organisation/nachhaltige-landesverwaltung/green-it/kompetenzstelle-green-it/die-landesstrategie>
- Bayerische Staatsregierung. (2022, August 2). Digitalministerium entwickelt mit Universität Passau innovatives, klimaneutrales Rechenzentrum / Gerlach: Gut für Klima und digitale Transformation – Bayerisches Landesportal. Abgerufen 9. Mai 2023, von <https://www.bayern.de/digitalministerium-entwickelt-mit-universitaet-passau-innovatives-klimaneutrales-rechenzentrum-gerlach-gut-fuer-klima-und-digitale-transformation/>
- Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., & Hilty, L. (2020). *Klimaschutz durch digitale Technologien*. Berlin: Bitkom e.V. Abgerufen von Bitkom e.V. website: <https://www.bitkom.org/klimaschutz-digital>
- Bitkom. (2022, Juli 26). Abwärme von Rechenzentren für Heizung und Warmwasser einsetzen | Presseinformation | Bitkom e.V. Abgerufen 22. Februar 2023, von <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Abwaerme-Rechenzentren-fuer-Heizung-Warmwasser-einsetzen>
- BMWK. (2023, April 19). Kabinett beschließt Energieeffizienzgesetz. Abgerufen 10. Mai 2023, von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/04/20230419-kabinett-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html>
- BSI. (2017). Rechenzentrums-Definition. Abgerufen 17. März 2021, von Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik website: <https://www.bsi.bund.de/dok/RZ-Definition>
- Clausen, J., Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2022). *Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland. Update 2022*. [Hintergrundpapier]. Berlin: Borderstep Institut.
- Cushman & Wakefield. (2023). Global Data Center Market Comparison 2023. Abgerufen 2. Mai 2023, von Cushman & Wakefield website: <https://www.cushmanwakefield.com/en/insights/global-data-center-market-comparison>
- EcoRZ. (2020). *Nachhaltige Rechenzentren Leitfaden*. Forschungsverbund Nachhaltige Rechenzentren Baden-Württemberg (EcoRZ). Abgerufen von Forschungsverbund Nachhaltige Rechenzentren Baden-Württemberg (EcoRZ) website: <https://www.nachhaltige-rechenzentren.de/wp-content/uploads/2021/04/2021-04-Studien-Corona-und-Rechenzentren-IER-Uni-Stuttgart.pdf>
- EU Kommission. (2020). *Gestaltung der digitalen Zukunft Europas (COM/2020/67 final)*. Abgerufen von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:67:FIN>
- Eurostat. (2023a). Cloud Computing Services. Abgerufen 29. Juli 2022, von [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc\\_cicce\\_use/default/bar?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_cicce_use/default/bar?lang=en)
- Eurostat. (2023b). Individuals—Use of cloud services. Abgerufen 9. Mai 2023, von [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC\\_CICCI\\_USE/default/table?lang=en&category=isoc.isoc\\_i.isoc\\_iiu](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_CICCI_USE/default/table?lang=en&category=isoc.isoc_i.isoc_iiu)
- Fichter, K., & Hintemann, R. (2014). Beyond Energy. The Quantities of Materials Present in the Equipment of Data Centers. *Journal of Industrial Ecology*, 18(6), 846–858.

