

Leitfaden für Kommunen zur nachhaltigen Ansiedlung von Rechenzentren



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	1
2	Einleitung	2
3	Ausgangslage und Herausforderungen in Hessen	5
4	Rolle der Kommune bei der Ansiedlung eines Rechenzentrums	6
4.1	Interkommunale Zusammenarbeit	7
4.2	Flächenausweisung	7
5	Grundlagen und Einführung zum Thema Rechenzentren	10
5.1	Digitalisierung in Europa und Hessen im Standortvergleich zu Deutschland	10
5.2	Typen von Rechenzentren und ihre Funktionsweise	11
5.3	Standortfaktoren für die Ansiedlung von Rechenzentren	14
5.4	Standortfaktoren aus Sicht der Kommunen	16
5.5	Standortfaktoren aus Sicht des RZ-Marktes	18
5.6	Standortfaktoren aus § 11 EnEfG	20
5.7	Rechenzentren als Chance für herausfordernde Standorte und Flächen	21
5.8	Chancen und Herausforderungen von Rechenzentren für Kommunen	23
6	Nachhaltige Gestaltung und Ansiedlung von Rechenzentren	30
6.1	Energieeffizienz und PUE-Wert	31
6.2	Grünen Strom und erneuerbare Energien nutzen	32
6.3	Nachhaltigkeitszertifizierungen für Rechenzentren	33
6.4	Wasserverbrauch und Kühlung	34
6.5	Begrünung und städtebauliche Integration	36
6.6	Flächeneffiziente Planung von Rechenzentren	38
6.7	Soziale Nachhaltigkeit und Community Engagement	40
7	Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz	42
7.1	Stakeholderanalyse	42
7.2	Bürgerdialoge	42

7.3	Kommunikations- und Beteiligungsmanagement	43
7.4	Klimafonds.	43
7.5	Konkrete Handlungsoptionen.	44
8	Energiebedarf und Energieeffizienzgesetz	46
8.1	Überblick über das Energieeffizienzgesetz	47
8.2	Wiederverwendung von Abwärme	49
8.3	Herausforderungen bei der Abwärmenutzung	50
8.4	Wirtschaftliche Perspektive der Abwärmenutzung	51
8.5	Rechtliche Grundlagen der Abwärmenutzung	52
8.6	Beteiligte Akteure bei der Abwärmenutzung	52
8.7	Ausnahmen von der Abwärmenutzungspflicht	53
8.8	Größenordnung der verfügbaren Abwärme	56
8.9	Abnehmer für Abwärme finden.	57
9	„Werkzeugkasten“ für Kommunen.	62
9.1	Potenzialflächenanalyse	62
9.2	Aufstellen eines Rechenzentrumsentwicklungsplans	63
9.3	Bauleitverfahren	64
9.4	Bedeutung der Bauleitplanung und Instrumente der kommunalen Steuerung	66
9.5	Steuerungsmöglichkeiten im Rahmen der Bauleitplanung	66
9.6	Städtebauliche Verträge	68
10	Kommunikation als Grundlage einer erfolgreichen RZ-Ansiedlung.	71
11	Fazit	73
12	Ansprechpartner, Netzwerke und weitere Informationen	74
13	Handreichungen	75
14	Abkürzungen und Begriffsbestimmungen	76
15	Glossar	78
16	Literatur- und Quellenverzeichnis	82

Die digitale Infrastruktur ist das Rückgrat einer modernen und wettbewerbsfähigen Wirtschaft. Rechenzentren nehmen hierbei eine zentrale Rolle ein, denn sie ermöglichen die Nutzung und Weiterentwicklung digitaler Technologien, die unser tägliches Leben prägen und die Grundlage für Innovation und Wachstum schaffen.

Hessen zählt heute mit einer IT-Anschlussleistung von ca. 1.000 Megawatt zu den stärksten Standorten für Rechenzentren in Kontinentaleuropa. Mit einem der weltweit größten Internetknotenpunkte, dem DE-CIX, einem hohen Anteil an Colocation-Kapazitäten und umfangreichen Investitionen von globalen Technologieunternehmen hat sich unser Land zu einem vitalen, digitalen Ökosystem weiterentwickelt – mit mittlerweile über 130.000 Beschäftigten. Diese Position wollen wir gezielt weiter ausbauen und die Rahmenbedingungen des Rechenzentrumsstandorts beständig verbessern. Dabei müssen die teilweise unterschiedlichen Interessen von Rechenzentrumsunternehmen, Stromnetzbetreibern und Anwohnern berücksichtigt und in tragfähige Lösungen zusammengeführt werden. Wir setzen hierbei auf eine enge Zusammenarbeit und den kontinuierlichen Dialog, um den Rechenzentrumsstandort Hessen nachhaltig und zukunftsorientiert zu stärken.

Bei der Ansiedlung von Rechenzentren stehen Kommunen unzweifelhaft vor komplexen Herausforderungen – von der Flächenverfügbarkeit bis hin zu Energie- und Nachhaltigkeitsfragen. Der Leitfaden bündelt bestehendes Wissen und Praxiserfahrungen aus Gesprächen und Best-Practice-Beispielen. Mit dem Leitfaden und unserem Rechenzentrumsbüro als erste Anlauf- und Beratungsstelle, möchten wir Sie, die kommunalen Vertreterinnen und Vertreter, gezielt unterstützen und ihnen praxisnahe Informationen und Vorschläge an die Hand geben, um den Rechenzentrumsstandort Hessen nachhaltig weiterzuentwickeln. Gemeinsam für ein starkes und zukunftssicheres digitales Hessen.



Prof. Dr. Kristina Sinemus
Hessische Ministerin für
Digitalisierung und Innovation

Gestaltungsspielräume nutzen – Rechenzentren erfolgreich ansiedeln

Die zunehmende Nachfrage nach Rechenzentrumskapazitäten verändert die Rechenzentrumslandschaft in Deutschland grundlegend. Während kleinere, dezentrale Rechenzentren in der Vergangenheit vorherrschten, gewinnen heute größere Colocation- und Cloud-Rechenzentren an Bedeutung. Diese Entwicklung ist vor allem auf die hohen Sicherheitsstandards und die effiziente Energienutzung sowie auf die wirtschaftlichen Skaleneffekte dieser Zentren zurückzuführen. Gleichzeitig bringt der wachsende Markt für Rechenzentren neue Herausforderungen mit sich, die bereits im Ansiedlungsprozess berücksichtigt werden müssen – diese betreffen insbesondere den Energie- und Ressourcenverbrauch der Gebäude.

Die Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main stellt ein zentrales Beispiel für diese Entwicklung dar. Als einer der bedeutendsten Finanzstandorte Europas, Standort eines der weltweit größten Internetaustauschknoten DE-CIX und wichtiger Akteur im globalen Datentransfer, bietet Frankfurt ideale Voraussetzungen für Rechenzentren. Durch die Nähe zu DE-CIX lassen sich hohe Bandbreiten zu niedrigen Kosten bereitstellen und geringe Latenzzeiten gewährleisten. Diese Standortfaktoren tragen wesentlich zur Attraktivität der Region für Rechenzentrumsbetreiber bei.

Dieser Leitfaden bündelt die bisher verfügbaren Handreichungen und erweitert diese auf Basis von Gesprächen mit Vertretern von Kommunen, Rechenzentrumsbetreibern, der Wirtschaftsförderung sowie Verbänden. Diese Gespräche dienten dazu, Erfahrungen und Best-Practice-Beispiele zu sammeln, Steuerungsmechanismen kennenzulernen und fundierte Empfehlungen formulieren zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in den Leitfaden eingeflossen und bieten den Kommunen wertvolle Hilfestellungen für eine strukturierte Entscheidungsfindung bei der Ansiedlung von Rechenzentren.

Der vorliegende Leitfaden beleuchtet unterschiedliche Faktoren bei der Ansiedlung von Rechenzentren ([Abbildung 1](#)) und vermittelt Kommunen einen grundlegenden Rahmen, welche positiven Aspekte von Rechenzentren besonderes Augenmerk erhalten müssen und an welchen Stellen es sinnvoll ist, steuernd einzugreifen. Damit soll die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stakeholdern bei der Rechenzentrumsansiedlung erleichtert werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der kommunalen Wärmeplanung, aber auch bei der Realisierung von weiteren Nachhaltigkeitspotenzialen kann der Leitfaden unterstützen. Hessen kann bereits einige sehr gute Fallbeispiele anführen, dass eine solche positive

Ausgestaltung von Hanau über Hattersheim bis Raunheim und Dietzenbach möglich ist.

Wir können die Kommunen hier nur ermutigen, sich zu vernetzen, um voneinander zu lernen und auch den aktiven Kontakt mit dem hessischen Rechenzentrumsbüro und der Rechenzentrumsbranche zu suchen, um künftige Projekte noch besser zu gestalten.

Hinweis: Die Informationen in diesem Leitfaden sind sorgfältig geprüft und wurden nach bestem Wissen bereitgestellt. Sie dienen allgemeinen Informationszwecken. Wir übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität der in diesem Leitfaden enthaltenen Informationen.

Die in diesem Leitfaden bereitgestellten Informationen stellen keine Rechtsberatung dar und sollen keine rechtlichen Fragen oder Probleme behandeln, die in individuellen Fällen auftreten können. Sie sind allgemeiner Natur und dienen ausschließlich zu Informationszwecken. Wenn Sie rechtlichen Rat für Ihre individuelle Situation benötigen, sollten Sie den Rat von einem qualifizierten Anwalt einholen.

Standortsuche für Rechenzentren

Die Wahl des richtigen Standorts für ein Rechenzentrum ist ein komplexes Zusammenspiel aus „harten“ und „weichen“ Faktoren sowie Kriterien, die sich grob in unverzichtbare, empfohlene und optionale Anforderungen einteilen lassen. Einige dieser Faktoren können in messbaren, physikalischen Größen ausgedrückt werden, z.B. Sicherheitsabstände oder Energieverbräuche. Andere beruhen hingegen auf Erfahrungswerten aus verschiedenen Marktsektoren und Branchen, wie beispielsweise öffentliche Akzeptanz oder Genehmigungsprozesse.

Die in [Abbildung 1](#) dargestellten Faktoren erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit; sie sollen vielmehr einen Einblick in die Vielschichtigkeit dieses Entscheidungsprozesses geben.

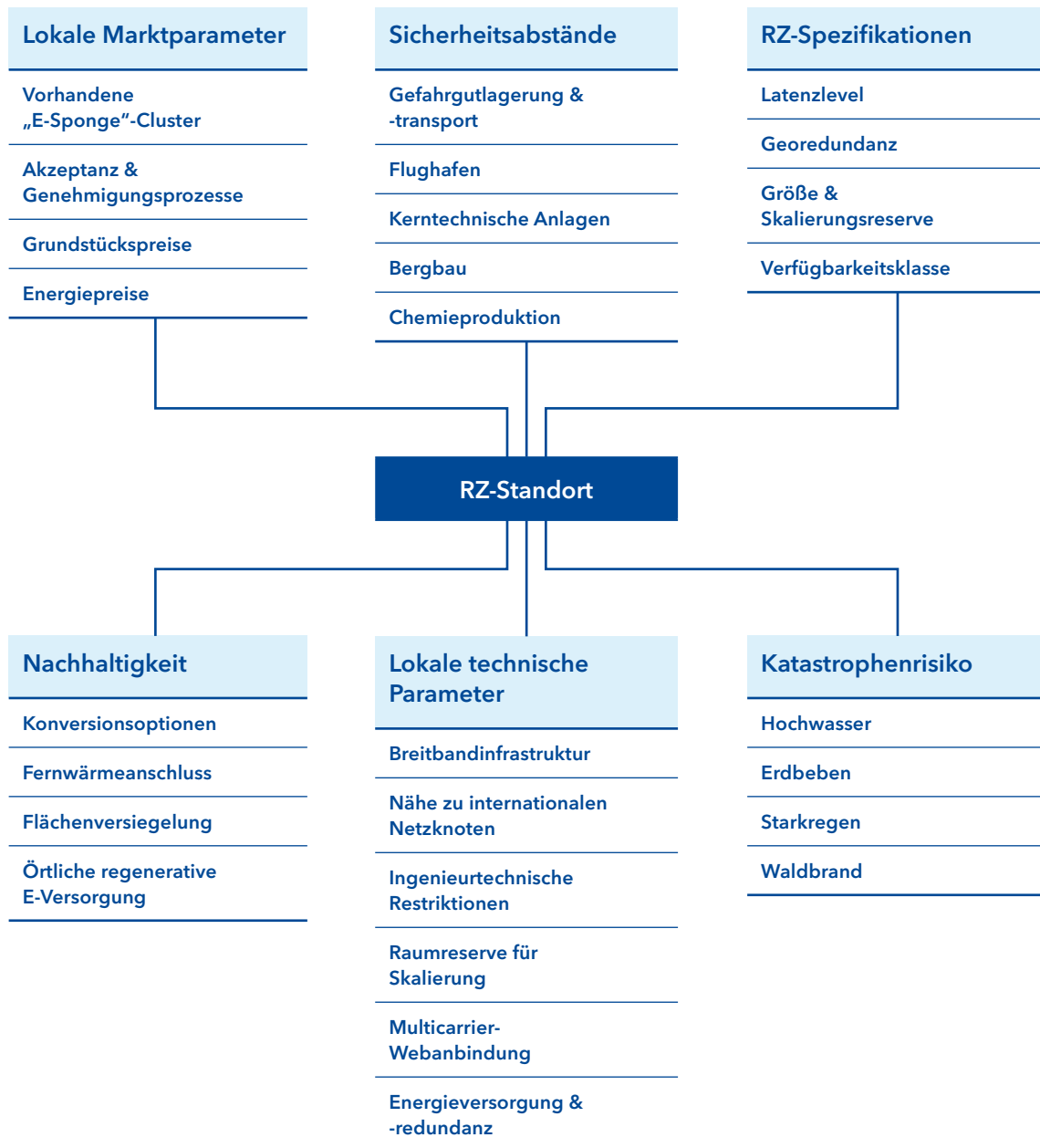


Abbildung 1: Aggregierte und generalisierte Darstellung unterschiedlicher Faktoren bei der Ansiedlung von Rechenzentren (Quelle: eigene Darstellung nach Arcadis Germany GmbH)

Aufgrund des DE-CIX-Internetknotenpunkt hat die Region Frankfurt/Rhein-Main eine bedeutende Rolle für Rechenzentren. Der zunehmende Mangel an geeigneten Gewerbeflächen mit Stromanbindung führt dazu, dass Rechenzentrumsbetreiber ihre Standortsuche immer weiter in die Umgebung von Frankfurt ausdehnen und zunehmend auch in relativ kleinen Kommunen vorstellig werden. Kommunen mit fehlender oder geringer Rechenzentrumserfahrung tun sich dabei oft schwer, die für sie relevanten Themen zu identifizieren und mit Rechenzentrumsbetreibern oder Planungsbüros inhaltlich auf Augenhöhe Gespräche zu führen. Hinzu kommen neue Anforderungen durch das Energieeffizienzgesetz, die kommunale Wärmeplanung sowie weitere Fragestellungen zur Nachhaltigkeit. Diese Faktoren weisen jedoch auch Synergiepotenzial auf, da Rechenzentren durch ihre Abwärme einen entscheidenden Beitrag leisten können, die Ziele der Kommunen in Hinblick auf die Wärmeplanung zu erreichen.

Eine übergreifende Planung zur strategischen Ansiedlung von Rechenzentren wie die Aufnahme von Rechenzentren in den Landesentwicklungsplan, wie von einigen Kommunen und Akteuren vorgeschlagen, wird aufgrund der sehr komplexen Abstimmungsprozesse und der Planungshorizonte derzeit als nicht zielführend angesehen. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass die Rechenzentrumsentwicklung sehr dynamisch verläuft, wohingegen das Verfahren zur Änderung des Landesentwicklungsplans zeitaufwendig ist.

Angesichts der wachsenden Herausforderungen des Klimawandels – etwa in Form der urbanen Erwärmung und regionalen Wasserknappheit – ist eine koordinierte Zusammenarbeit zwischen allen relevanten Akteuren unverzichtbar. Die Verfügbarkeit von Strom- und Wärmeinfrastruktur könnte dabei als entscheidender Steuerungsfaktor dienen. Ebenso wäre eine Verknüpfung mit einer überregionalen Wärmeplanung ein vielversprechender Ansatz.

Planungen finden vorwiegend auf kommunaler Ebene oder vereinzelt auf Kreisebene statt. Der vorliegende Leitfaden soll daher den Kommunen als praktisches „Werkzeug“ dienen und das Bewusstsein dafür stärken, wo interkommunale Zusammenarbeit sinnvoll ist. Zudem wird empfohlen, frühzeitig den Dialog mit Rechenzentrumsbetreibern zu suchen, da diese großes Interesse daran haben, die Realisierbarkeit ihrer Projekte einschätzen zu können.

Zur Unterstützung dieses Dialogs hat das Land Hessen das hessische Rechenzentrumsbüro gegründet. Es dient Kommunen, Bürgern und Rechenzentrumsbetreibern als zentrale Anlaufstelle. Ziel des Rechenzentrumsbüros ist es, durch den Austausch mit allen relevanten Akteuren nachhaltige Ansätze bei der Ansiedlung von Rechenzentren zu fördern und den Wirtschaftsstandort Hessen langfristig zu stärken.

→ Rolle der Kommune bei der Ansiedlung eines Rechenzentrums

Kommunen spielen eine wichtige Rolle bei der nachhaltigen Ansiedlung von Rechenzentren. Sie haben vielfältige Möglichkeiten von Rechenzentrumsbetreibern Maßnahmen für eine sozial, ökologisch und ökonomisch förderliche Ansiedlung zu fordern und sie auf dem Weg zu einem nachhaltigen Rechenzentrum zu begleiten.

Die Rolle der Kommunen bei der Ansiedlung eines Rechenzentrums liegt nicht nur im Bereich hoheitlicher Funktionen wie der Bauleitplanung, sondern auch in der Unterstützung eines wirkungsvollen Austauschs mit städtischen Betrieben, Behörden und ggf. Wärme- und Stromnetzbetreibern. So können Kommunen bzw. städtische Betriebe (z.B. Wärmenetzbetreiber) gleichzeitig auch aktive Partner eines Rechenzentrums im Rahmen der Abwärmenutzung sein oder Umsetzungspartner von Maßnahmen im Community Management.

Insbesondere die Wirtschaftsförderung kann sich aktiv für die „Vermarktung“ des Vorhabens nach innen engagieren, d.h. in die zuständigen Behörden, die Politik und die Öffentlichkeit hinein. Sie kann eine Plattform für einen wirkungsvollen Austausch schaffen und eine wichtige Vermittlerrolle einnehmen, wenn es darum geht, Nachhaltigkeitsaspekte in Form von konkreten Verpflichtungen zu verankern. Aber auch der Aufbau einer interkommunalen Zusammenarbeit ist wichtig. Viele Aspekte einer nachhaltigen Rechenzentrumsansiedlung erstrecken sich über die Grenzen einzelner Kommunen hinaus.

Hieraus ergibt sich folglich ein großes Potenzial für interkommunale Kooperation und Abstimmung.

4.1 Interkommunale Zusammenarbeit

Die Bauleitplanung gemäß Baugesetzbuch ist eine originäre Aufgabe und Verantwortung der einzelnen Kommune. Gleichzeitig zeigt sich jedoch zunehmend interkommunaler Abstimmungs- und Zusammenarbeitsbedarf – teilweise sogar landkreisübergreifend –, um übergreifende Themen wirkungsvoller anzugehen.

Die interkommunale Zusammenarbeit bietet sich insbesondere bei der Flächenausweisung, der Wärmeversorgung, den Netzanschlüssen und der Planungsunterstützung an. Im Ballungsraum Frankfurt/Rhein-Main besteht mit dem Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main ein Akteur, der für die regionale Flächennutzungsplanung zuständig ist.

4.2 Flächenausweisung

Die Identifizierung von geeigneten Flächen für Rechenzentren ist auf Basis der Kriterien von Kommunen und des Rechenzentrumsmarktes nicht einfach. Einige Kommunen legen Wert darauf, große Flächenversiegelungen zu vermeiden, während andere über umfangreiche ungenutzte Gewerbeflächen verfügen, die für entsprechende Projekte infrage kommen. Wie im Kapitel zu Standortfaktoren ([Kapitel 5.3](#)) erläutert, gibt es eine Vielzahl von Kriterien, anhand derer eine mögliche Rechenzentrumsfläche bewertet werden kann. Dies kann zwar jede Kommune für sich tun, aber die notwendigen, über das Gebiet der Kommune hinausgehenden Infrastrukturmaßnahmen kann sie nicht beeinflussen.

Wärmeversorgung

Vor dem Hintergrund der kommunalen Wärmeplanung und dem Potenzial der Abwärmenutzung aus Rechenzentren ist eine interkommunale Zusammenarbeit in Hinblick auf die Errichtung und den Betrieb von Wärmenetzen sinnvoll. Gemäß § 4 Abs. 3 Wärmeplanungsgesetz (WPG) können Gemeinden die Wärmeplanung gemeinsam durchführen.

Eine interkommunale Zusammenarbeit bringt hierbei folgende Vorteile:

- Vergrößerung der Wärmesenke gemäß § 11 Abs. 2 S. 1 Nr. 2 EnEg
 - Interkommunale Wärmenetze können auch kapazitativ größer ausgelegt werden, sodass die Wärmesenke auch größer ist und ein höherer Anteil der Abwärme genutzt werden kann. Dies funktioniert aus Kostensicht aber im Regelfall nur dort, wo Kommunen relativ dicht beieinander liegen.
- Schaffung von Redundanzen in der Einspeisung
- Verteilung von Investitionsvolumina
- Erzielung einer kritischen Masse an Wärmeabnehmern
- Reduzierung der Abhängigkeit der Wärmeversorgung von einem Rechenzentrum
 - Wenn mehrere Rechenzentren in ein Netz einspeisen, lässt sich das Risiko reduzieren, dass die Wärmeversorgung bei Auslaufen eines großen Liefervertrags mit einem einzelnen Rechenzentrum gefährdet wird.

Netzanschlüsse

Ein zentrales Problem, das von kommunalen Vertretern und Netzbetreibern geschildert wird, ist die Vielzahl unterschiedlicher Akteure, die dieselben Grundstücke oder Gebiete für Rechenzentren anfragen. Das verzögert die Bearbeitungszeiten und erschwert eine effektive Netzplanung. Zudem erfahren Netzbetreiber auf Hochspannungsebene häufig nicht rechtzeitig von kommunalen Plänen, Vorrang- oder Ausschlussgebiete für Rechenzentren auszuweisen. Es ist sinnvoll, dass Kommunen auf Landkreisebene oder regionaler Ebene den Dialog mit relevanten Stromnetzbetreibern auf Mittelspannungsebene, Hochspannungsebene (z.B. Syna, Avacon, Westnetz, ENO ...) sowie auf Höchstspannungsebene (Amprion und Tennet) suchen, um gemeinsam geeignete Anschlussmöglichkeiten und Flächen für neue Umspannwerke zu identifizieren. Auf diese Weise können Standorte mit vertretbarem Erschließungsaufwand priorisiert und langfristig geeignete Flächen berücksichtigt werden.

Da ein Netzanschluss auf Mittelspannungsebene unter Umständen eine Kaskade von Maßnahmen nach sich zieht, kann so festgelegt werden, welche Flächen am einfachsten erschlossen werden können. Außerdem können auch Flächen für neue Umspannwerke der Stromnetzbetreiber identifiziert werden, wenn diese neuen Umspannwerke erforderlich sind, um neue Rechenzentren anzusiedeln.

Das derzeitige Vorgehen führt dazu, dass Rechenzentren dort entstehen, wo es einem Rechenzentrumsentwickler gelingt, einen Netzanschlussvertrag zu erwirken. Dies muss jedoch nicht unbedingt den Entwicklungszielen der Kommunen entsprechen. Darum legt die Situation eine ganzheitliche Planung nahe, in die alle Spannungsebenen einbezogen sind.

Eine überregionale Koordination schafft Synergien und ermöglicht tragfähige Lösungen. Solche Abstimmungen sollten daher nicht auf kommunaler Ebene, sondern regional organisiert werden, um alle relevanten Akteure effizient einzubinden.

Planungsunterstützung

Rechenzentrumsprojekte sind komplex und stellen insbesondere für kleinere Kommunen eine Herausforderung dar. Um hier gezielt Unterstützung zu ermöglichen, wird eine stärkere interkommunale Zusammenarbeit empfohlen.

Kommunalvertreter betonen insbesondere den Wert eines regelmäßigen Austauschs. Durch das Teilen positiver wie negativer Erfahrungen können Kommunen voneinander lernen.

Darüber hinaus regen Kommunalvertreter eine Zusammenarbeit der Kommunen bei der Auswahl und Ausschreibung von Planungsleistungen zur Unterstützung von Rechenzentrumsprojekten an. Hier bietet es sich an, Rahmenverträge mit erfahrenen Planungsbüros abzuschließen, die die Kommunen sowohl beratend als auch – bei Bedarf – planend unterstützen. Insbesondere für kleinere Kommunen wird ein solcher Weg als entlastend angesehen.

Auf diese Weise können Wissensasymmetrien bezüglich Rechenzentrums-themen reduziert werden.

5.1 Digitalisierung in Europa und Hessen im Standortvergleich zu Deutschland

Die voranschreitende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft führt zu einem Ausbau der digitalen Infrastrukturen weltweit. Leistungsfähige Telekommunikationsinfrastrukturen und Rechenzentren sind essenzielle Wettbewerbsfaktoren und wichtig für die digitale Souveränität Deutschlands.

Vor allem für neue Lösungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz werden enorme Rechenleistungen benötigt. Die Europäische Union und ihre Mitglieder versuchen über vielfältige Maßnahmen, die eigene Wettbewerbsfähigkeit und Souveränität in diesem Technologiefeld zu erhalten.