- Guminski, A., & Kigle, S. (2023, Mai 2). Studie veröffentlicht: „Bayernplan Energie 2040“ zeichnet Wege zu Bayerns Treibhausgasneutralität. Abgerufen 11. Mai 2023, von FfE website: <https://www.ffe.de/news/studie-veroeffentlicht-bayernplan-energie-2040-zeichnet-wege-zu-bayerns-treibhausgasneutralitaet/>
- Hanstein, B. (2014). *Abschlussbericht Verbundprojekt AC4DC - Adaptive computing for green data centres*. Abgerufen von [https://www.tib.eu/de/suchen?tx\\_tibsearch\\_search%5Baction%5D=getDocument&tx\\_tibsearch\\_search%5Bcontroller%5D=Download&tx\\_tibsearch\\_search%5Bd%5D=89ce474be708d3076c2ec0153e5156f2&tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A858992612&cHash=77853715a74fd73fd8474eae52725b2e](https://www.tib.eu/de/suchen?tx_tibsearch_search%5Baction%5D=getDocument&tx_tibsearch_search%5Bcontroller%5D=Download&tx_tibsearch_search%5Bd%5D=89ce474be708d3076c2ec0153e5156f2&tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A858992612&cHash=77853715a74fd73fd8474eae52725b2e)
- Heunemann, F. (2020, Juli 30). Interxion im Traditionsbau: Milliardeninvestition in größten Internetknoten der Welt. *FAZ.NET*. Abgerufen von <https://www.faz.net/1.6883233>
- Hintemann, R. (2017). *Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation. Update 2017*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Studien/2017/Kurzstudie-RZ-Markt-Bitkom-final-20-11-2017.pdf>
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2014). *Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und Wettbewerbssituation. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM)*. Berlin. Abgerufen von <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-Wirtschaftliche-Bedeutung-und-Wettbewerbssituation.html>
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2016). *Der Rechenzentrumsmarkt in Hessen – Aktueller Stand im Jahr 2015 und Ausblick*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: <http://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/01/Studie-Rechenzentren-in-Hessen-2015-Stand-13-01-2016.pdf>
- Hintemann, R., & Clausen, J. (2018). *Potenzial von Energieeffizienztechnologien bei Colocation Rechenzentren in Hessen*. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit. Abgerufen von Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit website: <https://www.digitalstrategie-hessen.de/rechenzentren>
- Hintemann, R., Clausen, J., Beucker, S., & Hinterholzer, S. (2021). *Studie zu Nachhaltigkeitspotenzialen in und durch Digitalisierung in Hessen* [Studie für Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag der Hessischen Staatskanzlei, Hessische Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung]. Wiesbaden: Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung.
- Hintemann, R., Fichter, K., & Stobbe, L. (2010). Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland—Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von Ressourcen-und Energieeinsatz. *Studie im Rahmen des UFO-Plan-Vorhabens “Produktbezogene Ansätze in der Informations-und Kommunikationstechnik“(Förderkennzeichen 370 893 302), Beauftragt vom Umweltbundesamt*.
- Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). *Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022*. Berlin: Bitkom. Abgerufen von Bitkom website: <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-2022>
- Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). *Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung—Teil 1*. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>

- Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2022). *Entwicklungen im Rechenzentrumsmarkt Hessen—Chancen für eine nachhaltige Nutzung von Abwärme*. Berlin: Borderstep Institut. Abgerufen von Borderstep Institut website: <https://www.borderstep.de/publikationen/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Clausen, J. (2020). *Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung—Teil 2*. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Abgerufen von Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland website: <https://digitale-infrastrukturen.net/rechenzentren-in-europa-chancen-fuer-eine-nachhaltige-digitalisierung-teil-2/>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). *Herausforderungen und Chancen durch den Boom beim Neubau von Rechenzentren*. Wiesbaden: Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung. Abgerufen von Hessische Staatskanzlei, Ministerin für Digitale Strategie und Entwicklung website: [https://digitales.hessen.de/sites/digitales.hessen.de/files/2022-05/rechenzentrumsmarkt\\_hessen.pdf](https://digitales.hessen.de/sites/digitales.hessen.de/files/2022-05/rechenzentrumsmarkt_hessen.pdf)
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., Montevecchi, F., & Stickler, T. (2020). *Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market*. Berlin, Vienna: Borderstep Institute & Environment Agency Austria. Abgerufen von Borderstep Institute & Environment Agency Austria website: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bf276684-32bd-11eb-b27b-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-183168542>