Gründe für die Ansiedlung von Hyperscale-Cloud-Anbietern in Deutschland:

- Geringe Latenzzeiten durch die Nähe zum Kunden
 - Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit
 - Weitere Punkte, wie Stabilität der Märkte, Verlässlichkeit etc.
-

Deutschland ist der größte Rechenzentrumsmarkt Kontinentaleuropas. Auch hierzulande steigen die Investitionen in Rechenzentren deutlich an. Zwischen 2010 und 2024 haben sich die Rechenzentrumskapazitäten in Deutschland mehr als verdoppelt (Bitkom 2024). Auch die Struktur der Rechenzentren wandelt sich. Wurden bis vor wenigen Jahren sehr große Rechenzentren von internationalen, sogenannten Hyperscale-Cloud-Anbietern in Europa vor allem in Skandinavien, Irland oder den Niederlanden gebaut, gibt es mittlerweile auch in Deutschland viele Projekte für sehr große Rechenzentren mit Anschlussleistungen von 10 MW bis zu 500 MW.

Innerhalb Deutschlands befindet sich der größte Rechenzentrumsmarkt im Raum Frankfurt/Rhein-Main. Diese Konzentration ist vor allem begründet durch den DE-CIX, den hinsichtlich des Datenvolumens größten Internetknoten weltweit. Etwa ein Drittel der deutschen Rechenzentrumskapazitäten befindet sich in Hessen – und das Wachstum setzt sich fort. Allein in der Region Frankfurt/Rhein-Main sind neue Rechenzentrumsprojekte mit einer zusätzlichen Leistung von über einem Gigawatt geplant. Als zweite Region für Großrechenzentren in Deutschland etabliert sich aktuell der Raum Berlin/Brandenburg sowie die Rhein/Ruhr-Region.

Das enorme Wachstum der Branche führt auch zu Herausforderungen. Schon heute benötigen die Rechenzentren einen niedrigen zweistelligen Prozentsatz des in Hessen insgesamt verbrauchten Stroms – und die Tendenz ist klar steigend. Nach Angaben von Tennet investieren Mainova, Avaccon und Tennet gemeinsam 750 Mio. Euro in den Ausbau des Stromnetzes allein im Großraum Frankfurt/Rhein-Main, um der steigenden Nachfrage gerecht zu werden. Prognosen gehen davon aus, dass sich der Stromverbrauch der Rechenzentren in Hessen in den kommenden Jahren mehr als verdoppeln wird.

5.2 Typen von Rechenzentren und ihre Funktionsweise

Der Begriff Rechenzentrum wird in der Praxis unterschiedlich verwendet. So sprechen beispielsweise kleine Unternehmen oft schon bei einer kleineren Ansammlung von Servern in einem Serverraum von „ihrem Rechenzentrum“. Folgt man diesem Verständnis, so existieren in Deutschland etwa 50.000 Rechenzentren.

Dieser Leitfaden befasst sich mit großen Rechenzentrumsprojekten, die für Kommunen von Bedeutung sind und für deren Betrieb sich z.B. Fragen hinsichtlich Bau- und Genehmigungsverfahren sowie der notwendigen Standortvoraussetzungen wie Energieversorgung stellen. Solch große Rechenzentren sind typischerweise Colocation-Rechenzentren oder Hyperscale-Cloud-Rechenzentren mit einer Anschlussleistung von mehr als 10 MW.

Es lassen sich im Wesentlichen drei Modelle von Rechenzentren in verschiedenen Größenkategorien unterscheiden, wie [Abbildung 2](#) zeigt.

Typische Großrechenzentren



Hyperscale-Cloud-Rechenzentrum im Eigenbetrieb

> 10 MW elektrische Anschlussleistung

Colocation-Rechenzentrum

1 MW bis über 50 MW elektrische Anschlussleistung

Multi-Tenant (klassisch) oder Single-Tenant

Typische mittlere Rechenzentren



Metro-Edge-Rechenzentrum

500 kW bis 10 MW elektrische Anschlussleistung

Colocation (Multi-/Single-Tenant, Eigenbetrieb Hyperscale-Cloud-Anbieter)

Kleinere und mittlere IT-Dienstleister (Managed Services, Hosting/Cloud)

500 kW bis 5 MW (in Ausnahmefällen auch bis zu 50 MW)

Typische kleine Rechenzentren



Corporate-Rechenzentrum

10 kW bis 500 kW, von Unternehmen/Behörden für eigene Zwecke betrieben

Kleinere und mittlere Edge-Datacenter (z. B. Container, 5G Mobilfunk)

Verteilte Installationen am Rand des Internets, 0,5 bis 100 kW

Abbildung 2: Die wesentlichen Rechenzentrumsmodelle im Überblick

(Quelle: eigene Darstellung von TTSP/HWP Consultants)

In Hessen haben Colocation-Rechenzentren einen Anteil von etwa 50 Prozent an den gesamten IT-Kapazitäten der Rechenzentren (Stand 2023). Mit Zunahme der Cloud-Nutzung in Deutschland werden zukünftig vermehrt auch sehr große Rechenzentren errichtet, die von internationalen Hyperscale-Cloud-Anbietern wie Amazon, Google oder Microsoft selbst betrieben werden. Prominentes Beispiel ist das Google-Rechenzentrum in Hanau.

Geschäfts- und Betreibermodelle der großen Rechenzentren

Klassische Colocation-Rechenzentren (Multi-Tenant)

Als Colocation-Rechenzentren werden solche bezeichnet, bei denen ein Dienstleister alle gebäudebezogenen Aufgaben übernimmt und es seinen Kunden ermöglicht, ihre IT-Geräte wie Server, Speicher- und Netzwerktechnik in seinem Rechenzentrum aufzustellen. Der Betrieb der IT-Geräte erfolgt durch den Kunden selbst. Der Dienstleister übernimmt beispielsweise den Betrieb der Anlagentechnik für Klimatisierung und Stromversorgung, die Anbindung an das Internet, den Brandschutz oder den Zutrittsschutz. Bei „klassischen“ Colocation-Rechenzentren gibt es viele Kunden im Rechenzentrum (Multi-Tenant – mehrere Mieter). Kleine Kunden mieten z. B. nur einzelne Racks oder sogar nur einzelne Höheneinheiten im Rack. Größere Kunden mieten z. B. durch Gitter abgeschlossene Bereiche – sogenannte Cages – oder ganze Räume.

Single-Tenant-Colocation-Rechenzentren

Mit zunehmender Digitalisierung und steigender Nachfrage nach großen Rechenzentrumskapazitäten werden mehr und mehr Colocation-Rechenzentren als Single-Tenant-Rechenzentrum (Einzelmietler-Rechenzentrum) betrieben, also für nur einen Kunden. Typische Kunden sind große Hyperscale-Cloud-Anbieter oder auch große Behörden. Die Kunden lagern damit alle gebäudebezogenen Aufgaben aus und können sich auf den Betrieb der IT-Geräte fokussieren. Dieser Teil des Rechenzentrumsmarktes weist die größten Wachstumsraten aus, viele Großprojekte sind solche Single-Tenant-Colocation-Rechenzentren.

Hyperscale-Cloud-Anbieter-Rechenzentren in Eigenbetrieb

Ein Hyperscale-Rechenzentrum unterscheidet sich hauptsächlich durch seine schiere Größe von anderen Rechenzentren. Es bietet eine extreme Skalierbarkeit und ist für Workloads in großem Umfang mit optimierter Netzwerkinfrastruktur, optimierter Netzwerkkonnektivität und minimierter Latenz entwickelt worden.

Mit steigender Größe der in Deutschland zu installierenden IT-Kapazitäten kann von hohen Wachstumsraten in diesem Marktsegment ausgegangen werden. Insbesondere bei Rechenzentren im Eigenbetrieb von Hyperscale-Cloud-Anbietern ist es durchaus üblich, dass das Rechenzentrum von einem Investor gebaut wird und erst zum Betrieb an den Hyperscale-Cloud-Anbieter übergeben wird. Das bedeutet, dass die Gespräche mit Kommunen und Behörden hinsichtlich der Entwicklung eines Rechenzentrums noch ohne den späteren Nutzer geführt werden und zum Beispiel die Verpflichtungen aus einem städtebaulichen Vertrag an den Nutzer weitergegeben werden müssen.

Metro-Edge-Rechenzentren

In Metro-Edge-Rechenzentren werden Angebote von Hyperscale-Cloud-Anbietern bereitgestellt, bei denen es auf kurze Entfernungen und geringe Datenübertragungszeiten (niedrige Latenzzeiten) ankommt.

Diese Rechenzentren verfügen in der Regel über Anschlussleistungen im einstelligen Megawattbereich. Sie können als Single- oder Multi-Tenant-Colocation-Rechenzentren (siehe oben) oder als Eigenbetriebe von Hyperscale-Cloud-Anbietern gestaltet sein.

Obwohl Edge-Rechenzentren seit Jahren in der Branche ein Diskussionsgegenstand sind, zeigt der Markt derzeit eine vergleichsweise geringe Dynamik. Angesichts der starken Skaleneffekte im Rechenzentrumssektor bleibt abzuwarten, ob sich dieser Bereich künftig dynamischer entwickelt.

5.3 Standortfaktoren für die Ansiedlung von Rechenzentren

Dieses Kapitel soll klären, welche Flächen überhaupt als Rechenzentrumsflächen geeignet sind: Zum einen aus Sicht der Kommunen, die einschätzen können, ob geeignete Flächen verfügbar sind, und darüber entscheiden, welche davon für eine Rechenzentrumsnutzung vorgesehen werden sollen. Dies kann entweder im Rahmen einer direkten Flächenvermarktung durch die Kommune oder im Rahmen eines steuernden Mechanismus zur Gewerbeflächenentwicklung und gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit der kommunalen Wärmeplanung erfolgen. Insbesondere das Gesetz zur Erhöhung der Energieeffizienz (EnEfG), dessen Umsetzung gegenwärtig noch einige Unklarheiten birgt, kann die Eignung eines Standorts für Rechenzentren maßgeblich beeinflussen.

Für Kommunen ist es entscheidend, ihre vorhandenen Flächen anhand der Standortfaktoren bestimmen und einordnen zu können, um diese beispielsweise für die Rechenzentrumsnutzung auszuweisen. [Abbildung 3](#) bietet eine Übersicht über verschiedene Standortfaktoren, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Standortfaktoren für die Ansiedlung von Rechenzentren aus der Sicht von ...

Standortfaktor	Kommunen	Kommunen + Rechenzentrum	Rechenzentrum
Verkehrsinfrastruktur	Keine besondere Schwerlastverkehrsbelastung; Kein regelmäßiger Lastverkehr		- Anbindung und Abstände zu Orten besonderer Gefährdung: Straßen, Schienen, Bahnstrecken mit Güterverkehr - Bahnanschluss/ÖPNV - Zuwegung zum Grundstück - Archäologische Funde
Soziale Infrastruktur		Einbindung in die Quartiersentwicklung (Abgabe von Abwärme)	- Entfernung zu Großstädten - Arbeitsplätze/Fachkräfte
Umweltaspekte	- Nähe zu Habitaten und Schutzgebieten/Artenschutz - Zuluftschnitten		- Hochwasser durch Überschwemmungsgebiete - Erdbebenzonen - Berggrutsch, Lawinen, Bäche etc.
Technische Infrastruktur		- Verfügbarkeit von Strom in der erforderlichen Größenordnung - Hochspannungsleitungen - Provider- und Glasfaseranschlüsse - Wasserversorgung	- Elektromagnetische Impulse (EMP) - Lauschabwehr
Grundstück	- Geografische Nähe zu einem Umspannwerk - Kontaminierender Schadstoffausstoß - Aufwertung von unattraktiven Flächen	Grundstücksgröße	- Abstand zu DE-CIX-Internetknoten - Bodenbelastung - Zuwegung zum Grundstück - Abstände zu Orten besonderer Gefährdung (Industrie/Chemiewerken)
Abwärmenutzung	- Abgabe von Wärme an das Wärmenetz oder private Abnehmer - Integration von kleinen Rechenzentren in die Quartiersentwicklung - Temperaturniveau des Wärmenetzes	Bestehendes Wärmenetz	Vorhandensein und Größe einer Wärmesenke

Abbildung 3: Zusammenstellung diverser Standortfaktoren

(Quelle: eigene Darstellung nach TTSP/HWP Consultants und HTAI)

5.4 Standortfaktoren aus Sicht der Kommunen

Aufwertung von bislang uninteressanten Gewerbeflächen und Verfügbarkeit von nicht genutzten Flächen

Bisher als wenig geeignet erachtete Gewerbeflächen können für Rechenzentren durchaus attraktiv sein, auch wenn die verkehrliche Erschließung eingeschränkt ist.

Rechenzentren benötigen zwar einen Zugang für Schwerlastverkehr, der tatsächliche Bedarf ist jedoch gering. Auch Flächen mit hohen Sanierungskosten oder geringer Inanspruchnahme durch Industrie können interessant sein. Voraussetzung ist, dass diese direkt von der öffentlichen Straße aus erschlossen werden können.

Ein Vorteil solcher Flächen ist, dass oft bereits ein Stromanschluss vorhanden ist, der für die ersten Ausbauphasen eines Rechenzentrums ausreicht (5 MW bis 10 MW). Eine Erweiterung der Infrastruktur für weitere Ausbauphasen sollte in ca. fünf bis sieben Jahren möglich sein.

Ebenso können Flächen, die mit hohen Erschließungskosten an die öffentliche Infrastruktur angebunden sind, als Rechenzentrumsstandorte genutzt werden.

Abgabe von Wärme an das Wärmenetz oder an private Abnehmer bzw. eine Wärmesenke

Da Rechenzentren durch das Energieeffizienzgesetz angehalten sind, möglichst viel Abwärme abzugeben, ist die Nähe zu einer Wärmesenke von Vorteil. Eine solche Wärmesenke ist zum Beispiel ein Wärmenetz. Wenn eine Kommune keine Wärmenetze betreibt, dann ist die Ansiedlung eines Rechenzentrums in der Nähe zu einem Gebiet mit hoher Wärmedichte, idealerweise ein Gebiet mit wärmeintensiver/bedarfsintensiver Industrie, interessant.



Praxisbeispiel

Die Stadt Offenbach hat in ihrem Rechenzentrumsentwicklungsplan Eignungsgebiete für Rechenzentren ausgewiesen, die an die Verfügbarkeit einer Wärmesenke geknüpft sind. Konkret handelt es sich um Standorte, an denen die Energieversorgung Offenbach AG (-EVO) Wärmeleitungen betreibt und an denen ins Wärmenetz eingespeist werden kann.

Integration von Rechenzentren in die Quartiersentwicklung

Insbesondere kleinere Rechenzentren wie Edge-Rechenzentren können sehr gut geeignet sein, um energetisch in neue Quartiersentwicklungen integriert zu werden, gerade auch, um Wärme für Wohnraum zu liefern. Zum einen lassen sich kleinere Rechenzentren, die Höhen von zehn bis zwölf Metern haben, städtebaulich in die Randlagen von neuen Quartieren gut integrieren, zum anderen können sie als Abwärmelieferanten, gegebenenfalls auf Niedertemperaturebene, dienen und auch bei der Erschließung mit Glasfaserinfrastruktur Synergien ermöglichen.

Nähe zu Umspannwerken und Ausbau der Stromnetze

Die wichtigste Ressource für Rechenzentren ist Strom, der kontinuierlich und in hoher Menge bereitgestellt werden muss. Aufgrund ihrer hohen Energiedichte benötigen Rechenzentren oft eine zusätzliche Infrastruktur, da bestehende Netze in den meisten Fällen nicht ausreichen.

Eine gängige Faustregel besagt, dass für eine Anschlussleistung von etwa 40 MW eine Versorgung auf Mittelspannungsebene erforderlich ist, darüber hinaus auf Hochspannungsebene (110 kV). Große Rechenzentren profitieren von der Nähe zu Umspannwerken, die Höchst- auf Hochspannung transformieren, oder von 110-kV-Leitungen, wenn dort ein Leistungsabgang möglich ist. Für kleinere Rechenzentren (bis 40 MW) ist die Nähe zu Umspannwerken, die von Hoch- auf Mittelspannung transformieren, entscheidend.

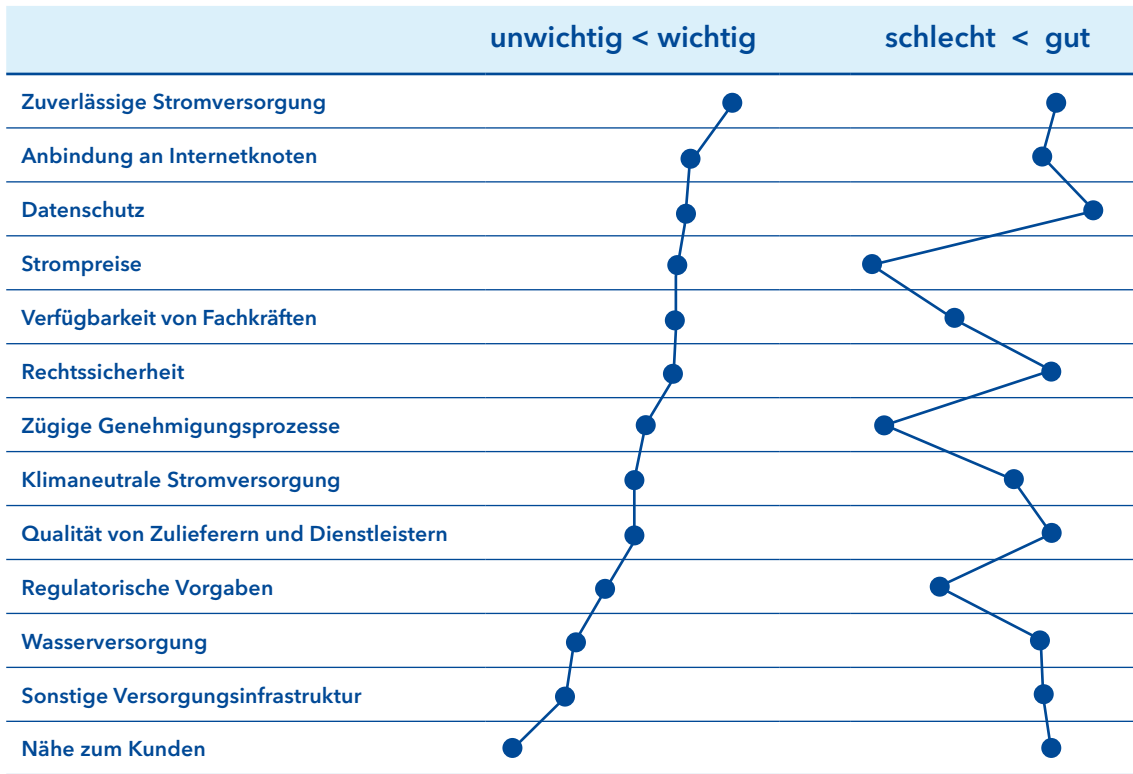
Die geografische Nähe zu einem Umspannwerk bedeutet jedoch nicht immer, dass dort auch ausreichend Kapazitäten verfügbar sind. Der Anschluss, z. B. eines 40 MW-Rechenzentrums an ein Mittelspannungs-Umspannwerk, erfordert oft eine erhebliche Kapazitätserweiterung, was zusätzliche Transformatoren und Schaltanlagen notwendig macht. Rechenzentrumsbetreiber verlangen in der Regel eine dedizierte Infrastruktur mit redundanten

Komponenten und Trassen. Dies bedeutet, dass Transformatoren und Schaltanlagen in doppelter Ausführung („A“ und „B“) sowie redundante Trassen erforderlich sind, die teilweise baulich und geografisch getrennt verlaufen. Diese Anforderungen führen zu hohen Kosten, wodurch die Nähe zu Umspannwerken besonders vorteilhaft ist.

Obwohl Rechenzentrencampus zunehmend größer werden, erfolgt der Ausbau stufenweise. Aufgrund langwieriger Planungs-, Genehmigungs- und Bauzeiten kann davon ausgegangen werden, dass ab Planungsbeginn für ein Rechenzentrum 2,5 bis 3 Jahre vergehen. Bis dahin muss die Stromversorgung für den Betrieb eines Rechenzentrums gewährleistet sein (Baustrom in der Regel im Bereich von 0,5 bis 1 MW muss früher verfügbar sein). Die erste Ausbaustufe beträgt unabhängig von der Größe des Rechenzentrums in der Regel bis zu 10 MW. Für weitere Ausbaustufen des Rechenzentrums stehen für den Ausbau der Strominfrastruktur nochmals 12 bis 18 Monate zur Verfügung. Insgesamt kann die vollständige Verfügbarkeit von 20 MW in 3,5 bis 4,5 Jahren und von 30 MW in 4,5 bis 5,5 Jahren erreicht werden. Die genauen Zeitrahmen müssen jedoch mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden.

5.5 Standortfaktoren aus Sicht des RZ-Marktes

An welchen Orten sich Rechenzentren ansiedeln, ist abhängig von verschiedenen Standortfaktoren. Gemäß einer Befragung von Rechenzentrumsbetreibern ([Abbildung 4](#)) haben eine zuverlässige Stromversorgung und die Anbindung an Internetknoten die höchste Bedeutung. Diese beiden Faktoren werden auch häufig in Medienberichten, die sich mit der Planung und dem Neubau von Rechenzentren befassen, thematisiert (frm united, 2023; Glaser-Lotz, 2021; Remmert, 2023; Schiefenhövel, 2022; Thies, 2023; Vorsprung-online, 2021).



Expertenbefragung durch Borderstep (17.07.-11.09.2024): n = 123

Abbildung 4: Bewertung von Standortfaktoren für Rechenzentren in Deutschland
(Quelle: Hintemann et al., 2024)

Neben den allgemein gültigen harten und weichen Standortfaktoren existiert eine Reihe von Institutionen, die ihre eigenen Standortempfehlungen für die RZ erstellen. Die bekanntesten davon sind das BSI, der TÜV Rheinland und der TÜV IT. Obwohl je nach Institution verschiedene Standortkriterien in Bezug auf verschiedene Faktoren betrachtet und eingestuft werden, ähnelt sich die Betonung der einzelnen Standortfaktoren in vielen Punkten. Die wichtigsten Standortfaktoren werden hier näher betrachtet und die wichtigsten Standorteigenschaften zusammengefasst.

Abstand zum DE-CIX-Internetknoten

Für Rechenzentren ist es häufig besonders wichtig, möglichst nahe am Internetknotenpunkt zu sein, um niedrige Latenzzeiten realisieren zu können. Gleichzeitig bedeutet dies, dass die Standortqualität mit zunehmender Distanz zum Internetknotenpunkt abnimmt. Während Betreiber von Rechenzentren in der Umgebung des DE-CIX möglicherweise auch kleinere Grundstücke in Betracht ziehen, gewinnen mit größerem Abstand andere Überlegungen an Bedeutung, so dass versucht wird, größere Projekte zu realisieren, um Skaleneffekte erreichen zu können.

Kriterien für die Standortwahl gemäß Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)

Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) untersucht in seinem Papier „Kriterien für die Standortwahl von Rechenzentren“ verschiedene Aspekte und definiert die Anforderungen an die Standorte. Um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten, wird zwischen Rechenzentren mit hoher oder höchster Verfügbarkeit in der Gefährdungsbeurteilung unterschieden. Die Verfügbarkeit bezieht sich nicht nur auf eine störungsfreie Stromversorgung, sondern auch auf physische Risiken.

Es ist wichtig, bestimmte Entfernungen zwischen potenziell gefährlichen Orten und einem Rechenzentrum zu verwirklichen. Genannt werden hier unter anderem kerntechnische Anlagen, chemische Anlagen, Gefahrenstoffe, Straßen, Schienen und Flughäfen.

In einem separaten Kapitel werden Naturgewalten wie Hochwasser, Waldbrandgefahr, Bergrutsche u.Ä. betrachtet und Standortanforderungen festgelegt. Außerdem werden im Dokument die Bedingungen für Redundanzen, Betriebs- und Georedundanz erklärt und definiert.

5.6 Standortfaktoren aus § 11 EnEfG

Weitere Standortfaktoren bringen die neuen Energieeffizienzvorgaben aus dem Energieeffizienzgesetz, kurz EnEfG, ins Spiel. Mit Blick auf den künftigen Standort des Rechenzentrums stellt § 11 EnEfG „Klimaneutrale Rechenzentren“ die zentrale Vorschrift dar.¹

Gemäß § 11 EnEfG müssen Rechenzentren künftig eine bestimmte Energieverbrauchseffektivität einhalten und einen bestimmten Anteil an wiederverwendeter Energie nachweisen. Die Erfüllung dieser gesetzlichen Anforderungen hat mittelbar Einfluss auf die Kriterien bei der Standortauswahl.

¹ Die Darstellung beschränkt sich auf die Auswirkungen des § 11 EnEfG auf die Standortwahl. Neben § 11 EnEfG bestehen weitere Anforderungen an Rechenzentren aus dem EnEfG.

Wichtige, sich aus dem EnEfG mittelbar ergebende Standortfaktoren sind u.a.:

- Nähe zum Wärmenetz bzw. zum Abnehmer
- Im Fall, dass kein Wärmenetz vorhanden ist, Nähe zu Gebieten mit großer Wärmedichte
- Gegebenenfalls räumliche Nähe zu Flächen, die für die Errichtung von Wärmepumpen genutzt werden können

5.7 Rechenzentren als Chance für herausfordernde Standorte und Flächen

Schwierig verkehrlich zu erschließende Gewerbegebiete

Rechenzentren erfordern eine eher kleine Anzahl von Arbeitsplätzen im Verhältnis zur Grundstücksfläche. Dies bedeutet, dass das Verkehrsvolumen, das durch die Mitarbeiter des Rechenzentrums entsteht, im Vergleich zu anderen Gewerbearten gering ist. Dieser Faktor wird noch verstärkt durch einen Schichtbetrieb, sodass die ankommenden und herausgehenden Verkehrsströme über einen Zeitraum von 24 Stunden verteilt sind und sich weniger auf den Berufsverkehr konzentrieren. Hinzu kommt, dass auch durch den Betrieb von Rechenzentren wenig Verkehr entsteht. Neben den Beschäftigten im Rechenzentrum wird vor allem Wartungs- und Instandhaltungspersonal für die IT sowie die Gebäudetechnik auf dem Campus beschäftigt. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Verkehrsbewegungen, die sich aus dem Betrieb des Rechenzentrums ergibt, der Zahl der Beschäftigten entspricht. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Nutzfahrzeuge unter 7,5 Tonnen Gewicht, in der Regel sogar um Pkw. Schwerlastverkehr größer als 7,5 Tonnen ist äußerst selten und liegt für Grundstücke unter 50.000 Quadratmeter im Bereich von einer Bewegung pro Woche, aber selbst bei Grundstücken größer als 100.000 Quadratmeter selten höher als eine Bewegung pro Tag. Dies ermöglicht die Nutzung selbst großflächiger Grundstücke an Stellen, die verkehrlich eher schwierig zu erschließen sind. Grundsätzlich muss aber ein Rechenzentrum für Schwerlastverkehr erschließbar sein, da IT- und Gebäudeausstattung in großen Chargen angeliefert werden (auch während der Betriebsphase).

Gewerbegebiete mit unzureichendem Infrastrukturanschluss

In vielen Gewerbegebieten sind die entsprechenden Medienleitungen wie Trinkwasser, Brauchwasser und Gas schon jetzt an ihren Kapazitätsgrenzen, was die weitere Ansiedlung von Gewerbe ohne größere Investitionen in die Infrastruktur erschwert.

Im Vergleich zu anderen gewerblichen Nutzungen benötigen Rechenzentren wenig Trinkwasser. Dies rührt zum einen von der relativ niedrigen Anzahl an Arbeitsplätzen her, die wenig Trinkwasser verbrauchen und wenig Brauchwasser erzeugen. Zum anderen ist für den Betrieb des Rechenzentrums nicht zwingend Wasser erforderlich. Ob und in welchem Umfang Wasser benötigt wird, hängt jedoch in entscheidendem Maß auch von der eingesetzten Kühltechnologie ab. Insbesondere bei adiabaten Kühlsystemen kann der Wasserverbrauch deutlich höher ausfallen. Die Kälteerzeugung mittels der Verdunstung von Wasser ist zwar aus Energieeffizienzgründen sinnvoll, sie ist aber nicht notwendig.

Aufgrund der Gliederung eines typischen Rechenzentrums-campus, der gerade im Bereich von größeren Grundstücken über 30.000 Quadratmeter in der Regel signifikante Grünflächen zulässt, ist eine weitgehende bis vollständige Versickerung von Regenwasser in diesen Grünflächen ohne weiteres möglich, sodass die notwendige Anschlussgröße des Regenwasser- oder Mischwasserkanals begrenzt ist (weitere Details zum Thema Regenwassermanagement in [Kapitel 6](#)). Auf einen Gasanschluss kann komplett verzichtet werden, da die Wärme zum Beheizen von Gebäuden komplett aus dem Betrieb der IT (und damit aus Strom) gewonnen werden kann.

Sanierungsbedürftige Gewerbegebiete/Altlastensanierung

Flächenknappheit zieht stark steigende Grundstückspreise nach sich, was dazu führt, dass mitunter andere Gewerbe durch die sehr finanzstarke Rechenzentrumsbranche verdrängt werden. Die grundsätzliche Möglichkeit der Rechenzentrumsbranche, auch Grundstückspreise deutlich über dem örtlichen Preisspiegel zu bezahlen, bedeutet wiederum, dass auch Grundstücke, die durch den Sanierungsaufwand mit höheren Kosten verbunden sind (Brownfield), für Rechenzentrumsbetreiber durchaus rentabel sind, wenn die Gesamtkosten aus Grunderwerb und Sanierung einen bestimmten – für andere Gewerbearten zu hohen – Schwellenwert nicht übersteigen. So sind bereits einige „schwierige“ Flächen mit kontaminierten Bereichen von Rechenzentrumsbetreibern erworben worden. Für ehemalige Militärstandorte oder Produktionsanlagen konnte auf diese Weise eine Konversion erzielt werden.

Kennzahlen

Rechenzentren rechnen nicht in Quadratmetern Bruttogeschossfläche (BGF), sondern in Leistung, in der Regel Megawatt (MW). Die Produktivleistung aus Sicht eines kommerziellen Rechenzentrumsbetreibers ist die erzielbare IT-Leistung (ausgedrückt in MW IT). Sie ist die Grundlage für dessen Erlöse.

Im Grundsatz kann man sagen, dass gegenwärtig rund 1,0 bis 1,5, teilweise auch 2,0 kW IT pro Quadratmeter Grundstücksfläche realisiert werden können, entsprechend 1,0 bis 1,5, teilweise auch 2 MW pro 1.000 Quadratmeter. Diese Zahl wird bedingt durch die Leistungsdichte in den eigentlichen Datenhallen, d.h. wie viel Leistung die IT im Durchschnitt pro Quadratmeter Rechnerfläche verbraucht – wobei diese Werte kontinuierlich ansteigen und derzeit in der Regel bei 3 bis 4 kW pro Quadratmeter Rechnerfläche liegen. Abhängig von der Möglichkeit, mehrgeschossig zu bauen, ergeben sich dann aus den Verhältnissen Rechnerfläche zu Bruttogeschossfläche die oben genannten Kennwerte auf das Gesamtgrundstück bezogen.

Gestehungskosten liegen gegenwärtig bei rund 10 Mio. Euro pro MW IT. Dies bedeutet, dass umgerechnet pro Quadratmeter Boden 5.000 bis 10.000 Euro Kosten anfallen und damit auch eine geringere Sensitivität gegenüber Kosten einhergeht, die mit dem Erwerb und der Herrichtung von Boden verbunden sind.

5.8 Chancen und Herausforderungen von Rechenzentren für Kommunen

Rechenzentren spielen eine entscheidende Rolle als Schlüsselindustrie für die internationale Wettbewerbsfähigkeit und digitale Souveränität Deutschlands. Für Kommunen kann die Präsenz auf der digitalen Landkarte ein wichtiger Attraktivitätsfaktor für ihre Stadt sein und dabei helfen, ihr ein positives Image zu verleihen. Neben zahlreichen Chancen bietet die Ansiedlung von Rechenzentren jedoch auch spezifische Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt.

Chancen und Herausforderungen von Rechenzentren für Kommunen

	Chancen	Herausforderungen
Gewerbsteuer	Potenzial für hohe Gewerbesteuereinnahmen	Beeinflussbarkeit durch Kommune
Arbeitsplätze pro Hektar	Eher geringe Zahl an Arbeitsplätzen – Vorteil für strukturschwache Gebiete	Eher geringe Anzahl an Arbeitsplätzen – Herausforderungen für Kommunen mit hohem Beschäftigungspotenzial
Verkehr pro Hektar	Wenig Verkehr	
Emissionen	Geringe Emissionen im Vergleich zu anderen Gewerbearten	(Probe-) Betrieb von Notstromdieselmotoranlagen (NDMA)
Flächenversiegelung / Größe		Meist großflächige Gebäude
Abwärmenutzung	Rechenzentrum als erneuerbare Wärmequelle für Neuentwicklungen	Integration in bestehendes Wärmenetz oder Neubau eines Fernwärmenetzes mit großen Investitionen verbunden
Komplexität der Projekte		Ausschöpfen der Steuerungsmöglichkeiten seitens der Kommune ist erschwert

Tabelle 1: Chancen und Herausforderungen von Rechenzentren für Kommunen

(Quelle: eigene Darstellung)

Chancen für Kommunen durch die Ansiedlung von Rechenzentren

Gewerbsteuer



Praxisbeispiel

Die Schaffung eines exportunabhängigen Gewerbes und damit einer exportunabhängigen Generierung von Gewerbesteuer war für die Stadt Hanau einer der Hauptgründe für die Entwicklung der Rechenzentrumsstrategie, mit der sie entsprechende Ansiedlungen auch lenken wollte.

Kommunen verfügen nur über begrenzte Nutzflächen, die für verschiedene Zwecke genutzt werden können, wie für die Ansiedlung von Rechenzentren. Im Zuge der Ansiedlung eines Hyperscale-Rechenzentrums wird verhältnismäßig viel Fläche zur Verfügung gestellt. Kommunen müssen deshalb bei der Ansiedlung sorgfältig abwägen, inwieweit sich dies fiskalisch lohnt.

Im Fokus steht die Gewerbesteuer, deren Aufkommen gemäß Art. 106 Abs. 6 Grundgesetz (GG) den Gemeinden zusteht. Die Höhe der Gewerbesteuereinnahmen hängt maßgeblich davon ab, ob sich der Unternehmenssitz in der betreffenden Kommune befindet oder ob lediglich eine Betriebsstätte vorliegt. Wird der Unternehmenssitz in die Kommune verlegt, kann dies zu einer erheblichen Steigerung der Gewerbesteuereinnahmen führen. Anderenfalls handelt es sich gemäß § 12 Abgabenordnung um eine Betriebsstätte, die der Gewerbesteuerpflicht unterliegt.

Bei mehreren Betriebsstätten eines Unternehmens in Deutschland erfolgt die Aufteilung der Gewerbesteuer nach einem Zerlegungsmaßstab. Gemäß § 29 Gewerbesteuergesetzes erfolgt diese Aufteilung auf Grundlage der in den jeweiligen Betriebsstätten gezahlten Arbeitslöhne. Da Rechenzentren in der Regel hochautomatisiert sind und vergleichsweise wenige Arbeitsplätze schaffen, kann dies die Gewerbesteuerzuweisungen für die Standortkommune reduzieren.



Weitere Informationen im Web hier:



[Garantiezahlungen und Gewerbesteuern bei Ansiedlungsvorhaben von Hyperscale-Rechenzentren](#)

Verlässliche Statistiken zur Höhe der Gewerbesteuereinnahmen aus Rechenzentren liegen derzeit nicht vor. Ein Grund hierfür ist, dass viele Rechenzentren von Endnutzern wie großen IT-Unternehmen betrieben werden, deren Erlösmodelle nicht zwingend an einen bestimmten Produktionsstandort gebunden sind.

Kommunen können bei der Ansiedlung von Rechenzentren einen Ausgleichsmechanismus in Betracht ziehen, um die Herausforderung eines vergleichsweise niedrigen Gewerbesteueraufkommens sinnvoll aufzulösen. Falls ein großflächiges Hyperscale-Rechenzentrum mit hohem Energie- und Flächenverbrauch, aber nur wenigen Arbeitsplätzen entsteht, könnte eine mögliche Lösung darin bestehen, eine Garantiezahlung gemäß §33 Abs. 2 Gewerbesteuergesetz garantierte Ausgleichszahlung zugunsten der Standortkommune zu vereinbaren, die neben die Gewerbesteuerzahlung tritt.



Orientierungshilfe zur Einschätzung der Gewerbesteuer

Eine präzise Einschätzung des Gewerbesteueraufkommens aus Rechenzentren ist derzeit schwierig, da verlässliche Statistiken fehlen. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Erlösmodelle von Rechenzentren häufig nicht direkt mit einem einzelnen „Produktionsstandort“ verbunden sind. Entsprechend sind die gewerbesteuerlichen Erträge stark variabel und hängen von der Ertragskraft der jeweiligen Unternehmen ab, sodass keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden können.

Um Kommunen dennoch eine bessere Orientierung zu bieten, hat die German Datacenter Association (GDA) eine hilfreiche Grundlage entwickelt. Diese Orientierungshilfe basiert auf der Erkenntnis, dass die Ertragskraft von Rechenzentrumsbetreibern eng mit der installierten IT-Leistung, gemessen in Megawatt, verknüpft ist.

Diese Orientierungshilfe der GDA ermöglicht es Kommunen, die potenziellen Gewerbesteuereinnahmen aus Rechenzentren besser einzuschätzen. Sie bietet eine erste Einordnung, die als Unterstützung bei der Planung und Entscheidungsfindung im Zusammenhang mit der Ansiedlung neuer Rechenzentren dient.

Arbeitsplätze

Rechenzentren schaffen eine begrenzte Anzahl von direkten Arbeitsplätzen. Dabei gehen die RZ-Planer davon aus, dass die Rechenzentren einen Anteil von 50 bis 60 Prozent an Höherqualifizierten beschäftigen (im Bereich der IT, der Gebäudetechnik und auch allgemeineren Management-Funktionen). Ein Großteil der wirtschaftlichen Wertschöpfung durch Rechenzentren entsteht in nachgelagerten digitalen Dienstleistungen wie IT-Beratung, Managed Services und Cloud-Angeboten. Während für Betrieb und Wartung eines 1-Megawatt-Rechenzentrums nur ein Arbeitsplatz nötig ist, können bei Dienstleistern, die diese Rechenleistung nutzen, bis zu 20 weitere Arbeitsplätze entstehen.

Kennzahlen (Erfahrungswerte TTSP HWP):

Bei Grundstücken in der Größenordnung von 25.000 bis 50.000 Quadratmeter kann von einer Beschäftigtenzahl von 1,5 bis 2 Beschäftigten pro Quadratmeter Grundstücksfläche ausgegangen werden; bei Grundstücken von 50.000 bis 100.000 Quadratmetern von 1 bis 1,5 Beschäftigten pro Quadratmeter; bei Grundstücken, die größer als 100.000 Quadratmeter sind, von unter einem Beschäftigten pro Quadratmeter.

In einigen Fällen ist die relativ geringe Anzahl von Arbeitsplätzen, bezogen auf eine bestimmte Fläche, sogar als Vorteil zu sehen, da Fachkräftemangel sowie die demographische Entwicklung von geringerer Bedeutung für die Sicherung des Gewerbestandortes sind.

Abwärmenutzung zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung in Kommunen

Deutschland beginnt damit das enorme Potenzial der Abwärmenutzung aus Rechenzentren voll auszuschöpfen. Für die Kommunen entfalten angesiedelte Rechenzentren ihre Vorteile im Kontext der gesetzlich geforderten Wärmeplanung und der Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung, denn sie liefern eine beträchtliche Wärmeleistung, die praktisch als Nebenprodukt des IT-Betriebs entsteht. Besonders vorteilhaft wirkt sich dabei die hohe Energiedichte und die gleichbleibende Wärmeleistung von Rechenzentren aus. Die Möglichkeiten der Abwärmenutzung werden aufgrund der Vielschichtigkeit in verschiedenen Kapiteln wiederholt aufgegriffen.

Kennzahlen

In Anlehnung an die oben genannten elektrischen Leistungsdichten pro Quadratmeter Grundstücksfläche können auch thermische Leistungsdichten abgeschätzt werden.

Im Grundsatz gilt, dass die elektrische Leistung für die IT fast 1:1 in thermische Leistung umgerechnet werden kann. Dies bedeutet, dass ein Rechenzentrum mit einer IT-Leistung von 10 MW auch fast 10 MW an Wärme liefert.

Bei den oben genannten Dichten bedeutet dies wiederum, dass pro Quadratmeter Grundstücksfläche knapp 1 bis 1,5 kW Wärmeleistung anfallen (der Spitzenwert ist hier nicht berücksichtigt). Für ein Grundstück mit 30.000 Quadratmeter bedeutet dies eine Wärmeleistung von 30 bis 45 MW.

Daten aus dem Projekt „Franky“, vormals „Westville“, mit rund 1.300 Wohnungen zeigen laut Unternehmensangaben einen Spitzenwärmebedarf von 3,2 MW im Winter und rund 150 kW im Sommer. In Griesheim schließt Equinix drei Rechenzentren mit ca. 10 MW an das Nahwärmenetz an. Sobald die volle Kapazität erreicht ist, werden ca. 55 MW Abwärme produziert. Der Stadtteil Griesheim hat einen Bedarf von 35 bis 45 MW Wärme.

Herausforderungen für die Kommunen

Städtebauliche Themen

Die Größe der Gebäude, d.h. die Grundfläche in Verbindung mit der Höhe, wird von fast allen Kommunen als kritisch gesehen. Die großen Geschosshöhen von üblicherweise 6 bis 7,5 Meter ergeben sich aber aus der Technik, insbesondere der Kühlung, und lassen sich bei heute vorherrschenden Kühlverfahren kaum reduzieren.

Oft bemängelt wird auch die wenig anspruchsvolle Architektur, die Rechenzentren oft zu Fremdkörpern im Stadtbild macht. In Verbindung mit der Größe der Gebäude führt dies zu geringer Akzeptanz in der Bevölkerung.

Hohe Zäune und Kameras werden ebenfalls als problematisch gesehen, da sie ein bedrohliches Bild kreieren können, auch wenn sie für die Erfüllung von Sicherheitsanforderungen unabdingbar sind.

Große Schornsteinhöhen ergeben sich aus der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, kurz TA-Luft, um die vertikale Abströmung von Abgasen zu erleichtern und Belastungen zu minimieren – sie sind untrennbar mit der Nutzung von Notstromgeneratoren verbunden.

Insgesamt ergibt sich ein Spannungsfeld zwischen Flächenversiegelung und Landschaftsbild. Eine Reduktion der Versiegelung auf einem Grundstück bedeutet, dass die Gebäudehöhe vergrößert werden muss, um das entsprechende Rechenzentrumspotenzial zu erzielen. Höhere Gebäude beeinträchtigen wiederum das Landschaftsbild.

Flächenkonkurrenz

Rechenzentrumsentwickler sind in der Lage, hohe Preise pro Quadratmeter Grundstücksfläche zu bezahlen. Dies hat zu erheblichen Steigerungen von Grundstückspreisen für Gewerbeflächen geführt und damit teilweise zur Verdrängung von Bestandsgewerbe. Insbesondere Städte wie Frankfurt und Hanau haben ihre jeweiligen Steuerungsinstrumente – den Gewerbeflächenentwicklungsplan in Frankfurt sowie die Rechenzentrumsstrategie in Hanau – auch vor diesem Hintergrund entwickelt. Beiden gemein ist, dass die Rechenzentrumsnutzung explizit nur noch in bestimmten Gewerbegebieten möglich sein wird und in anderen ausgeschlossen werden soll.

Komplexität der Projekte

Die Komplexität der Projekte setzt seitens der Kommunen erhebliches Fachwissen und Ressourcen voraus. Aufgrund der Informations- und Kapazitätsasymmetrie sind gerade kleine Kommunen nicht in der Lage, diese Projekte adäquat zu begleiten oder zu steuern.

Vor dem Hintergrund, dass RZ-Entwickler häufig internationale Konzerne sind, findet die Kommunikation häufig in englischer Sprache statt. Dies bedeutet, dass die Planungsämter in den Kommunen oft personell und fachlich an ihre Grenzen geraten und sich die Bearbeitungszeiten verlängern. Dies führt wiederum aus Sicht der RZ-Entwickler dazu, dass Projekte gar nicht oder nur verzögert voranschreiten oder gar nicht erst angegangen werden. Kommunen, die über eine eigene Bauaufsichtsbehörde, eigenes Umweltamt etc. verfügen, sind hier im Vorteil.

Die konkreten Auswirkungen der Rechenzentrumsansiedlung auf die Kommune und den Landkreis lassen sich nicht konkret beantworten, sondern müssen einzelfallabhängig betrachtet und gut abgewogen werden. Entscheidend hierfür ist, in welchem Umfang sich ein Rechenzentrumsbetreiber auf lokale Lieferketten fokussieren kann, weil ein ausreichend breites Spektrum an Zulieferern (wie Handwerksbetriebe, Gärtner, Catering, IT- und Kommunikationsdienstleistungen) vorhanden ist.



Exkurs: Entwicklungszeiten von Rechenzentren

Um vorab den Pflichtenkreis des geplanten Rechenzentrums nach dem EnEfG einordnen zu können, muss die geplante Betriebsaufnahme des Rechenzentrums bestimmbar sein.

Die folgenden Zeiten sind unverbindlich und beruhen auf Erfahrungswerten.

- Dauer ab Beginn der Planung bis Einreichung Bauantrag: 6–8 Monate
- Erteilung der Baugenehmigung ab Einreichung: 5–7 Monate
- Dauer ab Baubeginn bis zur Inbetriebnahme: 15–18 Monate

Je nach Größe eines Rechenzentrums bedeutet dies, dass 2,5 bis 3 Jahre vom Beginn eines Projektes bis zur Inbetriebnahme vergehen. In Hinblick auf das EnEfG bedeutet dies für neue Projekte den wahrscheinlichen Zeitpunkt der Inbetriebnahme zum 1. Juli 2027 oder 1. Juli 2028.

Handlungsempfehlungen für die Kommune

- Empfehlenswert ist es, bei der Ansiedlung eines Rechenzentrums eine wirtschaftliche bzw. juristische Beratung hinzuzuziehen, damit die Aspekte rund um das Thema Gewerbesteuer frühzeitig untersucht werden.
- Zu prüfen wäre eine Grundstücksvergabe, wenn der dort anzusiedelnde Rechenzentrumsbetreiber bereit wäre, mehrere Firmensitze dorthin zu verlegen (Schindling, 2021; Sage GmbH, o. J.).



→ Nachhaltige Gestaltung und Ansiedlung von Rechenzentren

Bei der Ansiedlung von Rechenzentren spielt das Thema Nachhaltigkeit im politischen und öffentlichen Diskurs eine zentrale Rolle. Rechenzentren können als Basisinfrastruktur der Digitalisierung einen wesentlichen Beitrag leisten, um einige der 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen anzustreben.

Oftmals stehen ökologische Fragen im Vordergrund, wie die Reduzierung von Emissionen, Wasser- und Energieverbrauch. Doch auch die sozialen und ökonomischen Aspekte der Nachhaltigkeit sollten nicht vernachlässigt werden, da sie maßgeblich zur Attraktivität und Akzeptanz des Rechenzentrumsstandorts beitragen können. Aus der Perspektive der sozialen Nachhaltigkeit sind negative Auswirkungen auf Gesundheit und Wohlergehen kaum festzustellen. Verhältnismäßig geringe Geräusch- und Schadstoffemissionen entstehen bei Testläufen von Diesel- und Notstromgeneratoren.

Aus der Perspektive der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit sorgen ressourcenschonende Methoden und Maßnahmen (z.B. Wasserverbrauch, Emissionen, Energieverbrauch) dafür, die Infrastruktur der Kommune zu schonen und Überbelastungen zu verhindern.

Ein ganzheitlicher Ansatz, der ökologische, soziale und ökonomische Aspekte der Nachhaltigkeit sowie die Bürgerinnen und Bürger frühzeitig einbezieht, bietet die beste Grundlage, um Rechenzentren erfolgreich anzusiedeln und sie langfristig in die jeweilige Kommune zu integrieren. Durch die Umsetzung von konkreten Maßnahmen entstehen Synergien, die sich positiv auf die Nachhaltigkeitsbilanz von Rechenzentren und Kommunen auswirken können.

Es bestehen unterschiedliche Vorgaben für nachhaltige Rechenzentren seitens der Kommunen, der Bundesländer und des Bundes. [Tabelle 2](#) gibt eine Übersicht zu den Schlüsselbereichen.

Schlüsselbereiche	Bund	Land	Kommune
Energieeffizienz	EnEfG		
Wasserverbrauch		Hessisches Wassergesetz	Wassersatzung
Erneuerbare Energien	EnEfG		Ggf. über kommunale PPA (s.u.)
Abfall			Abfallsatzung
Abwärme	EnEfG		Kommunale Unternehmen
Begrünung			Bauleitplanung
Biologische Vielfalt			Bauleitplanung
Wassermanagement			Wassersatzung, Bauleitplanung
Emissionen - Schall	TA-Lärm		Konkretisierung in Bauleitplanung
Emissionen - Luft	TA-Luft	Leitfaden des Regierungspräsidiums Darmstadt	Ggf. Konkretisierung in Bauleitplanung
Zertifizierungen			Städtebaulicher Vertrag

Tabelle 2: Nachhaltigkeitsthemen im Überblick

(Quelle: eigene Darstellung)

6.1 Energieeffizienz und PUE-Wert

Der sogenannte PUE-Wert wird häufig als zentraler Gradmesser für die Energieeffizienz eines Rechenzentrums herangezogen. Je näher an 1,0 dieser PUE-Wert liegt, desto weniger von der insgesamt benötigten elektrischen Energie wird für den Betrieb der Infrastruktur des Rechenzentrums verwendet und desto mehr davon für den Betrieb der IT. So gilt ein niedrigerer PUE-Wert als nachhaltiger, da der Gesamtenergieverbrauch bei gleichem Energieverbrauch der IT geringer ist. Vorgaben zu maximalen PUE-Werten als Jahresdurchschnitt wurden teilweise in städtebaulichen Verträgen verankert, sind mittlerweile aber im sog. Energieeffizienzgesetz (EnEfG, siehe [Kapitel 6](#)) auf Bundesebene festgeschrieben, sodass eine

Festlegung auf kommunaler Ebene nicht mehr erforderlich ist. Da der im EnEfG festgelegte Wert sehr ambitioniert ist, ist eine darüber hinausgehende, noch stringente Festlegung nicht sinnvoll. Aus diesem Grund bietet sich hier kein für Kommunen sinnvoller Handlungsrahmen.²

6.2 Grünen Strom und erneuerbare Energien nutzen

Die Herkunft und Zusammensetzung (Strommix) des Stroms spielt eine ganz entscheidende Rolle bei der Nachhaltigkeit von Rechenzentren. Auch hierzu wurden und werden häufig Festlegungen in städtebaulichen Verträgen getroffen, welche die Nutzung von grünem Strom gemäß § 3 Nr. 18c EnWG, § 3 Nr. 21 EEG festschreiben. Auch hierzu macht das EnEfG auf Bundesebene entsprechende Vorgaben, nach denen Rechenzentren ab 2027 vollständig mit erneuerbaren Energien betrieben werden müssen. Dies wird bilanziell betrachtet, kann also bspw. auch durch sog. PPA erreicht werden.