- IDC. (2023). IDC - Servers—Market Share. Abgerufen 7. Februar 2023, von IDC: The premier global market intelligence company website: <https://www.idc.com/promo/servers>
- Iding, D. (2019, November 15). Rechenzentrum in Großauheim soll eines der größten Europas werden. Abgerufen 15. Dezember 2020, von <https://www.op-online.de> website: <https://www.op-online.de/region/hanau/hanau-rechenzentrum-grossauheim-soll-eines-groessten-europas-werden-13221251.html>
- Jetter, F., Veitengruber, F., Schmid, T., Guminski, A., von Roon, S., & Hübner, T. (2021). *Regionale Lastmanagementpotenziale—Quantifizierung bestehender und zukünftiger Lastmanagementpotenziale in Deutschland*. Abgerufen von <https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/signifikante-lastmanagementpotenziale-in-deutschland-bis-2045/>
- Klingenburg GmbH. (o. J.). Adiabate Kühlung—"Kühlen ohne Strom". Abgerufen 23. November 2017, von <http://www.klingenburg.de/wissen/adiabate-kuehlung/>
- Lai, H. (2022, Mai 16). Diskussion um geplantes Rechenzentrum in Ellingen. Abgerufen 9. Mai 2023, von BR24 website: <https://www.br.de/nachrichten/bayern/diskussion-um-geplantes-rechenzentrum-in-ellingen,T5vplWp>
- Nowitzky, G. (2012). Brunnenkühlung als Alternative: Kühlung aus der Tiefe. Abgerufen 23. November 2017, von IT-Zoom website: <https://www.it-zoom.de/it-mittelstand/e/kuehlung-aus-der-tiefe-4663/>
- Ostler, U. (2021, Juli 6). „Ich bin fassungslos!“ Staffan Reveman über grünen Strom für Datacenter. Abgerufen 11. Dezember 2021, von <https://www.datacenter-insider.de/ich-bin-fassungslos-staffan-revemann-ueber-gruenen-strom-fuer-datacenter-a-1035567/>
- Ostler, U. (2022, Februar 7). Equinix nimmt das 3. Münchner Datacenter in Betrieb. Abgerufen 9. Mai 2023, von <https://www.datacenter-insider.de/equinix-nimmt-das-3-muenchener-datacenter-in-betrieb-a-1093113/>
- Pehlken, A., Hintemann, R., Penaherrera, F., Gizli, V., Hurrelmann, K., Hinterholzer, S., ... Daumlechner, A. (2020). *Abschlussbericht Verbundprojekt TEMPRO*. Oldenburg: TEMPRO. Abgerufen von TEMPRO website: <https://tempro-energy.de/veroeffentlichungen>

- Penaherrera, F., Pehlken, A., Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Koch, B. (2021). *Softwarearchitektur für die Bewertung des Ressourcenbedarfes in Rechenzentren durch ganzheitliche Ressourceneffizienz*. <https://doi.org/10.18420/informatik2021-045>
- Schödwell, B., Zarnekow, R., Gröger, J., Liu, R., & Wilkens, M. (2018). *Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit* (Nr. 19/2018). Dessau-Roßlau. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>
- Schweikle, S.-M. (2022, September 11). Neues Rechenzentrum in Markt Schwaben geplant. Abgerufen 9. Mai 2023, von Süddeutsche.de website: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/ebersberg/rechenzentrum-markt-schwaben-1.5654954>
- Shehabi, A., Smith, S., Sartor, D., Brown, R., Herrlin, M., Koomey, J., ... Lintner, W. (2016). *United States Data Center Energy Usage Report* (Nr. LBNL-1005775). Berkeley, CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Abgerufen von Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory website: <https://eta.lbl.gov/publications/united-states-data-center-energy>
- Stobbe, L., Nissen, N., Proske, M., Middendorf, A., Schlomann, B., Friedewald, M., ... Leimbach, T. (2009). *Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft* (Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Nr. D 4 – 02 08 15 – 43/08; S. 164). Berlin, Karlsruhe: Fraunhofer IZM.
- Stobbe, Lutz, Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H., & Beucker, S. (2015). *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland—Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Abgerufen von Fraunhofer IZM und Borderstep Institut website: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- tagesschau.de. (2021, August 31). Google investiert in Standort Deutschland. Abgerufen 11. Dezember 2021, von Tagesschau.de website: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/google-cloud-deutschland-investieren-rechenzentren-101.html>
- TU Berlin IZE. (2008). *Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren. Studie zur Erfassung und Bewertung von innovativen Konzepten im Bereich der Anlagen, Gebäude und Systemtechnik bei Rechenzentren*. Berlin: TU Berlin - Innovationszentrum Energie (IZE). Abgerufen von TU Berlin - Innovationszentrum Energie (IZE) website: [http://www.energie.tu-berlin.de/uploads/media/IZE\\_Konzeptstudie\\_Energieeffizienz\\_in\\_Rechenzentren.pdf](http://www.energie.tu-berlin.de/uploads/media/IZE_Konzeptstudie_Energieeffizienz_in_Rechenzentren.pdf)
- Verbraucherzentrale. (2022). Ist ein Tarif mit Ökostrom und Ökogas überhaupt sinnvoll? Abgerufen 15. Mai 2023, von Verbraucherzentrale.de website: <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/preise-tarife-anbieterwechsel/ist-ein-tarif-mit-oekostrom-und-oekogas-ueberhaupt-sinnvoll-8207>
- WBGU. (2019). *Hauptgutachten: Unsere gemeinsame digitale Zukunft*. Berlin: Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Abgerufen von Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen website: <https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/unsere-gemeinsame-digitale-zukunft>