Power Purchase Agreement PPA

Ein Power Purchase Agreement ist kurz gefasst eine Stromkaufvereinbarung, wobei zwei Parteien einen Vertrag schließen, bei dem sämtliche Konditionen geregelt werden. Zumeist wird der Vertrag zwischen dem Stromanbieter und dem Stromabnehmer geschlossen. Neben der Stromliefermenge, Strompreisen und Vertragsstrafen können hier auch die Anteile an erneuerbaren Energien geregelt werden. Hierbei ist zu beachten, dass oftmals der Nutzer des Rechenzentrums und nicht der Betreiber den Strom einkauft. Dies bedeutet, dass der Abschluss einer solchen Vereinbarung unter Umständen mit einem anderen Vertragspartner erfolgen muss. Dabei ist es wahrscheinlich, dass der Nutzer des Rechenzentrums zu Beginn der Gespräche noch nicht feststeht, sondern erst, nachdem das Baurecht sichergestellt wurde.

Ansätze für kommunales Handeln

Soweit die Kommunen oder städtischen Betriebe über Erzeugungsanlagen von erneuerbaren Energien verfügen, können PPA mit Rechenzentrumsbetreibern direkt abgeschlossen werden.

² Die rechtliche Situation ist derzeit klar geregelt, steht jedoch in der Fachwelt in der Diskussion. Besonders die spezifischen Gegebenheiten von Colocation-Rechenzentren führen zu unterschiedlichen Einschätzungen hinsichtlich der steuerlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen. Während die geltende Rechtslage Anwendung findet, wird sie als nicht hinreichend erachtet und bleibt Gegenstand fachlicher Kritik.

6.3 Nachhaltigkeitszertifizierungen für Rechenzentren

Mit Zertifizierungen lässt sich nachweisen, dass Aspekte der Nachhaltigkeit in den Bau und/oder den Betrieb des RZ eingeflossen sind. Sie haben einen maßgeblichen Einfluss auf Qualität und Kosten eines Projekts. Im Folgenden werden die gängigsten Zertifizierungssysteme bezüglich der Nachhaltigkeit vorgestellt. BREEAM und LEED genießen internationale Anerkennung und sind den Rechenzentrumsbetreibern bekannt.

BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method

BREEAM ist ein aus Großbritannien stammendes Zertifizierungssystem, das Gebäude nach Gesichtspunkten der Nachhaltigkeit bewertet. Nach eigenen Angaben legt es seinen Fokus dabei auf ökologische und soziokulturelle Aspekte. Der Kriterienkatalog enthält eine Reihe von Einzelmaßnahmen, die in neun Themenfelder unterteilt sind: Energie, Wasser, Material, Transport, Abfall, Umwelt, Gesundheit, Management und Ökologie (Breeam Deutschland, o. J.). Der Erfüllungsgrad des Kriterienkatalogs bestimmt die Einstufung des Zertifikats. Je höher der Erfüllungsgrad ist, desto höher fällt die Zertifizierung aus. Seit 2016 ist in Deutschland die TÜV SÜD Industrie Service GmbH der exklusive Partnerin und somit der nationale Vertreterin.

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

LEED ist ein weltweites Zertifikat – vor allem in den USA – für das ökologische Bauen, wobei 65 Prozent der Gewichtung auf der ökologischen Qualität liegt. Die Bewertung einer oder mehrerer Immobilien erfolgt anhand von acht Themenfeldern (German Green Building Association, o. J.).

DGNB: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen

Das DGNB-Zertifizierungssystem (DGNB, o. J. a) folgt einer ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten für Gebäude. Es zielt darauf ab, dass „ein sinnvoller und bewusster Umgang mit wirtschaftlichen Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes“ (DGNB, o. J. b) in dessen Konzeption mit einfließt.

Blauer Engel

Der Blaue Engel ist ein Umweltzeichen, welches für die verschiedensten Produktgruppen und Dienstleistungen eine Zertifizierung vergibt. Anfang 2023 wurde eine überarbeitete Fassung herausgebracht, welche den Blauen Engel für den energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (DE-UZ 161) und für die klimaschonende Colocation (DE-UZ 214) zusammengeführt hat. Der Blaue Engel hat sich bislang in der Rechenzentrumswelt nicht durchsetzen können, weil seine Forderungen in einigen Bereichen als nur sehr schwer erfüllbar angesehen werden.

Ansätze für kommunales Handeln

- Die Anwendung von (Nachhaltigkeits-)Zertifizierungen oder Ausschnitte daraus können in städtebaulichen Verträgen festgeschrieben werden. Dies kann die Akzeptanz vor Ort steigern.

6.4 Wasserverbrauch und Kühlung

Wasser ist ein knappes Gut. Der Wasserverbrauch zur Kühlung von Rechenzentren hängt entscheidend von der Kühltechnologie ab. Die Ressource Wasser wird aufgrund von Dürren, niedrigen Grundwasserspiegeln und zunehmendem Wettbewerb zu einem kritischen Faktor. Der Druck seitens der Behörden und der Bürgerschaft, den Wasserverbrauch zu minimieren und auf den Einsatz von Trinkwasser zu verzichten, wird immer größer. In Rechenzentren hängt der Wasserverbrauch zur Kühlung entscheidend von der Kühltechnologie ab.

Bei einem zirkulierenden System handelt es sich um ein geschlossenes System, bei dem kein zusätzliches Wasser verbraucht wird. Das Wasser wird immer wieder speziell aufbereitet und zur Kühlung wiederverwendet.

Die Nutzung einer Verdunstungskühlung zur Klimatisierung führt zu einem hohen Wasserbedarf. Hierbei wird dem Kühlsystem des Rechenzentrums durch Verdunstung Wasser entzogen. Durch diese Verdunstung reduziert sich der Anteil der Zeit, in dem Kältemaschinen betrieben werden müssen, um Kälte zu erzeugen. Technisch ist dies zwar nicht notwendig, aus Gründen der Energieeffizienz kann es aber durchaus sinnvoll sein. Es ist zu erwarten, dass künftig vermehrt auf Verdunstungskühlung gesetzt wird, um die hohen Vorgaben des Energieeffizienzgesetzes zur Energieverbrauchseffektivität einhalten zu können. Ob eine Verdunstungskühlung eingesetzt werden sollte, ist im Einzelfall zu entscheiden. Relevante Entscheidungs-

größen sind neben dem Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz insbesondere die Verfügbarkeit von Wasser am Standort und die Art des verwendeten Wassers (Trinkwasser, Brauchwasser o.Ä.).

Rechenzentren nutzen Wasser ebenfalls zur Luftbefeuchtung. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Rechenzentren energieeffizient direkt mit der Außenluft gekühlt werden. Wenn die Außenluft (im Winter) nur eine geringe Feuchtigkeit aufweist, könnte dies ohne zusätzliche Befeuchtung zu Problemen durch elektrostatische Aufladung führen. Die Wassermengen, die zur Luftbefeuchtung benötigt werden, sind aber vergleichsweise gering (Hintemann, Hinterholzer & Merz, 2023).

Ein indirekter Wasserbedarf in Rechenzentren entsteht bei der Erzeugung des elektrischen Stroms, der für den Betrieb der Rechenzentren benötigt wird. Wird der Strom mittels Dampfturbinen z. B. in Kohle- oder Gaskraftwerken erzeugt, so verursacht dies einen nicht unerheblichen Wasserbedarf. Im Zuge der Energiewende ist davon auszugehen, dass der Anteil von fossiler Energie sinken wird.

Für sanitäre Zwecke benötigen Rechenzentren aufgrund der eher geringen Anzahl an Arbeitsplätzen nur wenig Wasser.

Ansätze für kommunales Handeln

Kommunen haben konkrete Handlungsoptionen, wie sie Vorgaben zur Trinkwassernutzung für Rechenzentren verankern können:

- Klare Vorgaben zur Trinkwassernutzung zu Kühlungs Zwecken von Rechenzentren durch die kommunalen Wasserversorger. In den Trinkwassersatzungen kann die Nutzung zur Kühlung ausgeschlossen werden. Die Art des Kühlungssystems und der Umfang des Wasserverbrauchs der Rechenzentren sollte in Abwägung zur Energieeffizienz diskutiert werden.
- In Abwasser- und Niederschlagswassersatzungen kann festgelegt werden, dass unbelastetes Niederschlagswasser auf dem Grundstück verbleiben muss. Zu diesem Zweck müssen entsprechende Versickerungsflächen oder Systeme wie Rigolen, u.U. in Verbindung mit Verdunstungsflächen, vorgesehen werden.
- Es kann auch festgelegt werden, dass Begrünung auf dem Rechenzentrumscampus bzw. Fassaden- oder Dachbegrünung aus gesammeltem Niederschlagswasser zu bewässern sind.



Best Practice: Dietzenbach

Für ein Rechenzentrum in Dietzenbach wurden im Rahmen eines städtebaulichen Vertrages umfassende Anforderungen an Begrünung, Regenwassermanagement und Verwendung von Brauchwasser gestellt, die der Vorhabenträger verpflichtend umsetzen muss.

6.5 Begrünung und städtebauliche Integration

Die Größe und Architektur von Rechenzentren sind zentrale Themen in der öffentlichen Debatte. Während die Größe aus Sicht der Rechenzentrumsbetreiber oft unverändert bleibt, bietet die Architektur großes Potenzial, das Erscheinungsbild der großen Baukörper positiv zu beeinflussen. Durch eine Farbgestaltung oder eine architektonische Gliederung der Fassaden lässt sich eine Maßstäblichkeit erreichen und die Gebäude fügen sich besser in ihre Umgebung ein. Es ist zudem sinnvoll, Büro- und Verwaltungsgebäude in Richtung des öffentlichen Straßenraums anzuordnen, um eine bessere Integration in das Stadtbild zu erreichen.

Die Gestaltungssatzung der Stadt Frankfurt am Main schreibt bei allen Neu- und Umbauten im Frankfurter Stadtgebiet eine klimaangepasste Gestaltung von Gebäuden und Freiflächen vor.



Weitere Informationen im Web hier:

[Frankfurter Gestaltungssatzung Freiraum und Klima](#)

Die Begrünung von Rechenzentrumsfassaden wird zunehmend in Bebauungsplänen (B-Pläne), städtebaulichen Verträgen oder auch in Gestaltungssatzungen gefordert. Eine effektive Integration der Begrünung in das Regenwassernutzungskonzept ist dabei wichtig. Bewährte Lösungen speichern das Regenwasser in Zisternen, um damit die Grünfassaden im Sommer zu bewässern, da diese ohne künstliche Bewässerung üblicherweise nicht über längere Zeiträume erhalten bleiben. Grünfassaden bieten dabei eine Vielzahl von Vorteilen: Städtebaulich gliedern sie große Fassadenflächen und tragen zur Begrünung des Stadtgebiets bei, was die Akzeptanz bei Anwohnern erhöht. Für das Stadtraumklima leisten sie einen messbaren Beitrag, da sie sich weniger aufheizen als oft verwendete Blechfassaden und zudem den Regenwasserabfluss verzögern. Sie wirken kühlend, sorgen für Verschattung und verringern somit Temperaturextreme. Zusätzlich filtern sie Staub und Luftschadstoffe, verbessern die Luftqualität und tragen zur Schallabsorption bei, was die Lärmbelastung verringert.

Neben der Begrünung der Fassaden spielt auch die Begrünung der nicht bebauten Grundstücksflächen eine wichtige Rolle. Die Bepflanzung mit Sträuchern und Bäumen fördert die Biodiversität und wirkt sich positiv auf die ökologische Bilanz eines Rechenzentrums aus. Nicht zuletzt steigert es die Aufenthalts- und Umgebungsqualität, was sich positiv auf das Wohlbefinden der Menschen auswirkt.

Obwohl Photovoltaikanlagen aufgrund der Belegung der Dachflächen mit Technik häufig nicht dort installiert werden können, bieten Fassadenflächen Potenzial für den Einsatz von Photovoltaikpaneelen. Obwohl die Erträge aus diesen Paneelen für die Strombilanz eines Rechenzentrums oft weniger relevant sind, leisten sie dennoch einen Beitrag zur Produktion erneuerbarer Energien. Zusätzlich kann die Auswahl von hellen Farbtönen für die Außenhülle und Verkehrswege dazu beitragen, die Erwärmung der Umgebung durch Wärmereflexion zu reduzieren. Solche Maßnahmen können ebenfalls in einem Bebauungsplan festgesetzt werden.



Abbildung 5: Rechenzentrum in Frankfurt Kalbach © Christian Richter

Ansätze für kommunales Handeln

- Vorgaben zur Begrünung können in Bebauungsplänen sowie in Gestaltungssatzungen festgeschrieben werden. Darüber hinausgehende Vorgaben zur Fassadengestaltung sollten bzw. können in städtebaulichen Verträgen festgehalten werden.

6.6 Flächeneffiziente Planung von Rechenzentren

Große Rechenzentren haben einen erheblichen Flächenbedarf. Aus ökologischer Sicht kann insbesondere eine zusätzliche Versiegelung von Naturflächen problematisch sein. Gerade bei Rechenzentren, die außerhalb von bisherigen Gewerbeflächen auf bislang unversiegelten Flächen errichtet werden sollen, wird diese Thematik oft intensiv diskutiert. Einer erhöhten Flächenversiegelung durch Rechenzentren lässt sich entgegenwirken, indem z.B. belastete Altflächen genutzt oder Ausgleichsflächen geschaffen werden.

Ansätze für kommunales Handeln

Kommunales Handeln zum Thema Flächenbedarf kann insbesondere an folgenden Punkten/Fragestellungen ansetzen:

- Welche Flächen können Rechenzentren zur Verfügung gestellt werden?
- Werden die neuen Rechenzentren auf unbebauten Naturflächen oder auf bereits versiegelten Flächen bzw. Industriebrachen gebaut? Werden im Rahmen des Bauprojektes ggf. Altlasten saniert oder Ausgleichsflächen geschaffen?
- Welche Geschosszahl ist beim Neubau geplant? Durch den Bau von mehrgeschossigen Gebäuden kann die Nutzfläche in den Rechenzentren gegenüber einem eingeschossigen Bau sehr deutlich erhöht werden.
- Wie hoch ist das Ausmaß der Flächenversiegelung durch den Rechenzentrumsbau? Können z.B. Außenflächen wie Parkplätze so gestaltet werden, dass möglichst wenig Fläche versiegelt wird?



Exkurs: Notstromerzeugung durch Dieselmotoren

Die Diskussion um die Notwendigkeit von Notstromdieselmotoranlagen (NDMA) kommt immer wieder auf, da die Stabilität des Stromnetzes in Deutschland sehr hoch ist und die Rechenzentren in der Regel redundant an das Hochspannungsnetz angeschlossen sind, das noch verfügbarer ist (generell gilt, je höher die Spannungsebene, desto verfügbarer das Stromnetz) als das Mittelspannungsnetz, auf das sich die Statistiken des SAIDIENWG (System Average Interruption Duration Index) beziehen. Andererseits wären die Konsequenzen eines Ausfalls der IT für deren Betreiber und Nutzer so katastrophal, dass auch bei einer sehr hohen Verfügbarkeit des Stromnetzes Notstromgeneratoren der Branchenstandard sind und eigentlich fast ausnahmslos gefordert werden. Für Rechenzentrumsbetreiber besteht die Anforderung, den Betrieb für eine längere Zeit (meist 24 bis 48 Stunden, in manchen Fällen auch mehr) autark weiterführen zu können.

Gasbetriebene Generatoren sind aufgrund der Unsicherheiten in der Versorgung und der generell wahrgenommenen Verknappung von Gas meist nicht mehr in den Forderungskatalogen von Kommunen und Naturschutzverbänden enthalten. Die lokale Lagerung von großen Mengen an Gas stellt keine Alternative dar, weil daraus ein Sicherheitsrisiko für das Rechenzentrum sowie für die umliegenden Gebiete resultiert.

Brennstoffzellen sind an die Stelle von Gasgeneratoren getreten, weisen jedoch im Grundsatz ähnliche Problematiken auf. Die Technologie wird in Deutschland bisher lediglich für kleine Metro-Edge oder Edge-Rechenzentren eingesetzt, erste Testversuche laufen noch. Eine Bewertung hinsichtlich Marktreife steht noch aus. Brennstoffzellen reduzieren die Emissionen von Schadstoffen vor Ort gewaltig, jedoch ist grüner Wasserstoff, der auch hinsichtlich CO₂-Emissionen einen erheblichen Beitrag leisten könnte, auch nur begrenzt verfügbar.

6.7 Soziale Nachhaltigkeit und Community Engagement

Nachhaltigkeit bedeutet auch die Berücksichtigung sozialer und gesellschaftlicher Faktoren in einer Kommune. Hierzu können Rechenzentren ebenso einen aktiven Beitrag leisten, der im englischen Sprachgebrauch meist unter Community Engagement subsumiert wird.



Praxisbeispiel Ausbildungsprogramm bei Amazon Web Services (AWS)

Amazon Web Services (AWS) startete 2023 ein Ausbildungsprogramm in Zusammenarbeit mit Siemens, bei dem junge Menschen als Fachinformatiker für Systemintegration und Elektroniker für Betriebstechnik ausgebildet werden. Das Programm zielt darauf ab, digitale Kompetenzen für die wachsende IT- und Digitalwirtschaft zu vermitteln und einen Talentpool für lokale Unternehmen zu schaffen. Neben praxisorientierten Schulungen werden die Auszubildenden auch in Cloud-Technologien geschult, die IHK-zertifiziert sind.

2024 startete Cyrusone in Kooperation mit Provadis ein Ausbildungsangebot zum Rechenzentrumstechniker. Es ist das erste Mal, dass eine solche Ausbildung in Deutschland angeboten wird.

Diese Initiativen fördern nicht nur die berufliche Entwicklung junger Talente, sie stärken auch das Community Management und die langfristige Integration in die lokale Wirtschaft (Amazon Web Services, 2023; Datacenter Insider, 2024).

Projekte aus dem Community Engagement:

- Einrichtung eines Digitalisierungsbüros oder von Digitalisierungslotsen
- Unterstützung von IT-Projekten für Schulen
- Bereitstellung und aktive Bewerbung von Ausbildungsplätzen
- Unterstützung lokaler Vereine
- Aufstellung von Informationsstationen oder Infotafeln
- Veranstaltungen wie Tag der Informatik, Infotag IT-Berufe und Beteiligung an Nachwuchsmessen
- Stärkung lokaler Unternehmen durch Synergien und gezielte Ansprache sowie Veranstalten von Informationstagen

Ansätze für kommunales Handeln

Maßnahmen zum Community Engagement können in der Regel nicht im Rahmen von Bauleitverfahren rechtssicher vereinbart werden, da diese möglicherweise dem Kopplungsverbot unterliegen. Eine Vielzahl von Rechenzentrumsbetreibern bieten diese Maßnahmen jedoch generell an und verweisen auf freiwillige Engagements an anderen Standorten. Insoweit kann sich die Kommune im Vorfeld von Gesprächen über derartige freiwillige Initiativen eines Rechenzentrumsbetreibers informieren und dafür werben, dass der Betreiber sich auch in der jeweiligen Kommune auf freiwilliger Basis engagiert.

7.1 Stakeholderanalyse

Die Stakeholderanalyse in der Planung von Rechenzentren bezieht alle relevanten Projektbeteiligten unter Berücksichtigung ihrer Ziele und Motive ein. Sie erfolgt sowohl auf übergeordneter als auch auf projektbezogener Ebene. Eine Übersicht und frühzeitige Einbindung aller Beteiligten erleichtert die Planungssicherheit und die Akzeptanz durch sekundäre Beteiligte wie Bürgerinitiativen. Besonders wichtig ist die Berücksichtigung von Flächennutzungs- und Bebauungsplänen sowie städtebaulichen Konzepten, die ohne Erläuterung für Bürger schwer verständlich sein können. Zu den Stakeholdern gehören politische Akteure, Stadtwerke, mögliche Empfänger von Abwärme, Interessensgemeinschaften, Naturschutz-, Klimaschutz- und Denkmalpflegeverbände, Nachbarn, Behörden, Grundstückseigner, Nutzer, Architekten, Fachingenieure, Netzbetreiber, Rechtsberater sowie Stadt- und Verkehrsplaner.

7.2 Bürgerdialoge

Je nach Reifegrad des Bebauungsplans sollten Bürgerdialoge oder Informationsveranstaltungen bereits vor der frühzeitigen Beteiligung nach § 3.1 Abs. 1 BauGB oder im Rahmen dieser stattfinden. Es ist zudem ratsam, solche Formate vor oder während der Offenlage gemäß § 3.2 BauGB zu wiederholen, um sicherzustellen, dass die öffentliche Meinung erfasst und im politischen Entscheidungsprozess berücksichtigt wird.

Im Vergleich zu anderen Industrie- und Gewerbeansiedlungen haben Rechenzentren geringe negative Auswirkungen auf ihre Umgebung. Außerhalb der Bauphase verursachen sie in der Regel kaum Verkehr oder andere Beeinträchtigungen. Dennoch gibt es Aspekte, die in der Nachbarschaft immer wieder zu Diskussionen und Widerstand gegen die Ansiedlung oder den Betrieb von Rechenzentren führen.

Ein häufig genannter Kritikpunkt sind Schadstoff- und Lärmemissionen, insbesondere durch den Testbetrieb von Notstromdieselmotoranlagen. Diese

Tests sind gesetzlich vorgeschrieben und die Emissionen gesetzlich geregelt. Der vollständige Verzicht auf diese Emissionen ist derzeit technisch und wirtschaftlich schwer umsetzbar, da alternative Technologien, wie wasserstoffbetriebene Brennstoffzellen, aktuell noch nicht ausreichend wirtschaftlich sind.

7.3 Kommunikations- und Beteiligungsmanagement

Es ist ratsam, die Bürger frühzeitig und aktiv zu informieren, um Bedenken von Anfang an zu adressieren. Spätestens zur Offenlage des Bauleitverfahrens sollten das Interesse geweckt und Bürgerbeteiligungsmaßnahmen umgesetzt werden.

Die gesellschaftliche Akzeptanz der Rechenzentrumsansiedlung hängt zunehmend von Nachhaltigkeitsaspekten ab, wie z.B. der produktiven Nutzung von Abwärme oder dem Wasserverbrauch (abhängig von Kühlsystem und Region).

Das Community Engagement ist eine Möglichkeit, soziale Nachhaltigkeitskomponenten zu integrieren und die Akzeptanz zu steigern. Hierbei können Kommunikations- und Beteiligungskonzepte, wie sie aus der Energiewende bekannt sind, adaptiert werden.

Wesentlich ist, dass die Verantwortlichen klar darlegen, wie sie in Bereichen wie nachhaltigem Energie- und Wassermanagement, Flächenversiegelung und architektonischer Einbindung in die Umgebung handeln wollen. Je frühzeitiger und konstruktiver die Kommunikation gestaltet wird, desto größer ist die Chance auf eine positive öffentliche Wahrnehmung und eine nachhaltige Ansiedlung. Im Kern geht es darum, durch die entsprechenden Prozesse aus den Betroffenen auch Beteiligte zu machen.

Viele Betreiber sind bereit, Maßnahmen zu ergreifen, um das Image zu verbessern und die Akzeptanz zu steigern. Ein frühzeitiger Dialog ermöglicht die Ausarbeitung von Projekten. Einzelne Punkte können sich bei entsprechenden Rahmenbedingungen in städtebaulichen Verträgen verankern lassen. Dabei sollten sowohl die Interessen der Gemeinde als auch die Möglichkeiten des Rechenzentrumsbetreibers berücksichtigt und rechtliche Aspekte frühzeitig geklärt werden.

7.4 Klimafonds

Ein lokaler Klimafonds schafft ein Angebot zur Teilhabe am Klimaschutz, welches Bürgerinnen und Bürgern sowie öffentlichen, privatwirtschaftlichen und gemeinnützigen Organisationen die Möglichkeit bietet, sich an der Finanzierung und Umsetzung regionaler Klimaschutzaktionen zu beteiligen. Er kann durch die Kommunal- bzw. Stadtverwaltung eingerichtet und verwaltet werden. Hierbei sollten die Rechtsform, die Finanzierungsquelle und die konkreten Klimaziele frühzeitig festgelegt werden. Die Fi-

finanzierung des Klimafonds kann durch kommunale Eigenmittel, Spenden oder durch die Möglichkeit von „Kombizertifikaten“ sichergestellt werden. Ein lokaler Klimafonds kann eingerichtet werden, indem eine Kommune ein Förderinstrument etabliert, das finanzielle Mittel für regionale Klimaschutzprojekte mobilisiert. Die Finanzierung kann durch kommunale Eigenmittel sowie Beiträge von Unternehmen, Bürgerinnen und Bürgern sowie Stiftungen erfolgen. Die organisatorische Umsetzung kann dabei flexibel gestaltet werden, beispielsweise durch Integration in die Kommunalverwaltung, Gründung eines kommunalen Unternehmens oder Zusammenarbeit mit lokalen Vereinen oder Stiftungen.



Best Practice: Hanau

Die Stadt Hanau hat im Rahmen einer Rechenzentrumsansiedlung im städtebaulichen Vertrag festgeschrieben, dass für jede Kilowattstunde, die nicht lokal bezogen wird, ein bestimmter Betrag in den lokalen Klimafonds einbezahlt wird. Der Stromverbrauch und -bezug wären entsprechend nachzuweisen. Da Strom nur selten in der Größenordnung, wie ihn ein Rechenzentrum benötigt, lokal produziert wird, können selbst bei kleinsten Einheiten hierbei relevante Beiträge entstehen. Gegebenenfalls können hier auch Anreize gemeinsam mit einem PPA geschaffen werden.

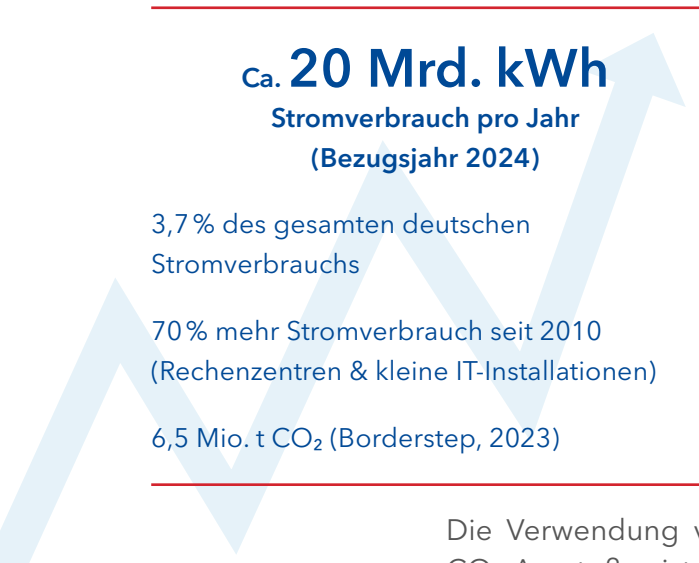
7.5 Konkrete Handlungsoptionen

Kommunen haben verschiedene Möglichkeiten, um die Ansiedlung von Rechenzentren positiv zu gestalten und deren Akzeptanz zu steigern. Dabei können soziale und nachhaltige Aspekte durch gezieltes Community Engagement integriert werden. Dies kann zwar im Rahmen von Bauleitverfahren oft nicht rechtssicher vereinbart werden, da es dem Kopplungsverbot unterliegen könnte, jedoch bieten viele Rechenzentrumsbetreiber freiwillige Engagements an, die auch in der Kommune eingefordert werden können. Hier einige Handlungsoptionen für Kommunen:

Ansätze für kommunales Handeln

- Förderung der Bürgerbeteiligung und frühzeitige Einbindung der Anwohner
- Vorgaben oder Vereinbarungen zur Fassadengestaltung oder Fassadenbegrünung
- Vorgaben oder Vereinbarungen zu Emissions- und Lärmschutzmaßnahmen
- Projekte aus dem Community Engagement
- Einrichtung eines Digitalisierungsbüros oder von Digitalisierungs-Lotsen
- Unterstützung von IT-Projekten für Schulen
- Bereitstellung und aktive Bewerbung von Ausbildungsplätzen
- Unterstützung lokaler Vereine
- Aufstellung von Informationsstationen oder Infotafeln
- Veranstaltungen wie Tag der Informatik, Infotag IT-Berufe und Beteiligung an Nachwuchsmessen
- Stärkung lokaler Unternehmen durch Synergien und gezielte Ansprache sowie Veranstalten von Informationstagen

Diese Maßnahmen können dazu beitragen, dass Rechenzentren nicht nur als Infrastrukturprojekte, sondern auch als aktive Partner in der regionalen Entwicklung wahrgenommen werden.



Ca. 20 Mrd. kWh

**Stromverbrauch pro Jahr
(Bezugsjahr 2024)**

3,7 % des gesamten deutschen
Stromverbrauchs

70 % mehr Stromverbrauch seit 2010
(Rechenzentren & kleine IT-Installationen)

6,5 Mio. t CO₂ (Borderstep, 2023)

Die Diskussionen um die ökologischen Nachhaltigkeitswirkungen von Rechenzentren fokussieren sich zumeist auf ihren Energiebedarf im Betrieb und die damit verbundenen Treibhausgaswirkungen. Aufgrund des aktuell sehr starken Ausbaus der Rechenzentrumsinfrastrukturen ist damit zu rechnen, dass dieser Stromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf über 31 Mrd. kWh ansteigen wird (Hintemann et al, 2024). Wie eingangs erwähnt, ist allein für den Raum Frankfurt/Rhein-Main mit einer Verdoppelung des Stromverbrauchs bzw. Strombedarfs durch Rechenzentren zu rechnen.

Die Verwendung von regenerativ erzeugtem Strom zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes ist möglich. Aufgrund der Größe der Rechenzentren und des kontinuierlichen Strombedarfs (24 Stunden, 365 Tage im Jahr) kann über eine Eigenstromerzeugung bspw. mit Photovoltaik nur ein geringer Anteil des Gesamtstrombedarfs realisiert werden. Der von Rechenzentren über das Netz von Stromversorgern bezogene Strom muss gemäß Energieeffizienzgesetz ab 2027 bilanziell aus regenerativen Quellen stammen. Hierzu bieten sich verschiedene Formen von Ökostromverträgen oder auch Power Purchase Agreements (PPA) an.

Im Zuge der Anstrengungen der Nachhaltigkeitsberichterstattung ist anzunehmen, dass die Erfassung der direkten und besonders der indirekten Treibhausgasemissionen, z.B. von gekauften Produkten (Scope-3-Emissionen), in den nächsten Jahren präziser wird.

Ansätze für kommunales Handeln

Im Rahmen von verpflichtenden Vorgaben oder bilateralen Vereinbarungen zwischen Kommunen und Rechenzentren gibt es zum Thema Energiebedarfe und Treibhausgasemissionen einige Ansatzpunkte für kommunales Handeln, z. B.:

- Art des Strombezugs der Rechenzentren (Ökostromverträge, PPA oder die anteilige Eigenstromerzeugung durch Photovoltaik)
- Einrichtung von Klimafonds oder Vereinbarungen zu anderen Ausgleichsmaßnahmen zum Klimaschutz
- Verpflichtung zur ganzheitlichen Erfassung von Treibhausgasemissionen und zu ihrer Vermeidung, z. B. durch die Verwendung von klimafreundlichen Kältemitteln oder klimafreundlichen Baustoffen. Für nicht vermeidbare Treibhausgasemissionen können geeignete Ausgleichsmaßnahmen vereinbart werden.
- Vereinbarungen zur Energieeffizienz von Rechenzentren. Gehen diese Vereinbarungen über die Anforderungen im Energieeffizienzgesetz hinaus, kann sich z. B. an den Best Practices im „European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centers“ orientiert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, sich an den Vergabekriterien des Blauen Engels für Rechenzentren oder Nachhaltigkeitszertifizierungen des TÜV zu orientieren. Mittelfristig ist auf EU-Ebene auch die Einführung einer Effizienzkezeichnung für Rechenzentren geplant.

8.1 Überblick über das Energieeffizienzgesetz

Energieeffizienzgesetz (EnEfG)

Gemäß § 3 (Begriffsklärungen) fallen nur Rechenzentren mit einer nicht redundanten elektrischen Nennanschlussleistung ab 300 Kilowatt unter die Regelungen des Gesetzes. Mit dem Gesetz werden insbesondere in fünf Bereichen Anforderungen an Rechenzentren gestellt.

Mit dem Energieeffizienzgesetz (EnEfG) setzte die deutsche Bundesregierung im Jahr 2023 die EU-Energieeffizienzrichtlinie in nationales Recht um. Das Gesetz setzt erstmalig regulatorische Vorgaben um, die sich direkt an Rechenzentren richten. Die Anforderungen im deutschen Gesetz gehen dabei teilweise über die EU-Richtlinien hinaus.

Das Energieeffizienzgesetz ist für Kommunen hilfreich, da dieses eine Reihe von Punkten regelt, die auch im Rahmen von Ansiedlungsprojekten von

Rechenzentren diskutiert werden, wie die Abwärmeabgabe oder die Energieverbrauchseffektivität.

Für Kommunen ist besonders relevant, wie die Regelungen zur Abwärmee-nutzung künftig in der Praxis gehandhabt werden.

Kernanforderungen aus dem Energieeffizienzgesetz:

1. Forderung eines Energie- und Umweltmanagementsystem (§ 12) ab dem 1. Juli 2025



Weitere Informationen im Web hier:



[Energieeffizienzgesetz für Rechenzentren](#)

2. Anforderungen der Energieverbrauchseffektivität (§ 11 Abs. 1 und Abs. 2)

Für neue Rechenzentren, die nach dem 1. Juli 2026 in Betrieb gehen, wird eine Energieverbrauchseffektivität von 1,2 oder kleiner gefordert. Das heißt, dass der jährliche Energiebedarf des gesamten Rechenzentrums inklusive aller Nebenaggregate wie Kühlung etc. maximal um 20 Prozent über dem jährlichen Energiebedarf der Informationstechnik liegen darf. Vor dem Hintergrund der aktuell üblichen Werte für die Energieverbrauchseffektivität von Rechenzentren, die im Durchschnitt bei 1,5 bis 1,6 liegen (Donnellan et al., 2023; Hintemann, Hinterholzer & Seibel, 2023), ist dies eine anspruchsvolle Zielsetzung. Für Rechenzentren, die vor dem 1. Juli 2026 in Betrieb genommen werden, gelten Übergangsregelungen. Ab dem 1. Juli 2030 darf ihre Energieverbrauchseffektivität nicht höher als 1,3 liegen.

3. Mindestanforderungen für den Anteil wiederverwendeter Energie (Abwärme) (§ 11 Abs. 2, S. 2)

Die vorgegebene Höhe des Anteils an wiederverwendeter Energie bestimmt sich wieder nach dem Datum der Betriebsaufnahme. So müssen Rechenzentren, die

- ab dem 1. Juli 2026 den Betrieb aufnehmen, einen ERF von mindestens 10 Prozent aufweisen,
- ab dem 1. Juli 2027 den Betrieb aufnehmen, einen ERF von mindestens 15 Prozent aufweisen,
- ab dem 1. Juli 2028 den Betrieb aufnehmen, einen ERF von mindestens 20 Prozent aufweisen.

Die Anforderung an den Anteil der wiederverwendeten Energie muss spätestens zwei Jahre nach der Inbetriebnahme im Jahresdurchschnitt dauerhaft erreicht werden.

4. Anforderungen an die Art der Stromversorgung ab dem 1. Januar 2024

Alle vom Gesetz erfassten Rechenzentren müssen ab dem 1. Januar 2024 ihren Stromverbrauch bilanziell zu 50 Prozent aus erneuerbaren Energien decken. Ab 1. Januar 2027 ist eine bilanzielle Deckung des Stromverbrauchs zu 100 Prozent aus erneuerbaren Energien gefordert.

5. Informationspflichten für Rechenzentrumsbetreiber und Betreiber von Informationstechnik

Einmal jährlich müssen insbesondere Angaben zur Größe, zum Standort, zu Stromverbräuchen, zum Anteil erneuerbarer Energien, zum Anteil wiederverwendeter Energie und zu Energieeffizienzkennzahlen veröffentlicht und an den Bund übermittelt werden.

8.2 Wiederverwendung von Abwärme

In Rechenzentren wird elektrische Energie im Wesentlichen in Wärmenergie umgewandelt, daher bedeutet die Wiederverwendung der Energie primär die Nutzung der Abwärme.

Neben der Verpflichtung hierzu werden sich auch weitere Rahmenbedingungen ändern, die die Abwärmenutzung aus Rechenzentren attraktiver werden lassen. Durch das Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze werden Kommunen verpflichtet, kommunale Wärmeplanungen durchzuführen.³ Die Planungsverantwortlichen sind verpflichtet, mögliche Wärmelieferanten an der Planung zu beteiligen. Hier entstehen Synergien, da Kommune und Rechenzentren ein gemeinsames Interesse haben, die Abwärme von Rechenzentren nutzbar zu machen.

Auf der anderen Seite gibt es die Herausforderung bei sehr großen Rechenzentren, einen geeigneten Abnehmer zu finden, da die Wärmemenge so groß ist (siehe „Größenordnung der Abwärme“ in [Kapitel 8.8](#)).

Bei der effektiven Implementierung des Gesetzes spielen Kommunen und Energieversorger eine entscheidende Rolle. Sie stehen vor der Herausforderung, die notwendige Infrastruktur zu schaffen, um die von den Rechenzentren erzeugte Abwärme optimal zu nutzen. Rechenzentrumsbetreiber übernehmen zudem möglicherweise eine neue Aufgabe, denn Rechenzentren werden von reinen Datenverarbeitungszentren zu potenziellen Energiezentralen, die sowohl Daten als auch Wärme liefern können.

³ Für Hessen ist die kommunale Wärmeplanung bereits seit 2022 durch das Hessische Energiegesetz (HEG) geregelt.

8.3 Herausforderungen bei der Abwärmenutzung

Das Fehlen geeigneter Abnehmer, technische Herausforderungen und Wirtschaftsfragen sind relevante Hindernisse auf dem Weg zu einer kostenökonomischen, umfangreichen Abwärmenutzung. Zudem existieren weitere Herausforderungen, die in der nachfolgenden Übersicht dargestellt sind und im weiteren Verlauf erläutert werden.

Hemmniskategorie	Hemmnis
Betriebswirtschaftlich	Abwärmenutzung gehört nicht zur Kernaufgabe des Rechenzentrums
Betriebswirtschaftlich	Fehlendes energetisches und wirtschaftliches Wissen
Betriebswirtschaftlich	Hoher Investitionsbedarf
Betriebswirtschaftlich	Lange Amortisationszeit, geringe Rendite
Kommunikativ	Fehlende Best-Practice-Beispiele der Abwärmenutzung in Deutschland
Kommunikativ	Fehlende Kommunikation, Silodenken
Rechtlich	Entstehende Abhängigkeiten und Verpflichtungen
Technisch	Fernwärmenetze nicht weit verbreitet und ausgebaut
Technisch	Niedriges Temperaturniveau der Abwärme
Technisch	Sicherstellung der kontinuierlichen Wärmeabnahme bzw. -verfügbarkeit

Abbildung 6: Hemmnisse nach Anzahl der Nennungen in den Bytes2Heat-Experteninterviews mit passenden Lösungsansätzen (Quelle: eigene Darstellung nach Bytes2Heat 2023)

8.4 Wirtschaftliche Perspektive der Abwärmenutzung

Die wirtschaftliche Perspektive wird sich deutlich verändern. Zukünftig wird die Preisrelation durch Faktoren wie die CO₂-Abgabe oder generell steigende Kosten für fossile Brennstoffe beeinflusst. Gleichzeitig verbessern sich durch den Ausbau und die Anpassung der Wärmenetze an niedrigere Temperaturen auch die technischen Rahmenbedingungen (siehe Kasten).

Die Nutzung industrieller Abwärme aus Rechenzentren bietet den Kommunen insbesondere im Kontext der Wärmeplanung große Chancen. Sie kann dazu beitragen, die Wärmeversorgung neu zu gestalten und den Einsatz fossiler Brennstoffe zur Wärmegewinnung zu minimieren.

Auch wenn die Abwärme aus Rechenzentren in der Regel nur etwa 30 °C erreicht und daher nicht direkt weiterverwendet werden kann, liegt ihre Temperatur dennoch deutlich höher als zum Beispiel die von Flusswasser, das ebenfalls für eine dekarbonisierte Wärmeerzeugung durch Wärmepumpen in Betracht gezogen wird.



Exkurs: Kostenfreie Abgabe von Abwärme

Aus einem Urteil des Bundesfinanzhofs (BFH) vom 25. November 2021 (V R 47/20 i.V.m. V R 45/20) ergeben sich für Rechenzentrumsbetreiber aus einer kostenfreien Abgabe steuerrechtliche Probleme. Der BFH unterstellt, dass Abwärme einen Marktwert hat und sie, obwohl es sich um ein „Abfallprodukt“ handelt, zu diesem Marktwert auch abgegeben werden muss. Wenn dies nicht geschieht, kann für Teile des Betriebs keine Gewinnerzielungsabsicht erkannt werden und es würde sich um eine „Zuwendung“ im Sinne des UstG handeln. Somit würde für diese Betriebsteile der Umsatzsteuervorabzug nicht geltend gemacht werden können. Dies würde wiederum bedeuten, dass die Kosten für die Errichtung des Rechenzentrums diese Betriebsteile betreffend deutlich höher würden. In der Begründung des Urteils leitet der BFH einen Marktwert her und stellt eine erlösbezogene Methode zur Ermittlung des Anteils des „Abwärmebetriebs“ am Gesamtbetrieb her. Es ist unbedingt zu empfehlen, im Einzelfall zu prüfen, zu welchen Kosten die Abwärme abgegeben werden darf und wie sich diese Festlegung auf die Anwendbarkeit des Vorsteuerabzugs auswirkt.

8.5 Rechtliche Grundlagen der Abwärmenutzung

Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) schafft die rechtlichen Grundlagen für eine flächendeckende Wärmeplanung in Deutschland. Das Gesetz regelt eine strategische Planung für die Nutzung von Abwärme, die in die kommunale Wärmeversorgung integriert werden soll.

8.6 Beteiligte Akteure bei der Abwärmenutzung

Die Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren erfordert Vereinbarungen zwischen verschiedenen Akteuren. Dies sind im Wesentlichen:

Rechenzentren (Wärmeerzeuger)

- Rechenzentren koppeln die Abwärme aus. Der Betrieb eines Rechenzentrums führt jedoch nicht zur Einstufung als Energieversorger oder Netzbetreiber.

Wärmenetzbetreiber (Verteiler)

- Der Wärmenetzbetreiber nimmt die Abwärme auf, verarbeitet sie und speist sie in das Fernwärmenetz ein. Er verkauft die Fernwärme an die Endkunden.
- Ggf. sorgt der Wärmenetzbetreiber für die Erhöhung des Temperaturniveaus der Abwärme, um sie effizient ins Netz zu integrieren.

Endkunden (Abnehmer)

- Endkunden zahlen für die Wärme, was die Grundlage des Geschäftsmodells des Wärmenetzbetreibers bildet.
- In einzelnen Fällen wird die Abwärmenutzung durch einen Anschluss- und Benutzungszwang durch die Gemeinde flankiert, obwohl dies mit Rechtsunsicherheiten einhergeht.

8.7 Ausnahmen von der Abwärmenutzungspflicht

Ausnahmen von der Pflicht zur Abwärmenutzung (§ 11 Abs. 3 EnEfG)



Betrieb eines in der Umgebung befindlichen Wärmenetzes nimmt ein Angebot zur Nutzung wiederverwendeter Energie zu Gestaltungszwecken nicht innerhalb von sechs Monaten an, obwohl Betreiber des Rechenzentrums die notwendige Infrastruktur zur Bereitstellung der Wärme, insbesondere in Form von Wärmeübergabestationen, bereithält (§ 11 Abs. 3 Nr. 3 EnEfG).



Vereinbarung zwischen Betreiber des Rechenzentrums und Betreiber eines Wärmenetzes oder einer in räumlicher Nähe befindlichen Gemeinde zur Abwärmenutzung, wonach der Betreiber des Wärmenetzes oder die Gemeinde konkrete Absicht zum Aufbau oder zur Gestaltung eines oder mehrerer Wärmenetze erklärt, wodurch Anforderungen an Abwärmenutzung innerhalb von zehn Jahren erfüllt werden können (§ 11 Abs. 3 Nr. 2 EnEfG).



Anteil an wiederverwendeter Energie entspricht nach Inbetriebnahme durch nachträgliche Ereignisse und ohne Verschulden des Betreibers des Rechenzentrums nicht mehr den Anforderungen (§ 11 Abs. 3 Nr. 1 EnEfG) (Latham & Watkins, 2024).

Alternative Abwärmenutzung

Betreiber von neuen Rechenzentren, die zur Wiederverwendung von Energie verpflichtet sind, haben gemäß § 11 Abs. 3 EnEfG die Möglichkeit, die faktische Abwärmenutzung innerhalb des eigenen Rechenzentrums, die technisch durch das Fehlen einer Wärmesenke sehr stark limitiert ist, durch andere Verwendungen zu ersetzen.

Das EnEfG zeigt drei Alternativen auf, von denen zwei tatsächlich Standortfaktoren im Rahmen der Projektentwicklung darstellen.

Abwärmenutzung in einem künftigen Wärmenetz ohne aktuelles örtliches Netz

Art Definition/Hinweis: Das EnEfG definiert den Begriff des Wärmenetzes in seinem Anwendungsbereich nicht. Aufgrund der Formulierung „Wärmenetz“ könnte ein Bezug zum Wärmeplanungsgesetz (WPG) hergestellt werden. Hiernach ist unter Wärmenetz eine Einrichtung zur leitungsgebundenen Versorgung mit Wärme, die kein Gebäudenetz im Sinne des § 3 Abs. 1 Nummer 9a des Gebäudeenergiegesetzes in der am 1. Januar 2024 geltenden Fassung ist, zu verstehen (§ 3 Absatz 1 Nr. 17 WPG). Welchen Umfang ein solches Netz haben muss, ist allerdings unklar. Ebenso unklar ist der räumliche Bezug „in der Nähe“.

Wenn in der räumlichen Nähe zum Standort des Rechenzentrums kein Wärmenetz bzw. kein Wärmenetz mit genügend Kapazität vorhanden ist, kann die Pflichterfüllung zur Abwärmenutzung dadurch ersetzt werden, dass der Betreiber des Rechenzentrums mit einer in räumlicher Nähe befindlichen Gemeinde oder dem Betreiber eines Wärmenetzes eine Vereinbarung zur Abwärmenutzung schließt, wobei das EnEfG keine Vorgaben zur Bestimmung der räumlichen Nähe vorgibt. Im Rahmen dieser Vereinbarung erklärt die Gemeinde oder der Betreiber eines Wärmenetzes die konkrete Absicht zum Aufbau oder zur Gestattung eines oder mehrerer Wärmenetze innerhalb von höchstens zehn Jahren.

Notwendige Regelungsinhalte dieser Vereinbarung sind:

- ein Investitionsplan,
- eine Regelung, wer die Kosten der Anbindungsleitung trägt, sowie
- Vereinbarungen über den Abgabepreis der Abwärme.

Im Ergebnis hängt die nach EnEfG realisierbare Größe eines Rechenzentrums von der Größe der Wärmesenke ab. Bei einer vorgegebenen Abwärmenutzung von 20 Prozent ergibt sich ein Versorgungspotenzial von rund 1.030 Einfamilienhäusern (EFH), bei 15 Prozent von rund 780 Einfamilienhäusern.

Als überschlägiger Wert kann ab 1. Juli 2028 angesetzt werden, dass pro Megawatt nicht redundante Nennanschlussleistung der IT-Infrastruktur rund 100 EFH versorgt werden können, pro 10 MW entsprechend 1.000 EFH usw.

Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die **entsprechende Anzahl an potenziellen Wärmeabnehmern vorhanden sein muss**, um ein künftiges Wärmenetz abzubilden, das als alternative Pflichterfüllung im Sinne des § 11 Absatz 3 EnEfG geeignet ist.

Für Kommunen ohne vorhandenes Wärmenetz ist eine Bestandsaufnahme und Planung notwendig. Die Leitfragen dürften sein:

- Wie viele potenzielle Wärmeabnehmer werden benötigt, um die geplante Größe des Rechenzentrums abbilden zu können?

- Wie viele potenzielle Wärmeabnehmer (Haushalte und Gewerbebetriebe) sind im Gemeindegebiet vorhanden, die realistisch an ein künftiges Wärmenetz angeschlossen werden könnten?

Bei der rechtssicheren Gestaltung der Vereinbarung sind somit einige wesentliche Punkte zu beachten – nicht zuletzt die Finanzierung des Wärmenetzes, das Betriebsmodell sowie die in vielen Fällen erforderliche Erhöhung des Temperaturniveaus der entstehenden Abwärme.

Wenn in der Umgebung des geplanten Rechenzentrumsstandortes **ein bestehendes Wärmenetz vorhanden ist**, kann die anfallende Abwärme in das Wärmenetz abgegeben werden. Damit lässt sich die Pflicht zur Abwärmenutzung im eigenen Rechenzentrum ersetzen, wobei das EnEfG den geografischen Radius der Umgebung nicht definiert.

Sollte der Betreiber des Wärmenetzes das Angebot zur Abgabe der Abwärme nicht beantworten, erkennt das EnEfG die Pflicht zur Abwärmenutzung des Rechenzentrums als erfüllt an, **wenn mehr als sechs Monate seit der Anfrage vergangen sein sollten und das Angebot zur Abwärmeabgabe folgende Voraussetzungen erfüllt:**

- Die Nutzung wiederverwendeter Energie wird zu Gestehungskosten angeboten und
- der Betreiber des Rechenzentrums verfügt über die notwendige Infrastruktur zur Bereitstellung der Wärme (insbesondere eine Wärmeübergabestation).

Das EnEfG zählt die Bereitstellung einer Wärmeübergabestation zur notwendigen Infrastruktur für die Bereitstellung der Wärme; welche weitere Infrastruktur hier gemeint ist, wird im EnEfG nicht weiter spezifiziert. Bei der Berechnung der Gestehungskosten ist das BFH-Urteil zu beachten und gegebenenfalls ein Sachverständiger einzubeziehen.

Der Betreiber des in der Umgebung befindlichen Wärmenetzes, dem ein Angebot zur Abwärmenutzung unterbreitet wird, wird nach dem EnEfG zur Mitwirkung verpflichtet. Er muss den Betreiber des Rechenzentrums über die Kapazität seines Wärmenetzes informieren.

Eine Ablehnung des Angebots innerhalb von sechs Monaten dürfte grundsätzlich nicht dazu führen, dass die Pflichterfüllung des Rechenzentrumsbetreibers fingiert wird.

Nichtsdestotrotz bringt die Sechs-Monats-Fiktion eine klare zeitliche Komponente in den Entscheidungs- und Planungsprozess des Rechenzentrumsbetreibers, sodass ein Standort in der Umgebung eines bestehenden Wärmenetzes attraktiver sein dürfte als die Alternative ohne Wärmenetz.

8.8 Größenordnung der verfügbaren Abwärme



300 kW Rechenzentrum
versorgt ca. 150 Haushalte

Bei einem Rechenzentrum mit beispielsweise 10 MW IT und einem durchschnittlichen PUE von 1,2 fallen rechnerisch 12 MW an Leistung an – bei konstanter Nutzung des Rechenzentrums sind das 105.120 MWh oder 105,12 GWh. Je nach Inbetriebnahme eines Rechenzentrums müssen zwischen 10 und 20 Prozent dieser Energie wiederverwendet werden. Da bei dem Einsatz von elektrischer Energie in Rechenzentren im Verhältnis von nahezu 1:1 Abwärme anfällt, handelt es sich bei der wiederverwendeten Energie faktisch ausschließlich um Abwärme. Meist kann nur ein Teil der anfallenden Abwärme genutzt werden (Lutz, 2023).

Auf Basis der oben erwähnten 10 MW IT-Leistung mit einem Jahres-PUE von 1,2 ergeben sich 105,12 GWh. Um dies ins Verhältnis zu setzen mit der Größe einer Wärmesenke, d.h. dem Abnehmer der Wärme, kann man zum Beispiel den Heizbedarf eines Wohnhauses von 110 kW pro Quadratmeter und Jahr ansetzen.

Dabei kann von einer durchschnittlichen Auslastung eines Rechenzentrums von 70 Prozent im Jahresmittel ausgegangen werden, da 100 Prozent Auslastung so gut wie nie erreicht werden. Dies bedeutet rund 74.000 GWh pro Jahr. Wenn man diesen Betrag durch die 110 kWh pro Quadratmeter teilt, dann ergeben sich rund 670.000 Quadratmeter Wohnfläche. Legt man 130 Quadratmeter pro Einfamilienhaus zugrunde, ergeben sich etwa 5.200 Einfamilienhäuser, die mit der Abwärme beheizt werden könnten.

Zur Einordnung in den Flächenverbrauch eines 10-MW-Rechenzentrums: In Abhängigkeit von den baulichen Kennzahlen auf dem Grundstück wird hierfür ein zwischen 8.000 und 12.000 Quadratmetern großes Grundstück benötigt. Dies bedeutet, dass im Grundsatz mit überschaubaren Grundstücksgrößen technisch eine Wärmequelle für ein großes Wohngebiet errichtet werden könnte.

Bei Büroflächen ergibt sich ein um ca. 20 Prozent höherer Wärmebedarf pro Quadratmeter und Jahr, jedoch ändert sich damit nichts an der grundsätzlichen Größenordnung.

Diese Rechnung berücksichtigt nicht das Temperaturniveau, sondern soll lediglich eine Größenordnung darstellen.

8.9 Abnehmer für Abwärme finden

Es bleibt eine zentrale Herausforderung, relevante Akteure aus der Rechenzentrumsbranche, der Energieversorgung, der Technologiebranche und den Kommunen zusammenzubringen (Lechner et al., 2023). Um die ungenutzte Abwärme für die Energiewende nutzbar zu machen, muss stärker darauf hingewirkt werden, Anbieter und Nachfrager besser zu vernetzen.

Die Projektpartner des Forschungskonsortiums Bytes2Heat arbeiten an innovativen Tools, um dieses Abwärme-Matching zu ermöglichen und weitere Vorreiterbeispiele der Abwärmenutzung aus Rechenzentren anzustoßen. In Zukunft soll die Plattform „Bytes2Heat“ den Findungsprozess von Rechenzentren und Abwärmeabnehmern beschleunigen. Bereits jetzt zeigt die Bytes2Heat-Best-Practice-Übersicht, wie vielseitig die Abwärme aus Rechenzentren von der Algenzucht bis zur Zentralheizung genutzt werden kann. Der „Bytes2Heat-Quick-Check“ ermöglicht eine schnelle erste Wirtschaftlichkeitsabschätzung von potenziellen Projekten zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren.

Eine Umfrage von Bytes2Heat zeigt, dass die größten Herausforderungen bei der Abwärmenutzung in der Suche nach geeigneten Abnehmern (56 %) und technischen Schwierigkeiten (53 %) liegen, insbesondere in der Umsetzungsphase konkreter Projekte. Die erforderlichen Technologien gelten zwar als erprobt und verfügbar, jedoch erschweren Rahmenbedingungen wie niedrige Abwärmeparameter oder -leistungen sowie bestehende Technikinfrastrukturen ihren Einsatz.

Wirtschaftliche Unsicherheiten, wie fehlende oder unklare Wirtschaftlichkeit von Projekten, wurden ebenfalls von 52 % der Befragten als Hindernis genannt. Weniger häufig wurden Probleme bei Baugenehmigungen (23 %), Förderanträgen (23 %) oder der Akzeptanz im räumlichen Umfeld (18 %) genannt. Dennoch können Projekte auch an diesen Faktoren scheitern.

Unterstützung bei der Abwärmenutzung und Wärmeatlas Hessen

Die LEA Hessen übernimmt im Auftrag der Hessischen Landesregierung zentrale Aufgaben bei der Umsetzung der Energiewende und des Klimaschutzes. Ein Schwerpunkt der Aktivitäten richtet sich an hessische Kommunen, die vielfältige Formen der Unterstützung bei kommunalen Strategien und Maßnahmen zum Klimaschutz, zur Energieeffizienz, zu Wärmenetzen,

zur Energieeinsparung und zum Ausbau erneuerbarer Energien erhalten können.

Ein hilfreiches Planungsinstrument um die ambitionierten Klimaschutzziele der Landes- und Bundesregierung zu erreichen, ist der Wärmetlas Hessen. Die digitale Karte zeigt die hessischen Gebäudewärmebedarfe und industrielle Abwärmequellen auf und vereinfacht somit die kommunale Wärmeplanung:

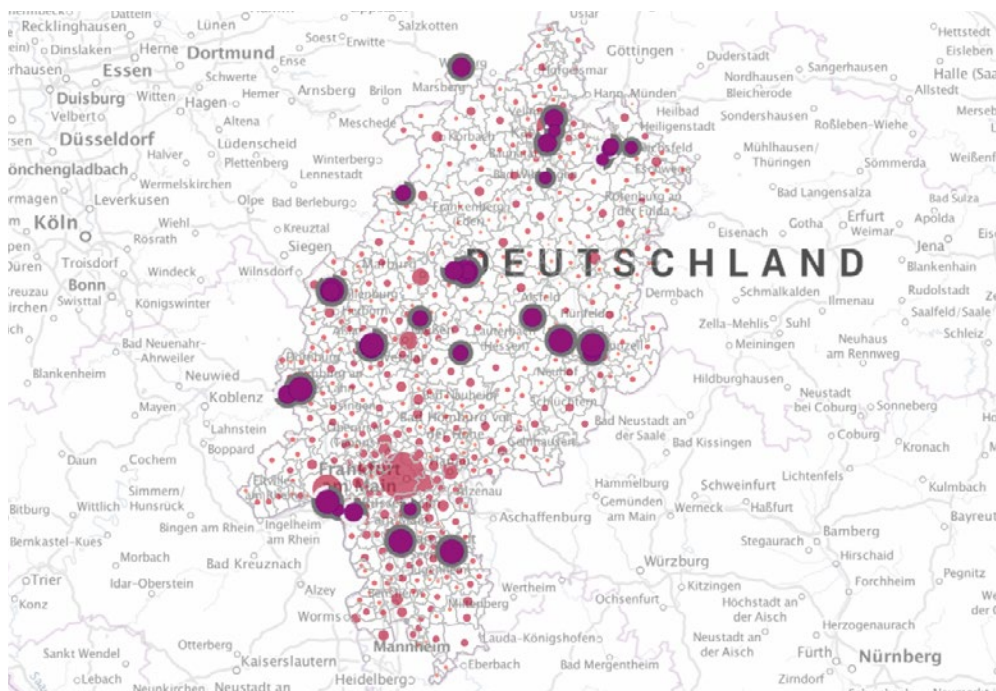


Abbildung 7: Wärmetlas Hessen (Quelle: LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH)

In Hessen konnten bereits einige Projekte zu Wärmenetzen und Abwärmennutzung erfolgreich realisiert werden. Zu den Erfolgsgeschichten zählen Projekte mit dem Frankfurter Kulturzentrum und „Batschkapp“, dem Verbundprojekt „InnoAbwNRZ“ in Offenbach sowie das innovative Wärme-konzept im künftigen Wohnquartier „Franky“ in Frankfurt.



Best Practice: Machbarkeitsstudie Abwärme Rechenzentren Frankfurt

Durch die Universität Kassel wurde eine Studie zur Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung mit Abwärme aus Rechenzentren durchgeführt, die besonders für neu geplante Rechenzentren von hohem Nutzen ist.



Weitere Informationen im Web hier:



[Machbarkeitsstudie Abwärme Rechenzentren Frankfurt](#)

Aufbau eines Wärmenetzes

Für den Aufbau neuer Wärmenetze empfiehlt es sich, insbesondere auch Fördermittel der öffentlichen Hand zu berücksichtigen. Die Kosten für Wärmenetze sind erheblich: Es kann von mehr als 1.500 Euro pro laufendem Doppelmeter (Vor- und Rücklauf) Wärmenetz ausgegangen werden. Daher ist die Wärmedichte wesentlich für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes. Die Wärmedichte leitet sich grundsätzlich aus dem technischen Wärmebedarf pro Flächeneinheit ab, wird aber auch durch die Anzahl der Anschlüsse auf dieser Flächeneinheit bestimmt.



Weitere Informationen im Web hier:



[Rechtsgutachten kommunaler Steuerungs- und Absatzsicherungsinstrumente für Wärmenetzprojekte](#)

Hinsichtlich eines Betreibermodells gibt es verschiedene Szenarien, die im Rahmen des Aufbaus neuer Wärmenetze infrage kommen:

- Kommunales Netz: Aufgrund der Investitionsvolumina kommt es in der Regel eher für kleinere Netze infrage.
- Genossenschaftliche Modelle
- Contracting-Modell: Ein kommerzieller Wärmenetzbetreiber vertreibt die Wärme.

Das Thema der Konzessionsvergabe muss im Zusammenhang der Wärmenetze geklärt werden. Öffentliche Wege und Straßen müssen einem Netzbetreiber rechtssicher zur Führung der Trasse zur Verfügung gestellt werden.

Die Finanzierung des Aufbaus neuer Wärmenetze bzw. des Anschlusses an bestehende Wärmenetze sowie die konkreten vertraglichen Regelungen zur Wärmelieferung stellen aktuell sowohl Kommunen, Wärmenetzbetreiber als auch Rechenzentrumsbetreiber vor sehr große Herausforderungen.



Exkurs: Temperaturniveau bei der Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren

Wärmenetze werden hinsichtlich des Temperaturniveaus unterschieden. Während ältere Fernwärmenetze teilweise mit Dampf und Temperaturen über 100 °C betrieben werden, haben modernere Wärmenetze ein deutlich niedrigeres Niveau. Aktuell werden insbesondere Wärmenetze der sogenannten vierten Generation aufgebaut, die mit Temperaturen von 30 bis 70 °C arbeiten. Auf einem noch niedrigeren Temperaturniveau können „kalte“ Fernwärmenetze arbeiten (25 bis 35 °C). Da die Temperaturen in Rechenzentren der heutigen Bauart sich im letztgenannten Bereich bewegen, würden sich solche Wärmenetze für den Anwendungsfall besonders gut eignen. Es wäre keine oder nur eine sehr geringe Erhöhung des Temperaturniveaus notwendig. Im Falle von höheren Temperaturen in den Wärmenetzen müssen die aus dem Rechenzentrum ausgekoppelten Temperaturen mittels Wärmepumpen auf das benötigte Niveau erhöht werden. Im Grundsatz kann dies zentral bei der Wärmequelle, an einem Netzknoten oder dezentral bei der jeweiligen Wärmesenke durchgeführt werden. Die dafür erforderlichen Strommengen ergeben sich aus der Höhe der Temperaturanpassung sowie der Wärmeleistung. Bei großen Systemen werden Stromanschlüsse mit mehreren Megawatt Leistung benötigt.

Die Notwendigkeit der Temperaturanhebung fällt weg bzw. ist deutlich geringer, wenn Rechenzentren auf einem höheren Temperaturniveau Wärme auskoppeln können, z.B. bei über 50 bis 60 °C. Dies ist gegenwärtig nur mit dem sogenannten „Direct Liquid Cooling“ möglich, bei dem die Wärme mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit direkt an den Wärmequellen im Server abgeführt wird und das somit auf einem deutlich höheren Temperaturniveau arbeitet. Solche Systeme werden gegenwärtig meist nur im Bereich von High Performance Computing, z.B. in wissenschaftlichen Einrichtungen, verwendet. Die derzeitigen Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz und die damit verbundene Notwendigkeit hoher Rechenleistung führen dazu, dass künftige Rechenzentren von Beginn an „KI-ready“ konzipiert werden – das bedeutet, sie sind für eine Umrüstung auf Direct Liquid Cooling (DLC) vorbereitet. Diese Technologie ermöglicht eine deutlich höhere Leistungsdichte pro Quadratmeter.

Ansätze für kommunales Handeln

Im Rahmen von verpflichtenden Vorgaben oder bilateralen Vereinbarungen zwischen Kommunen und Rechenzentren gibt es zum Thema Aufbau von Wärmenetzen und der Nutzung der Abwärme von Rechenzentren insbesondere folgende Ansatzpunkte für kommunales Handeln:

- **Vereinbarungen über Abwärmenutzung:** Festlegung von Art, Umfang und Kosten der aus Rechenzentren bereitgestellten Abwärme.
- **Unterstützung beim Aufbau von Wärmenetzen:** Zusammenarbeit mit Rechenzentrumsbetreibern zur Entwicklung neuer Wärmeinfrastrukturen.
- **Flächenbereitstellung:** Verhandlungen über Flächen auf dem Gelände des Rechenzentrums für Anlagen zur Abwärmenutzung.
- **Klärung der Kostenübernahme:** Regelungen zur Bereitstellung der elektrischen Anschlussleistung für Wärmepumpen zur Abwärmeaufbereitung.
- **Vertragliche Sicherung der Wärmeversorgung:** Über städtebauliche Verträge kann gewährleistet werden, dass Rechenzentren über die gesamte Betriebsdauer des Wärmenetzes Wärme liefern
- **Regelungen bei Stilllegung:** Klärung, wie mit der Wärmeversorgung umgegangen wird, falls ein Rechenzentrum den Betrieb einstellt. Kommunen sollten deshalb redundante Alternativen einplanen und stärkere Abhängigkeiten langfristig vermeiden.
- **Passende Abnehmer finden:** Sicherstellen, dass die große Menge an Abwärme sinnvoll genutzt werden kann.
- **Betriebsmodell für Wärmenetze:** Festlegung geeigneter Strukturen für den wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes.

Rechenzentren sind üblicherweise nur zu rund 70 Prozent ausgelastet, wodurch etwa 30 Prozent der Anschlusskapazität ungenutzt bleiben. Diese Reserve reicht aus, um Wärmepumpen zur gesetzlich gewünschten Abwärmenutzung zu betreiben.

Gerade im Winter, wenn die Abwärme besonders gefragt ist, nutzen viele Rechenzentren freie Kühlung und benötigen keine energieintensiven Kältemaschinen. Sollte ein Rechenzentrum kurzfristig mehr Leistung für eigene Zwecke benötigen, können die Wärmepumpen flexibel heruntergeregelt werden und nur überschüssige Energie nutzen.

Die Wärmeversorgung bleibt dabei gesichert: In Fernwärmenetzen sorgen Redundanzen für eine stabile Versorgung. In Nahwärmenetzen kann in der Heizzentrale eine zusätzliche Wärmeerzeugung integriert werden, um die Versorgungssicherheit weiter zu erhöhen.

Die Kommunen verfügen im Rahmen ihrer zentralen Rolle hinsichtlich Planungsrecht und anderer in der Hessischen Gemeindeordnung vorgesehener Aufgaben über zahlreiche Instrumentarien, um eine Ansiedlung von Rechenzentren nachhaltig zu gestalten und aktiv zu betreiben. Dieses Kapitel erklärt die Handlungsspielräume der Kommunen bei der Entwicklung und Steuerung von Flächennutzung für Rechenzentren. Unabhängig davon, ob diese Projekte von den Kommunen selbst oder von Entwicklern initiiert werden, haben die Städte verschiedene Einfluss- und Gestaltungsmöglichkeiten. Ein frühzeitiges Auseinandersetzen mit der städtebaulichen Situation, dem Baurecht und den geplanten Maßnahmen erleichtert den Dialog mit den Betreibern von Rechenzentren.

Im Wesentlichen stehen den Kommunen die Potenzialflächenanalyse, der RZ-Entwicklungsplan, das Bauleitverfahren und der städtebauliche Vertrag als Instrumente zur Verfügung.

9.1 Potenzialflächenanalyse

Eine Potenzialflächenanalyse betrachtet übergeordnete Aspekte potenzieller Standorte. Potenzialflächenanalysen sind häufig bekannt aus Vorgängen, bei denen Aufstellflächen für erneuerbare Energien ermittelt werden. Sie sind Standortanalysen, die dazu dienen, geeignete und nicht nur aus Umweltsicht konfliktärmere potenzielle Anlagenstandorte zu ermitteln und in die Entscheidungsfindung über ein kommunales Standortkonzept oder einen Teilflächennutzungsplan einzubringen. Bei einer Potenzialflächenanalyse bezüglich Rechenzentren können potenziell geeignete Standorte ermittelt werden, die eine künftige Steuerung der Gewerbeansiedlungen – hier insbesondere Rechenzentren – erleichtert. Neben dem Ziel der konfliktarmen Standortfindung können bei entsprechender Berücksichtigung auch Synergien zu Wind- oder Solarparks, Hochspannungsleitungen, Umspannwerken etc. untersucht werden.



Weitere Informationen im Web hier:



[Strategie Stadt Hanau](#)

Aus städtebaulicher Sicht ist diese Form der Analyse ein sinnvolles Instrument. Durch ein Stakeholder-Management werden die Erwartungen an eine Rechenzentrumsansiedlung aufgenommen und im Idealfall ein Konsens im Sinne möglichst aller Akteure erzielt. In dem Zuge sollte eine Potenzialflächenanalyse vorgenommen werden, um nach Auswertung der Kriterien, die exemplarisch in [Kapitel 5](#) aufgezeigt wurden, die bestmöglichen Standorte für Rechenzentren zu ermitteln.

Auf Grundlage der Potenzialflächenanalyse lässt sich der Flächennutzungsplan anpassen, der wiederum die Basis für geltendes Baurecht schafft.

9.2 Aufstellen eines Rechenzentrumsentwicklungsplans

Stärkung von kommunalen Standortkonzepten und eine zielgerichtete Ansiedlung durch die Entwicklung eines Gewerbeflächenentwicklungsplans

Durch eine Potenzialflächenanalyse können für Rechenzentren grundsätzlich geeignete Flächen wie passende Gewerbegebiete oder Grundstücke ermittelt werden. Auf dieser Basis lässt sich ein Gewerbeflächenentwicklungsplan erstellen, der die Ansiedlung von Rechenzentren steuert. Ein solcher Plan dient dazu, geeignete Flächen zu identifizieren, ungeeignete Flächen auszuschließen, und potenziell geeignete Standorte darzustellen und festzulegen. Dadurch können kommunale Standortkonzepte gestärkt werden und Ansiedlungen zielgerichtet erfolgen. Der Rechenzentrumsentwicklungsplan entfaltet jedoch keine Außenwirkung. Zur verbindlichen räumlichen Steuerung ist eine zielgerichtete Bauleitplanung erforderlich, die gegebenenfalls mit weiteren Instrumenten, wie dem Erlass von Veränderungssperren, flankiert werden kann.

Bedeutung städtebaulicher Standortkonzepte

Die Bedeutung städtebaulicher Standortkonzepte ergibt sich aus § 1 Abs. 6 Nr. 11 BauGB. Demnach müssen die Ergebnisse eines von der Gemeinde beschlossenen städtebaulichen Entwicklungskonzepts oder einer sonstigen städtebaulichen Planung bei der Aufstellung der Bauleitpläne berücksichtigt werden. Kommunen sind zur Erstellung solcher Konzepte und Planungen befugt, aber nicht verpflichtet. Ziel dieser Konzepte ist es, die kommunale Bauleitplanung zu unterstützen und zu ergänzen. Sie können dabei helfen, bestimmte Festsetzungen in Bebauungsplänen städtebaulich zu begründen und nach Abwägungsgrundsätzen zu rechtfertigen.

Unabhängig von städtebaulichen Konzepten ist die Kommune verpflichtet, dem Abwägungsgebot gemäß § 1 Abs. 7 BauGB zu genügen. Das bedeutet, dass eine Abwägung zwischen den Belangen der Bauleitplanung und anderen öffentlichen und privaten Interessen notwendig ist. Eine strikte Bindung der Kommune an die Ergebnisse eines beschlossenen städtebaulichen Konzepts besteht nicht; die Bauleitplanung kann auch von den grundlegenden Aussagen abweichen.



Praxisbeispiel

Die Stadt Frankfurt am Main hat ein Rechenzentrenkonzept erstellt und dieses in einem Gewerbeflächenentwicklungsprogramm festgehalten. Ziel seitens der Stadt ist eine städtebauliche Lenkung der Ansiedlung von Rechenzentren. In dem Gewerbeflächenentwicklungsprogramm wurden potenzielle Entwicklungsflächen innerhalb des Stadtgebiets eingegrenzt. „Die Gewerbegebiete in Frankfurt am Main werden zukünftig in Eignungsgebiete, eingeschränkte Eignungsgebiete und Ausschlussgebiete für unternehmensunabhängige Rechenzentren eingeteilt.“ (Stadtplanungsamt Frankfurt, o. J.)

- Die Stadt Hanau hat 2022 in der Stadtverordnetenversammlung eine Rechenzentrumsstrategie beschlossen, die vier Standorte für die Entwicklung von Rechenzentren vorsieht und Rechenzentren an anderen Standorten ausschließen soll.
- Die Stadt Offenbach hat mittlerweile Flächen zur Entwicklung von Rechenzentren identifiziert und ausgewiesen, die sich unter anderem an der Nähe zu Wärmenetzen orientieren.

Zur rechtssicheren Umsetzung des Entwicklungsplans ist eine anschließende Änderung oder Aufstellung von Bebauungsplänen notwendig, wo jeweils Einschränkungen der Nutzung verankert werden.

9.3 Bauleitverfahren

Die Einflussmöglichkeiten der Kommunen hängen hauptsächlich von der baurechtlichen Situation ab. „Rechenzentren in Misch-, Gewerbe- und Industriegebieten“ sind „prinzipiell zulässig“ (Regierungspräsidium Darmstadt, 2022). Im Folgenden wird anhand einer Prozessdarstellung gezeigt, wie Kommunen Einfluss nehmen können, sofern sie noch keine Entwicklungspläne und Steuerungsinstrumente geschaffen haben.

Prozessübersicht

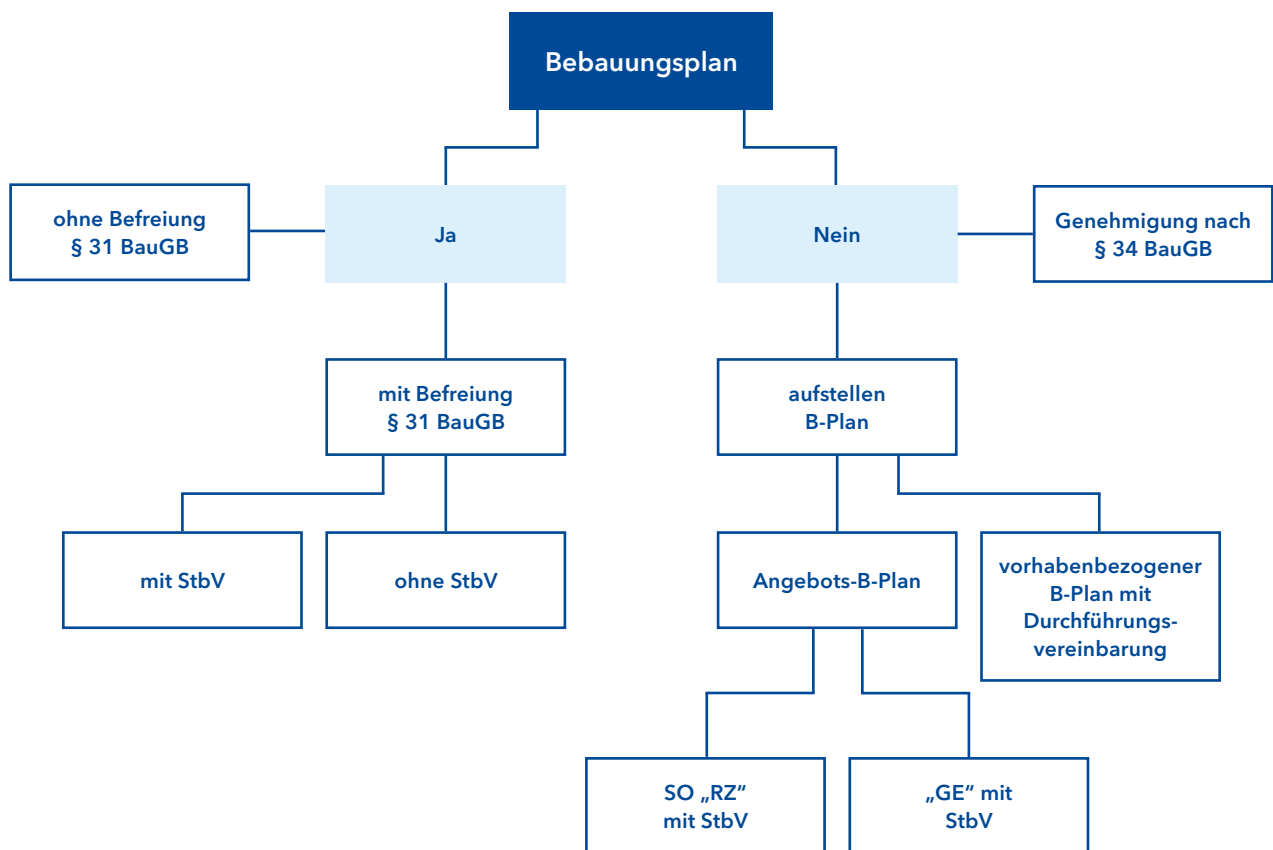


Abbildung 8: Prozessdarstellung Bauleitverfahren; (Quelle: eigene Darstellung nach TTSP HWP)

Den mit Abstand größten Spielraum bieten Bauleitverfahren. Sowohl in den Festsetzungen als auch in den typischerweise begleitenden städtebaulichen Verträgen können konkrete Aspekte verankert werden. Das heißt, dass in Fällen, bei denen kein Bebauungsplan existiert, kann im Zusammenhang mit der Erstellung eines Bauleitverfahrens ein städtebaulicher Vertrag geschlossen werden. In Fällen, bei denen ein Bebauungsplan, z.B. als Gewerbegebiet (GE), vorliegt, sind darin bereits entsprechende

Festsetzungen getroffen. Werden diese vom Vorhabenträger umfassend eingehalten, so hat er Anspruch auf Erteilung einer Baugenehmigung, wenn alle erforderlichen Normen eingehalten und Nachweise geführt werden. Da es bereits weitere Handreichungen zu den bauplanungs- und bauordnungsrechtlichen Fragestellungen gibt, möchten wir uns hier auf Bauleitverfahren und die Ausgestaltungsmöglichkeiten für Kommunen fokussieren.

Bevor eine Bauleitplanung aus- oder umgestaltet wird, sollten wichtige Vorarbeiten stattfinden, die eine nachhaltige Ansiedlung von RZ maßgeblich beeinflussen und zu einer größeren Akzeptanz von RZ-Ansiedlungen führen können. Hierzu zählen Stakeholder-Management, Bürgerbeteiligung, Potenzialflächenanalyse und Rechenzentrumsentwicklungspläne.

9.4 Bedeutung der Bauleitplanung und Instrumente der kommunalen Steuerung

Innerhalb der Bauleitplanung bestehen verschiedene Möglichkeiten der Steuerung durch die Kommunen. Diese Steuerungsmöglichkeiten sind je nach Ausgangslage und daraus resultierendem Instrumenteneinsatz unterschiedlich wirksam.

Bauleitpläne sollen eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen, auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen, miteinander in Einklang bringt, sowie eine dem Wohl der Allgemeinheit dienende sozialgerechte Bodennutzung unter Berücksichtigung der Wohnbedürfnisse der Bevölkerung, so § 1 Abs. 5 S. 1 BauGB. Die Festsetzungen in Bebauungsplänen wirken sich auf viele Belange aus, deren gerechte Abwägung Grundvoraussetzung für eine rechtssichere und verantwortungsvolle Planung ist. Darüber hinaus zählt das Recht auf Planung und Festlegung der Bodennutzung zu den Kernelementen kommunaler Selbstverwaltung. Umso wichtiger ist es, dass sich Kommunen mit der räumlichen Steuerung von Rechenzentren auseinandersetzen und die rechtlichen Möglichkeiten der Bauleitplanung und städtebaulicher Verträge für eine nachhaltige und bedarfsgerechte Steuerung kennen.

9.5 Steuerungsmöglichkeiten im Rahmen der Bauleitplanung

Zur Umsetzung ihrer städtebaulichen Ziele steht den Gemeinden insbesondere die Bauleitplanung zur Verfügung. Die Entwicklung von Städten und Gemeinden wird durch Bauleitpläne gesteuert. Diese werden von den Kommunen eigenverantwortlich erstellt und bestehen aus zwei aufeinander aufbauenden Planungsstufen:

- **Flächennutzungsplan (vorbereitender Bauleitplan):**

Dieser Plan zeigt die langfristige Nutzung des Gemeindegebiets – z. B. Wohn-, Gewerbe- oder Grünflächen – und dient als Orientierung für die Stadtentwicklung.

- **Bebauungsplan (verbindlicher Bauleitplan):**

Aufbauend auf dem Flächennutzungsplan legt der Bebauungsplan konkret fest, was, wo und wie gebaut werden darf. Er enthält rechtsverbindliche Vorgaben zu Gebäudestandorten, Bauhöhen oder Grünflächen.

Neben der Schaffung rechtsverbindlicher Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung sind Kommunen im Rahmen der Bauleitplanung gehalten, vielfältige Belange zu berücksichtigen und dies durch entsprechende Festsetzungen in Bebauungsplänen zu sichern. Bauleitpläne dienen nicht allein der Schaffung von Baurecht, sondern sollen gemäß § 1 Abs. 5 BauGB auch dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern sowie den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern und zur Erfüllung der Klimaschutzziele des Bundes-Klimaschutzgesetzes die Wärme- und Energieversorgung von Gebäuden treibhausgasneutral zu gestalten. Darüber hinaus sollen sie die städtebauliche Gestalt des Ortes und des Landschaftsbildes kulturell erhalten und fördern. Für Angebotsbebauungspläne sieht § 9 BauGB einen abschließenden Festsetzungskatalog vor, der ein breites Spektrum an Steuerungsmöglichkeiten bietet. Darüber hinaus haben Kommunen die Möglichkeit, aus städtebaulichen Gründen bestimmte Nutzungen, die üblicherweise in entsprechenden Gebieten zulässig sind, auszuschließen, indem sie dies im Bebauungsplan festsetzen. Eine reine Verhinderungsplanung zum grundsätzlichen Ausschluss bestimmter Nutzungen im gesamten Gemeindegebiet ist hingegen unzulässig.

Auch zur energetischen Optimierung und zur Vermeidung von Wärmeverlusten können gezielte Festsetzungen getroffen werden, etwa zum Maß der baulichen Nutzung, zur Ausrichtung von Bauplätzen oder Baugrenzen. Darüber hinaus können durch Festsetzung im Bebauungsplan der

Einsatz fossiler Energieträger für bestimmte Baugebiete beschränkt und der Einsatz erneuerbarer Energien oder der Kraft-Wärme-Kopplung gefördert werden. Gemeinden können Versorgungsflächen festsetzen oder die Bauträger bei der Errichtung von Gebäuden (oder sonstigen Anlagen) zu bestimmten baulichen oder sonstigen technischen Maßnahmen zur dezentralen Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte verpflichten. Ferner können Gemeinden Lage und Führung von Versorgungsanlagen und -leitungen sowie von Verkehrsanlagen festlegen.

In jedem Fall ist bei der Ausgestaltung von Bebauungsplänen zu berücksichtigen, dass die betroffenen Belange ordnungsgemäß miteinander abgewogen werden. Bebauungspläne müssen unter Umständen einer rechtlichen Überprüfung im Rahmen von Normenkontrollverfahren standhalten. Eine sorgfältige und rechtswirksame Ausgestaltung ist mit Blick auf den Bestand der städtebaulichen Planung unerlässlich.

Im Wesentlichen existieren folgende Szenarien zu Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb der Bauleitplanung:

- Möglichkeiten der Gestaltung in B-Plan-Verfahren (GE, Gewerbegebiet; SO, Sondergebiet bzw. -baufläche)
- Veränderungssperre
- Teilbereichsbezogene Änderung des Flächennutzungsplans
- Befreiung von den Festsetzungen des Bebauungsplans gemäß § 31 Ausnahmen und Befreiungen (BauGB)
- Möglichkeiten der Gestaltung im Rahmen von Genehmigungen gemäß § 34 Abs.1 BauGB – Einfügnachweis
- Gestaltungsmöglichkeiten nach § 30 BauGB
- Genehmigung innerhalb Bebauungsplan GE
- Städtebaulicher Vertrag als begleitendes Instrument

An dieser Stelle weisen wir auch auf die Handreichung zu Möglichkeiten des planerischen Umgangs und der räumlichen Steuerung auf kommunaler Ebene des Regionalverbands Frankfurt/Rhein-Main hin, der einige Aspekte noch vertieft.

9.6 Städtebauliche Verträge

Die Bauleitplanung bietet den Gemeinden vielfältige Möglichkeiten der räumlichen Steuerung, die aber durch den gesetzlichen Rahmen begrenzt

werden. Ergänzend zu den Steuerungsinstrumenten der Bauleitplanung ebenso wie im unbeplanten Innenbereich haben Gemeinden die Möglichkeit, auch Belange jenseits des Festsetzungskatalogs des § 9 BauGB zu sichern. Die Regelungsinhalte städtebaulicher Verträge sind in § 11 Abs. 1, S. 2 BauGB beispielhaft, jedoch nicht abschließend aufgeführt.

Angesichts der zunehmenden Komplexität der räumlichen Planung und Steuerung haben kooperative Ansätze zur Zusammenarbeit von Kommunen und privaten Investoren deutlich an Bedeutung gewonnen. Der effiziente Einsatz öffentlicher Mittel, die häufige Ressourcenknappheit in der öffentlichen Verwaltung sowie die durch § 9 BauGB begrenzten Möglichkeiten bei der Ausgestaltung von Bebauungsplänen steigern die Attraktivität ergänzender vertraglicher Problemlösungen. Sowohl im Zusammenhang mit einzelnen Bauvorhaben als auch im Kontext der Bauleitplanung sind städtebauliche Verträge daher unerlässlich.

Gemäß § 11 Abs. 1 BauGB können Gemeinden städtebauliche Verträge insbesondere zur Vorbereitung oder Durchführung städtebaulicher Maßnahmen, zur Sicherung der mit der Bauleitplanung verfolgten Ziele, zur Übernahme von Kosten im Zusammenhang mit städtebaulichen Maßnahmen sowie über die Errichtung und Nutzung von Anlagen zur Erzeugung, Verteilung, Nutzung oder Speicherung von Strom, Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung und zur energetischen Qualität von Gebäuden schließen. Die in § 11 Abs. 1 S. 2 BauGB aufgeführten möglichen Inhalte städtebaulicher Verträge sind keineswegs abschließend, sondern bilden lediglich die in der Praxis besonders relevanten Fallkonstellationen ab. Darüber hinaus sind zahlreiche weitere Aspekte vorstellbar, die je nach konkreter Konstellation Gegenstand eines städtebaulichen Vertrages sein können. Der Vorhabenträger kann sich in städtebaulichen Verträgen – regelmäßig mit den im Folgenden näher erläuterten Einschränkungen – zu verschiedenen Maßnahmen verpflichten. Denkbare Regelungsinhalte im Kontext zu errichtender Rechenzentren können im Einzelfall etwa die folgenden sein:

- Abgabe von Abwärme
- Fassadengestaltung und -begrünung
- Bepflanzungs- und Begrünungsmaßnahmen
- Nutzung erneuerbarer Energien
- Einsatz nachhaltiger Baustoffe
- Grundwasser- und Umweltschutzmaßnahmen
- Natur- und artenschutzrechtliche Ausgleichsmaßnahmen
- Schallschutzmaßnahmen
- Bodensanierungsmaßnahmen
- Verkehrserschließung

Zu beachten ist allerdings, dass sich städtebauliche Verträge in einem Spannungsfeld unterschiedlicher schutzbedürftiger Interessen bewegen. Das bedeutet, dass eine Gemeinde durch ihre Bauleitplanung keine faktische Vorentscheidung für eine zukünftige Planung treffen darf, ohne dass dafür ein konkreter städtebaulicher Bedarf besteht. Der Vertrag kann die Umsetzung einer zulässigen Planung regeln, aber nicht selbst eine unzulässige Vorwegbindung schaffen. Darüber hinaus unterliegen städtebauliche Verträge dem Angemessenheitsgrundsatz und dem Koppelungsverbot. Gemäß § 11 Abs. 2 S. 1 BauGB müssen die vereinbarten Leistungen den Umständen angemessen sein. Die Vereinbarung einer vom Vertragspartner zu erbringenden Leistung ist gem. § 11 Abs. 2 S. 2 BauGB unzulässig, wenn er auch ohne sie einen Anspruch auf die Gegenleistung hätte und die Gegenleistung auch nicht durch eine nach § 36 Abs. 1 VwVfG zulässige Nebenbestimmung, etwa zur Baugenehmigung, erreicht werden kann (VGH Kassel Urt. v. 25. November 2004 – 12 A 1496/04, NVwZ-RR 2005, 680). Dies gilt auch für Durchführungsverträge zu vorhabenbezogenen Bebauungsplänen gemäß § 12 Abs. 1 BauGB, die einen Unterfall der städtebaulichen Verträge nach § 11 BauGB bilden. Dem Koppelungsverbot folgend darf im Übrigen in einem Vertrag zwischen Bürger und Hoheitsträger nichts miteinander verknüpft werden, das nicht ohnehin in einem inneren Zusammenhang steht. Vor diesem Hintergrund dürfen hoheitliche Entscheidungen ohne entsprechende gesetzliche Ermächtigung i.d.R. nicht von wirtschaftlichen Gegenleistungen abhängig gemacht werden (Krautzberger, in: Ernst/Zinkahn/Bielenberg/Krautzberger, Baugesetzbuch, § 11 Rn. 68.).

Im Übrigen muss die vereinbarte Gegenleistung des Privaten den gesamten Umständen nach angemessen sein und im sachlichen Zusammenhang mit der behördlichen Leistung stehen. Während die Gemeinde mit ihrer Forderung gegenüber dem Vorhabenträger einen legitimen Zweck verfolgen muss, ist sicherzustellen, dass die vereinbarten Leistungen des Vorhabenträgers zur Verwirklichung dieses legitimen Zwecks geeignet, erforderlich und angemessen sind.

Eine rechtssichere Ausgestaltung empfiehlt sich nicht zuletzt aufgrund der erheblichen Risiken, die für Gemeinden im Falle der Unwirksamkeit städtebaulicher Verträge bestehen. Erweist sich nach Aufstellung des Bebauungsplans ein städtebaulicher Vertrag beispielsweise als unwirksam, kann der private Vertragspartner unter Umständen die Erfüllung der vereinbarten Verpflichtungen verweigern oder bereits getätigte Leistungen zurückfordern. Darüber hinaus kann die Nichtigkeit eines städtebaulichen Vertrages zur Unwirksamkeit eines Bebauungsplans führen, wenn dessen Festsetzungen maßgeblich (auch) auf dem Vertrag beruhen (VGH München Urt. v. 12.5.2004 – 20 N 04.329 u. a., NVwZ-RR 2005, 781).

Für die erfolgreiche und effiziente Ansiedlung von Rechenzentren ist eine offene, klare und realistische Kommunikation entscheidend. Kommunen und Rechenzentrumsbetreiber sollten in einem offenen und direkten Gespräch ihre Erwartungen, Ansprechpartner und Kommunikationskanäle klären. Zudem sollte es ebenfalls ein abgestimmtes Vorgehen zur Einbeziehung der Bevölkerung geben.

Die Praxis zeigt, dass Rechenzentrumsbetreiber gewillt sind, den Kommunen entgegenzukommen und sich für eine nachhaltige Ansiedlung in der Kommune einzubringen. In einem gemeinsamen Vorgehen können Kommunen und Rechenzentrumsbetreiber eine nachhaltige Ansiedlung erfolgreich durchführen.

Kommunikation realistischer Erwartungen in Hinblick auf Zeit

Für die erfolgreiche Umsetzung der Ansiedlung ist die Kommunikation von realistischen Zeitvorgaben entscheidend. Dies gilt sowohl für die Ansiedlungsplaner der Rechenzentrumsbetreiber als auch für die Bauleitverfahren seitens der Kommune.

Offene und klare Kommunikation für ein besseres gegenseitiges Verständnis

Kommunen und Rechenzentrumsbetreiber legen großen Wert auf eine offene und transparente Kommunikation, weil dies gegenseitiges Verständnis fördert und mögliche Hürden frühzeitig abgebaut werden können. Nur durch einen klaren Dialog lassen sich langwierige Diskussionen vermeiden, die am Ende in einem Scheitern von Projekten münden können.

Rechenzentrumsbetreiber wünschen sich insbesondere eine klare Einschätzung ihrer Chancen, Risiken und Handlungsspielräume, um eine verlässliche Planungssicherheit zu erhalten. Kommunen hingegen betonen den Wunsch nach direkter Kommunikation in deutscher Sprache, ohne den Umweg über Rechtsanwälte.

Kommunen sollten ihre Wünsche und Anforderungen an die Kommunikation frühzeitig mit den Rechenzentrumsbetreibern festlegen. Für Kommunen kann es sinnvoll sein, sich professionelle Unterstützung zu holen.

Kommunen und Wirtschaftsförderer als Unterstützer eines wirkungsvollen Austauschs

Die Rolle der Kommunen bei der Ansiedlung eines Rechenzentrums liegt nicht nur im Bereich hoheitlicher Funktionen wie der Bauleitung, sondern auch in der Unterstützung eines wirkungsvollen Austauschs mit städtischen Betrieben, Behörden und ggf. Wärme- und Stromnetzbetreibern.

Insbesondere die Wirtschaftsförderung kann sich aktiv für die „Vermarktung“ des Vorhabens nach innen engagieren, d.h. in die zuständigen Behörden, die Politik und die Öffentlichkeit hinein, und eine Plattform für einen wirkungsvollen Austausch schaffen. Rechenzentrumsbetreiber wünschen sich gerade vor kritischen Terminen eine verbesserte und verlängerte Erreichbarkeit.

Information der Bürger

Spätestens zur Offenlage des Bauleitverfahrens ist das Interesse der Öffentlichkeit erweckt. Es empfiehlt sich, die Bürger schon frühzeitig und aktiv zu informieren, um Bedenken der Öffentlichkeit schon von Beginn an wirkungsvoll zu adressieren und zu berücksichtigen. Ansätze und Vorgehen zum Beteiligungs- und Kommunikationsmanagement finden sich in den [Kapiteln 7](#) sowie [9.3](#).

Integration von Rechenzentren in die Kommune

Eine Vielzahl von Rechenzentrumsbetreibern nimmt für sich in Anspruch, ein „good corporate citizen“ zu sein, da dies auf den Markt ausstrahlt – was sicher ein Ansatzpunkt für Gespräche darüber sein kann, wie sich aus der Präsenz von Rechenzentren Synergien erzeugen lassen, z. B. als Kristallisationskern eines digitalen Ökosystems. Ansatzpunkte zur Integration von Rechenzentrumsbetreibern in die Kommune ergeben sich beispielsweise aus dem Community Management ([Kapitel 6.7](#)) oder der Lieferung von Abwärme an das regionale Wärmenetz ([Kapitel 8.2](#)). Weitere Ansatzpunkte finden sich in den [Kapiteln 4](#), [6.3](#) sowie [9.1](#).

11 → **Fazit**

Rechenzentren sind ein wesentlicher Bestandteil der digitalen Infrastruktur und bieten großes Potenzial, um positive Wechselwirkungen mit ihrer Umgebung zu schaffen. Um Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Akzeptanz zu fördern, ist es entscheidend, alle relevanten Akteure frühzeitig einzubeziehen. Dies erfordert jedoch eine enge und sorgfältige Zusammenarbeit zwischen Kommunen und Rechenzentrumsbetreibern. Kommunen haben verschiedene Instrumente zur Verfügung, um die Ansiedlung von Rechenzentren nachhaltig und effizient zu gestalten. Hierzu gehören die Potenzialflächenanalyse, der Rechenzentrumsentwicklungsplan, das Bauleitverfahren und der städtebauliche Vertrag. Diese Instrumente ermöglichen es den Kommunen, Rechenzentren sinnvoll in die Stadtentwicklung zu integrieren und die Ansiedlung aktiv zu steuern. Kommunen sollten ihren Spielraum zur Ausgestaltung der Ansiedlungsmöglichkeiten nutzen und sich frühzeitig Gedanken über die Integration von Rechenzentren in die Stadtentwicklung machen. Dabei sollten insbesondere Aspekte wie die Quartiersentwicklung, die Entwicklung einer Ansiedlungsstrategie für Rechenzentren sowie die langfristige Stadtplanung berücksichtigt werden. Dies schafft nicht nur Platz für digitale Infrastrukturen, sondern auch für Energieeffizienz und die nachhaltige Nutzung von Ressourcen wie Abwärme.

Als weiterer wichtiger Punkt sollten ebenfalls die indirekten Effekte einer Rechenzentrumsansiedlung berücksichtigt werden. Dazu gehören wirtschaftliche Impulse für die Region, die Schaffung neuer Arbeitsplätze und die Förderung von Innovationen durch die Bereitstellung leistungsstarker digitaler Infrastruktur.

Kommunen sollten zudem den Austausch untereinander fördern und den Dialog mit der Rechenzentrumsbranche aktiv suchen. Durch diese Vernetzung lassen sich zukünftige Projekte effizienter und nachhaltiger umsetzen, insbesondere durch die Integration in die kommunale Wärmeplanung und die Beachtung des Energieeffizienzgesetzes. So kann die Abwärme aus Rechenzentren sinnvoll genutzt und gleichzeitig die Energieeffizienz gesteigert werden.

Die enge Kooperation zwischen Kommunen und Rechenzentren kann somit nicht nur zur Stärkung der digitalen Infrastruktur beitragen, sondern auch zu einer umweltfreundlicheren und ressourcenschonenden Stadtentwicklung.

Um Kommunen den Einstieg in das Thema zu erleichtern und den gezielten Wissensaufbau zu unterstützen, stehen verschiedene Ansprechpartner, Netzwerke und Informationsquellen zur Verfügung, die nicht nur bei spezifischen Fragestellungen helfen, sondern auch regelmäßig Publikationen und aktuelle Nachrichten bereitstellen. Die Auflistung ist nicht abschließend und wird mit jeder neuen Auflage des Leitfadens erweitert.

Hessisches Rechenzentrumsbüro	Das Hessische Rechenzentrumsbüro bietet als Ansprechpartner Informationen, fördert die Vernetzung der Stakeholder und organisiert Austauschformate wie Dialogforen und Bürgerdialoge.	
LandesEnergieAgentur (LEA Hessen)	Die LEA bietet umfassende Informationen, Erstberatungen und begleitende Unterstützung bei der Auswahl und Umsetzung von Maßnahmen u.a. der Wärmeplanung für Bürgerinnen und Bürger, Unternehmen sowie Kommunen.	
Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main	Der Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main bietet einen regionalen Dialog, einen Informationsservice mit Publikationen sowie Beratung zur Ansiedlung von Rechenzentren.	https://www.region-frankfurt.de/Unsere-Themen-Leistungen/Digitalisierung/Rechenzentren/
Verbände (German Datacenter Association (GDA), Bitkom e.V., eco - Verband der Internetwirtschaft e.V. oder die Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (DENEFF))	Die Verbände stellen Publikationen und aktuelle Informationen zur Verfügung.	

Kompaktwissen Rechenzentren – Handreichungen für Kommunen in der Region Frankfurt/Rhein-Main (2022)	Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main	https://www.region-frankfurt.de/Unser-Themen-Leistungen/Digitalisierung/Rechenzentren/Kompaktwissen-Rechenzentren.php?object=tx,3255.3&ModID=6&FID=3255.2538.1&NavID=3255.195&La=1&kuo=2
Rechenzentren in Frankfurt/Rhein-Main – Handreichung zu Möglichkeiten des planerischen Umgangs und der räumlichen Steuerung auf kommunaler Ebene	Regionalverband Frankfurt/Rhein-Main	https://www.region-frankfurt.de/Unsere-Themen-Leistungen/Digitalisierung/Rechenzentren/Rechenzentren-in-Frankfurt/Rhein-Main-Handreichung-zu-M%C3%B6glichkeiten-des-planerischen-Umgangs-und-der-r%C3%A4umlichen-Steuerung-auf-kommunaler-Ebene-.php?object=tx,3255.3&ModID=6&FID=3255.3157.1&NavID=3255.195&La=1&kuo=2
Praxisleitfaden zur Steuerung der Ansiedlung von Rechenzentren im Landkreis Groß-Gerau	Kreis Groß-Gerau	https://www.kreisgg.de/fileadmin/Wirtschaftsfoerderung/Wirtschaftsfoerderung/Broschueren_und_Berichte/6936_Praxisleitfaden_fuer_Rechenzentren_GG_D_230523.pdf

→ Abkürzungen und Begriffsbestimmungen

Akronym bzw. Abkürzung	Begriff	Beschreibung, Erläuterung, Verweise
Anschlussleistung		Leistung, die das Rechenzentrum in Summe benötigt (entspricht in der Regel der Generatorleistung)
BauGB	Baugesetzbuch	
BauNVO	Baunutzungsverordnung	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	Genehmigungsverfahren für Kraftwerke, Verbrennungsanlagen etc.
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen	
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik	Das BSI definiert u.a. Standortkriterien für RZ (www.bsi.bund.de)
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method	Britisches Zertifizierungssystem
DE-CIX	Deutsche Commercial Internet Exchange	Internetknotenpunkt in Frankfurt am Main
DE-UZ	Deutsches Umweltzeichen	
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	Deutsches Zertifizierungssystem
EE	Erneuerbare Energien	
ENWG	Energiewirtschaftsgesetz	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung
EnEfG	Energieeffizienzgesetz von 2023	
ERF	Energy Reuse Factor	Anteil der wiederzuverwendenden Energie
GWh	Gigawattstunden elektrische Leistung	
HBO	Hessische Bauordnung	
HEG	Hessisches Energiegesetz	

HMDI	Hessisches Ministerium für Digitalisierung und Innovation	
HTAI	Hessen Trade and Invest	Wirtschaftsförderung des Landes Hessen
IT-Leistung	Information-Technology-Leistung	Leistung, die von der IT genutzt werden kann (entspricht ungefähr Wärmeleistung)
kV	Kilovolt	(1.000 Volt)
kW	Kilowatt	(1.000 Watt)
LEA	LandesEnergieAgentur	
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	US-Zertifizierungssystem
MWel	Megawatt elektrische Leistung	
MWth	Megawatt thermische Leistung	(Wärmeleistung)
MWhel	Megawattstunden elektrische Energie	
MWhth	Megawattstunde thermische Energie	(Wärmeenergie)
NDMA	Notstromdieselmotoranlage	Diesलगenerator bei Netzausfall
NEA	Netzersatzanlagen	i.d.R. Diesलगenerator bei Netzausfall
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr	
p.a.	per annum	pro Jahr
PPA	Power Purchase Agreement	Ist eine Stromkaufvereinbarung, oft ein langfristiger Stromliefervertrag zwischen zwei Parteien
PUE	Power Usage Effectiveness	zeigt das Verhältnis Gesamtleistung zu Leistung der IT-Ausrüstung – gängigste Effizienzkennzahl für Rechenzentren
RZ	Rechenzentrum	
SAIDI_{ENWG}	System Average Interruption Duration Index	misst die jährliche kumulative Ausfallquote eines Netzanschlusses auf Mittelspannungsebene
WPG	Wärmeplanungsgesetz	Gesetz zur Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung

Abwärmenutzung: Die den Rechenzentren zugeführte elektrische Energie wird in den Geräten und Anlagen vollständig in Wärme umgewandelt. Um die geforderten Betriebsparameter der IT-Geräte (z.B. zulässige Maximaltemperaturen) zu gewährleisten, muss diese Wärme abtransportiert werden. In der Vergangenheit wurde die Wärme fast immer an die Umgebungsluft abgegeben. Im Rahmen der Anstrengungen, klimafreundlich erzeugte Wärme bereitzustellen (Wärmewende), rückt die Abwärmenutzung aus Rechenzentren zunehmend in den Fokus. Gemäß Energieeffizienzgesetz sind neue Rechenzentren ab 1. Juli 2026 zur Abwärmenutzung verpflichtet.

Adiabate Kühlung (Verdunstungskühlung): Bei der adiabaten Kühlung wird ausgenutzt, dass bei der Verdunstung von Wasser der Umgebung Wärme entzogen wird. Mithilfe dieser Technik kann die Energieeffizienz eines Rechenzentrums im Vergleich zu einer konventionellen Kühlung mit Kompressionskältemaschinen erhöht werden. Diese Effizienzverbesserung wird allerdings durch einen deutlichen höheren Wasserverbrauch erkauft.

Backbone: Mit Backbone wird der Kernbereich eines Telekommunikationsnetzes mit sehr hohen Datenübertragungsraten bezeichnet. Ein Backbone-Netz wird üblicherweise mit Glasfasertechnik realisiert.

Cloud Computing: Mit Cloud Computing wird ein technologischer Ansatz beschrieben, mit dem IT-Ressourcen wie Speicherplatz, Rechenleistung oder Software als Dienstleistung über das Internet bereitgestellt werden. Cloud-Computing-Dienste werden insbesondere von Unternehmen genutzt, die die entsprechenden IT-Systeme und Softwarelösungen nicht selbst betreiben wollen. Auch die meisten Smartphone-Apps und Dienste wie Social Media und Videostreaming sind Cloud-Computing-Dienstleistungen.

Colocation Rechenzentren: Colocation Rechenzentren sind Rechenzentren, in denen ein Dienstleister alle gebäudebezogenen Aufgaben übernimmt und es seinen Kunden ermöglicht, ihre IT-Geräte wie Server sowie Speicher- und Netzwerktechnik in seinem Rechenzentrum aufzustellen. Der Betrieb der IT-Geräte erfolgt durch den Kunden selbst.

Corporate-Rechenzentrum: Als Corporate-Rechenzentrum werden Rechenzentren bezeichnet, die von Unternehmen und Behörden für eigene Zwecke am eigenen Standort betrieben werden. Man spricht auch von On-Premises-Rechenzentren.

Direct Liquid Cooling (auch Direct Chip Cooling): Mittels eines direkt am Prozessor angebrachten wasserdurchströmten Kühlkörpers wird die Wärme

aus dem Server abgeführt. Da Wasser über eine Wärmekapazität verfügt, die 3.300 mal höher ist als die von Luft, eignet sich eine solche Kühlung vor allem für IT-Systeme mit einer hohen energetischen Dichte, wie sie z. B. im Rahmen von High Performance Computing oder bei Anwendungen im Bereich der künstlichen Intelligenz genutzt werden (Sverdlik, 2018).

Direkte freie Kühlung: Wird ein Rechenzentrum direkt frei gekühlt, so wird die kühle Außenluft direkt durch Lüfter eingesogen und damit die IT-Geräte in den Rechenzentren gekühlt. Je nach den äußeren Bedingungen muss ggf. zusätzliche Kälte erzeugt oder die Luft be- bzw. entfeuchtet werden. Zudem ist Steuerungs-, Filter- und Regelungstechnik notwendig, um die Qualität der Kühlluft sicherzustellen.

Edge Computing: Mit Edge Computing ist die dezentrale Datenverarbeitung am Rand des Internets, der sogenannten Edge, gemeint. Steigendes Datenaufkommen und hohe Latenzanforderungen führen dazu, dass immer mehr Daten möglichst nah am Entstehungsort verarbeitet werden.

Edge-Rechenzentrum: Ein Edge-Rechenzentrum ist ein meist kleineres Rechenzentrum am Rand des Internets, in dem die dezentral entstehenden Daten nah am Ort der Entstehung verarbeitet werden. Unter Edge-Rechenzentren wird eine große Spannbreite unterschiedlicher Rechenzentrums-typen verstanden, von einzelnen Servern an 5G-Mobilfunk-Basisstationen über Container-Rechenzentren oder kleine Rechenzentren, die im Rahmen von Smart-City-Projekten aufgebaut werden, bis hin zu großen Metro-Edge-Rechenzentren.

High Performance Computing: Mit High Performance Computing (HPC – Hochleistungsrechnen) ist der Bereich des computergestützten Rechnens gemeint, bei dem eine hohe Rechenleistung oder Speicherkapazität erforderlich ist. HPC-Systeme werden insbesondere im wissenschaftlichen Bereich (z. B. Klimasimulationen, Wettersimulationen, Quantenphysik) benötigt. Aber auch wirtschaftliche Anwendungen benötigen zunehmend HPC-Systeme. Beispiele aus diesem Bereich sind Crash-Simulationen, Strömungssimulationen, die Erstellung von Animationsfilmen sowie eine Vielzahl neuer Anwendungen, die im Rahmen der Entwicklungen von künstlicher Intelligenz entstehen.

Housing: Anderer Begriff für Colocation.

Hyperscale-Cloud-Rechenzentren: Mit dem Begriff Hyperscaler werden IT-Systeme bezeichnet, in denen Tausende oder auch Millionen von Servern miteinander verbunden sind und die in hohem Maße erweiterbar sind. Vor allem beim Cloud Computing kommen solche IT-Systeme zum Einsatz. Hyperscale-Cloud-Rechenzentren sind demnach sehr große Rechenzentren von meist sehr großen Cloud-Anbietern. Die Verwendung des Begriffs Hyperscale-Rechenzentren in der Literatur und Praxis ist nicht einheitlich. Teilweise werden mit Hyperscale-Rechenzentren auch vereinfachend alle sehr großen Rechenzentren bezeichnet, z. B. ab einer elektrischen Anschlussleistung von 5 MW (Kidd, 2018; Sverdlik, 2019).

Indirekte freie Kühlung: Bei der indirekten freien Kühlung wird die Luft im Rechenzentrum über ein Kühlmedium (z.B. Wasser-Glykol-Gemisch) gekühlt, das an der Außenluft abgekühlt wird.

IT-Fläche: Mit IT-Fläche ist die Fläche innerhalb von Rechenzentren gemeint, die für das Aufstellen der IT-Systeme (Server, Speichersysteme, Netzwerktechnik) zur Verfügung steht.

Latenzzeit: Mit Latenzzeit wird die Zeitverzögerung bei der Kommunikation in Netzwerken bezeichnet, die zwischen Absenden und Empfang der Daten entsteht. Die Latenzzeit zeigt also an, wie lange die Datenübertragung über das Netzwerk dauert. Die Latenzzeit ist insbesondere abhängig vom technischen Aufbau des Netzes und von der Entfernung zwischen Datensender und Datenempfänger. Bei einer Vielzahl von Anwendungen hat die Latenzzeit einen erheblichen Einfluss auf die Servicequalität. Solche Anwendungen gibt es insbesondere bei Finanztransaktionen, E-Health, Robotik oder künftig beim autonomen Fahren. Auch für die Kommunikation über Videokonferenzen oder für Online-Spiele sind Latenzzeiten entscheidend für deren Qualität.

Metro-Edge-Rechenzentren: Mit dem Begriff Metro-Edge-Rechenzentrum werden Edge-Rechenzentren bezeichnet, in denen Angebote von Hyper-scale-Cloud-Anbietern bereitgestellt werden. Die Anbieter betreiben diese dezentralen Rechenzentren zusätzlich zu ihren großen zentralen Rechenzentren, um geringe Datenübertragungszeiten (niedrige Latenzzeiten) zu ermöglichen. Solche Metro-Edge-Rechenzentren haben typischerweise Anschlussleistungen im einstelligen Megawattbereich.

Multi-Tenant-Colocation-Rechenzentrum: Bei einem Multi-Tenant-Colocation-Rechenzentrum hat der Dienstleister mehrere Kunden in einem Rechenzentrum. Diese Kunden können z.B. nur einzelne Racks oder sogar nur einzelne Höheneinheiten im Rack mieten. Größere Kunden mieten z.B. durch Gitter abgeschlossene Bereiche – sogenannte Cages – oder ganze Räume im Rechenzentrum.

Natürliche Kältemittel: Für die Kühlung von Rechenzentren können unterschiedliche Kältemittel verwendet werden. Synthetische Kältemittel, die in Rechenzentren eingesetzt werden, haben bei der Freisetzung in der Regel eine klimaschädliche Wirkung. Natürliche Kältemittel wie z.B. Propan (R 290), Ammoniak (R 717) und Wasser (R 718) haben dagegen keine oder nur eine geringe klimaschädigende Wirkung.

On-Premises-Rechenzentrum: Diese Bezeichnung beschreibt Rechenzentren, die Unternehmen oder Behörden an eigenen Standorten eingerichtet haben und die von ihnen selbst betrieben werden.

Partielle PUE (pPUE): Der partielle PUE-Wert (siehe PUE) stellt eine Kennziffer dar, die jeweils nur für einen bestimmten Teil der Gebäudetechnik eine Aussage über ihren Energiebedarf im Verhältnis zum IT-Energiebedarf ermöglicht. Partielle PUE-Werte werden üblicherweise für die Strom-

versorgung, die Kühlung (Kälteverteilung) und die Kälteerzeugung ermittelt (The Green Grid, 2011).

Power Purchase Agreement (PPA): Ein Power Purchase Agreement ist eine Stromkaufvereinbarung zwischen zwei Parteien, bei der in einem Vertrag die Konditionen geregelt werden. Zumeist wird der Vertrag zwischen dem Stromanbieter und dem Stromabnehmer vereinbart. Neben der Stromlieferungsmenge, Strompreisen und Vertragsstrafen können hier auch die Anteile an erneuerbaren Energien geregelt werden. Erfolgt die Stromerzeugung ausschließlich durch erneuerbare Energien, spricht man häufig von Green PPA.

Power Usage Effectiveness (PUE): Die PUE ist ein Maß für das Verhältnis des Gesamtenergiebedarfs eines Rechenzentrums zum Energiebedarf der IT im Rechenzentrum. Sie ist vergleichbar mit der im Energieeffizienzgesetz definierten Energieverbrauchseffektivität. Der Unterschied liegt darin, dass bei der PUE-Bestimmung auch die Energiemenge berücksichtigt wird, die für die Aufbereitung von Abwärme aus Rechenzentren benötigt wird. Damit verschlechtert sich der PUE-Wert bei der Einführung von Abwärmenutzung. Um diesen Effekt auszugleichen, wurde im Energieeffizienzgesetz die Energieverbrauchseffektivität anders definiert. Theoretisch kann die PUE einen optimalen Wert von 1 erreichen, weil dann die gesamte Leistung in die IT fließt.

Single-Tenant-Colocation-Rechenzentrum: Ein Single-Tenant-Colocation-Rechenzentrum ist ein Rechenzentrum, das vom Dienstleister nur für einen einzigen Kunden betrieben wird. Typische Kunden sind große Hyperscale-Cloud-Anbieter oder auch große Behörden.

Verdunstungskühlung: Siehe adiabate Kühlung.

Verfügbarkeitsklassen: Der Ausfall von Rechenzentren oder IT-Systemen allgemein kann erhebliche Schäden hervorrufen. Die Einteilung von Rechenzentren oder IT-Systemen in Verfügbarkeitsklassen ist eine Hilfestellung, um sie hinsichtlich der Ausfallrisiken bewerten und vergleichen zu können. Für Rechenzentren sind insbesondere die in der Normenreihe EN 50600 „Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren“ definierten Verfügbarkeitsklassen von Bedeutung.

- Airport Weeze Flughafen Niederrhein GmbH. (2023). <https://airport-weeze.com/unternehmen/newsroom/fotoarchiv/pressefotos/> (Abruf: 14.03.2023)
- Amazon Web Services (2023). AWS startet Ausbildung für Cloud-Jobs in Frankfurt. <https://www.aboutamazon.de/news/amazon-web-services/aws-startet-ausbildung-fuer-cloud-jobs-in-frankfurt> (Abruf: 10.10.2024)
- anwalt24.de (Wolters Kluwer Deutschland GmbH). (2023). BauGB § 31. https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/___31.html (Abruf: 03.03.2023)
- anwalt24.de (Wolters Kluwer Deutschland GmbH). (2023). Bauleitplanung. <https://www.anwalt24.de/lexikon/bauleitplanung#> (Abruf: 24.02.2023)
- anwalt24.de (Wolters Kluwer Deutschland GmbH). (2023). Veränderungssperre. <https://www.anwalt24.de/lexikon/veraenderungssperre> (Abruf: 24.02.2023)
- Arcadis Germany GmbH. (2024). Standortsuche für Rechenzentren. <https://www.arcadis.com/de-de/einblicke/blog/germany/2024/standortsuche-fuer-rechenzentren> (Abruf: 01.08.2024)
- Bahn Technologie Campus Havelland GmbH. (2023). Tag der Schiene. <https://www.btc-havelland.de/tagderschiene/> (Abruf: 03.03.2023)
- Baker Tilly. (2023). Garantiezahlungen und Gewerbesteuer bei Ansiedlungsvorhaben von Hyperscale-Rechenzentren. https://broschuerenservice.justiz.nrw/mwike/shop/%E2%80%9EGarantiezahlungen_und_Gewerbesteuer_bei_Ansiedlungsvorhaben_von_Hyperscale-Rechenzentren%E2%80%9C (Abruf: 17.01.2024)
- Bascheck, N. (2024). Was die Microsoft-Pläne für den Strukturwandel bedeuten. WDR. <https://www1.wdr.de/nachrichten/landespolitik/microsoft-strukturwandel-rheinisches-revier-102.html> (Abruf: 22.02.2024)
- Bieser, J., Hintemann, R., Beucker, S., Schramm, S., & Hilty, L. (2020). Klimaschutz durch digitale Technologien. Bitkom e.V. <https://www.bitkom.org/klimaschutz-digital>
- Bitkom. (2022). Abwärme von Rechenzentren für Heizung und Warmwasser einsetzen. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Abwaerme-Rechenzentren-fuer-Heizung-Warmwasser-einsetzen> (Abruf: 22.02.2023)
- Borderstep. (2023). Facts & Figures Rechenzentren. Borderstep Institut. <https://www.borderstep.de/facts-and-figures/rechenzentren-2022/> (Abruf: 10.01.2024)
- Breeam.de/TÜV SÜD Industrie Service GmbH. (2023). BREEAM Zertifizierungssysteme Neubau. <https://breeam.de/breeam/zertifizierungssysteme/neubau/> (Abruf: 03.03.2023)
- Bundesamt für Justiz – Kompetenzzentrum Rechtsinformationssystem des Bundes. (2023). BauGB § 34. https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/___34.html (Abruf: 03.03.2023)
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. (o. J.). Kriterien für die Standortwahl von Rechenzentren Standort-Kriterien RZ, Version 2.0
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2022). Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/S-1/220713-bmwk-bmwsb-sofortprogramm.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (Abruf: 28.03.2023), S. 5
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2023). Lokale Klimafonds. <https://www.klimaschutz.de/de/projekte/lokale-klimafonds> (Abruf: 16.01.2023)
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) & Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). (2022). Sofortprogramm gemäß § 8 Abs. 1 KSG für den Sektor Gebäude. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/S-1/220713-bmwk-bmwsb-sofortprogramm.pdf?__blob=publicationFile&v=8 (Abruf: 13.03.2023), S. 3 und S. 13
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. (2023). Kommunale Wärmeplanung. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. <https://www.bmwsb.bund.de/Web/BMWSB/DE/themen/stadt-wohnen/WPG/WPG-node.html>
- Bündnis lebenswertes Schöneck. (2023). Unsere Forderungen – Bündnis lebenswertes Schöneck. <https://www.lebenswertes-schoeneck.de/unsere-forderungen/> (Abruf: 06.01.2024)
- Bytes2Heat. (2023). Die Kraft der Abwärme aus Rechenzentren. <https://www.bytes2heat.com/hintergrund> (Abruf: 01.08.2024)
- Chan, R. (2023). Virginia's „Data Center Alley“ residents say an eerie hum is keeping them up at night. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/data-center-noise-disruptions-loudoun-county-virginia-2023-11> (Abruf: 10.01.2024)
- Christiansen, M., Both, S., Wachowiak, F., & Margraff, A. (2021). Bericht „Rechenzentren im Kreis Groß-Gerau“ (Vorlagen-Nummer: XIX/0190, Seite 7). FB Regionalentwicklung, Bauen, Wirtschaft und Umwelt. https://www.kreisgg.de/fileadmin/Wirtschaftsfoerderung/Wirtschaftsfoerderung/Broschueren_und_Berichte/Bericht_Rechenzentren_zu_KA_Vorlage_XIX_0297.pdf
- Datacenter Insider (2024). CyrusOne und Provadis bieten erste Ausbildung zum Rechenzentrumstechniker an. <https://www.datacenter-insider.de/cyrusone-und-provadis-bieten-erste-ausbildung-zum-rechenzentrumstechniker-an-a-abf55835e823d02dc12939042d69e01d/> (Abruf: 10.10.2024)
- De Graaf, D. (2017). Natürliche Kältemittel: Was sonst? <http://www.lanline.de/natuerliche-kaeltemittel-was-sonst/> (Abruf: 23.11.2017)
- De Vries, A. (2018). Bitcoin's Growing Energy Problem. Joule, 2(5), 801–805. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.016>
- DE-CIX Management GmbH. (2023). Frankfurt. <https://www.de-cix.net/de/standorte/frankfurt> (Abruf: 01.03.2023)
- dejure.org Rechtsinformationssysteme GmbH. (2023). BauGB § 1. <https://dejure.org/gesetze/BauGB/1.html> (Abruf: 24.02.2023)
- dejure.org Rechtsinformationssysteme GmbH. (2023). BauGB § 30. <https://dejure.org/gesetze/BauGB/30.html> (Abruf: 30.03.2023)
- Dell. (2019). Carbon Footprint Report Dell PowerEdge R640. https://i.dell.com/sites/csdocuments/CorpComm_Docs/en/carbon-footprint-poweredge-r640.pdf
- DGNB GmbH. (2018). DGNB Flex. <https://www.dgnb.de/de/aktuell/pressemitteilungen/2018/dgnb-flex> (Abruf: 29.03.2023)

- DGNB GmbH. (2021). DGNB-Publikation: DGNB Zertifizierungssysteme 2021. <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/neubau/kriterien/gebaeudebezogene-kosten-im-lebenszyklus/index.php> (Abruf: 29.03.2023)
- DGNB (o. J. a). Nachhaltig planen, bauen und betreiben – Das DGNB Zertifizierungssystem. https://issuu.com/dgnb1/docs/dgnb_brosch_re_system_de_-_nachhaltig_planen_baue (Abruf: 29.03.2023)
- DGNB (o. J. b). Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus. <https://www.dgnb-system.de/de/gebaeude/neubau/kriterien/gebaeudebezogene-kosten-im-lebenszyklus/index.php> (Abruf: 29.03.2023)
- Donnellan, D., Bizo, D., Davis, J., Lawrence, A., Rogers, O., Simon, L., & Smolaks, M. (2023). Uptime Institute's Global Data Center Survey Results 2023. <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/uptime-institute-global-data-center-survey-results-2023>
- Dreisbach online. (2023). Neue Rechenzentren im Entree zur Stadt. <https://www.verlag-dreisbach.de/home/hattersheimer-stadtanzeiger/hattersheim/neue-rechenzentren-entree-stadt-id26193.html> (Abruf: 06.01.2024)
- Eigenbetrieb Stadtentwicklung der Stadt Raunheim. (2023). <https://www.nahwaermerauheim.de/> (Abruf: 22.02.2023)
- Eigenbetrieb Stadtentwicklung der Stadt Raunheim. (2023). <https://www.nahwaermerauheim.de/kopie-von-chancen-im-detail> (Abruf: 27.03.2023)
- Expertenworkshop. (2019). Expertenworkshop „Energiebedarf der IKT-Infrastruktur“ am 01.10.2019, Workshop im Rahmen des Gutachtens „Energiebedarf der IT-Infrastruktur“ im Auftrag des Deutschen Bundestages. Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit.
- FAZ. (2022, Juni 26). Bürgerkonferenz in Frankfurt: Was die Digitalisierung mit den Städten macht. FAZ.NET. <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/frankfurt/buergerkonferenz-in-frankfurt-was-die-digitalisierung-mit-den-staedten-macht-18130872.html>
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. (2023). Urbane Photovoltaik (UPV). <https://www.ise.fraunhofer.de/de/leitthemen/integrierte-photovoltaik/urbane-photovoltaik-upv.html> (Abruf: 13.01.2023)
- Frearson, A. (2022). Eight „weird and wonderful“ data centres from around the world. <https://www.dezeen.com/2022/04/04/data-centres-power-house-exhibition/> (Abruf: 17.01.2024)
- Fritzsche, M. (2022). Schöneck: Politisch dominiert das Thema Rechenzentrum. <https://www.op-online.de/region/main-kinzig-kreis/schoeneck/schoeneck-politisch-dominiert-das-thema-rechenzentrum-91996754.html> (Abruf: 17.01.2024)
- frm united. (2023). Yondr kommt nach Frankfurt RheinMain. <https://www.frm-united.de/aktuelles/presse/aktuelles-meldung/yondr-comes-to-frankfurt-rheinmain> (Abruf: 06.01.2024)
- Funke, T., Hintemann, R., Kaup, C., et al. (2019). Abwärmenutzung im Rechenzentrum: Ein Whitepaper vom NeRZ in Zusammenarbeit mit dem eco – Verband der Internetwirtschaft e. V. <https://www.borderstep.de/publikation/funke-t-hintemann-r-kaup-c-maier-c-mueller-s-et-al-2019-abwaermenutzung-im-rechenzentrum-ein-whitepaper-vom-nerz-in-zusammenarbeit-mit-dem-eco-verband-der-internetwirtschaft/>
- German Green Building Association e.V. (2023). LEED. <https://www.german-gba.org/leed/> (Abruf: 29.03.2023)
- Glaser-Lotz, L. (2021). Google Cloud-Standort in Hanau: Datenwolken im Atomdorf. FAZ.NET. <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/google-cloud-standort-in-hanau-datenwolken-im-atomdorf-17514311.html>
- Hanstein, B., & Abels, C. (2017). Planung: Klimakonzepte für Rechenzentren. <https://www.haustec.de/kaelte-klimatechnik/planung-klimakonzepte-fuer-rechenzentren> (Abruf: 23.11.2017)
- HEG. (2023). Bürgerservice Hessenrecht–HEG | Landesnorm Hessen | Gesamtausgabe | Hessisches Energiegesetz (HEG) vom 21. November 2012 | gültig ab: 01.12.2012 | gültig bis: 31.12.2029. <https://www.rv.hessenrecht.hessen.de/bshe/document/jlr-EnGHE2012pG3/part/X> (Abruf: 18.01.2024)
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). (2023). Starkregen-Gefahrenkarten. <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen/starkregen-gefahrenkarten> (Abruf: 17.01.2023)
- Hettfleisch, W. (2023). Google eröffnet Cloud-Rechenzentrum in Hanau. <https://www.hessenschau.de/wirtschaft/google-eroeffnet-cloud-rechenzentrum-in-hanau-v3,rechenzentrum-116.html> (Abruf: 05.01.2024)
- Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2020). Rechenzentren in Europa – Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung–Teil 1. Berlin: Allianz zu Stärkung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>
- 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., & Schlitt, D. (2014). Adaptive computing and server virtualization in German data centers–Potentials for increasing energy efficiency today an in 2020. In Marx Gómez, Sonnenschein, Vogel, Winter, Rapp, & Giesen (Hrsg.), Proceedings of the 28th Conference on Environmental Informatics–Informatics for Environmental Protection, Sustainable Development and Risk Management (S. 477–484). Oldenburg: BIS. <http://enviroinfo.eu/sites/default/files/pdfs/vol8514/0477.pdf>
- Hintemann, R., Graß, M., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022. Berlin: Bitkom. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Rechenzentren-in-Deutschland-2022>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Grothey, T. (2022). Herausforderungen und Chancen durch den Boom beim Neubau von Rechenzentren. Wiesbaden, Seite 4; 13.
- 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.
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Progni, K. (2024). Rechenzentren in Deutschland – Aktuelle Marktentwicklungen 2024. Berlin: Bitkom e.V. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Studie-Rechenzentren-in-Deutschland>
- Hintemann, R., Hinterholzer, S., & Seibel, H. (2023). Rechenzentren in Deutschland: Aktuelle Marktentwicklungen (Update 2023). Berlin: Bitkom e.V. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Studie-Rechenzentren-in-Deutschland>
- HPE PRODUCT CARBON FOOTPRINT. (2021). HPE PRODUCT CARBON FOOTPRINT HPE ProLiant MicroServer Gen10 Plus. https://www.hpe.com/psnow/doc/a50005154enw.pdf?jumpid=in_pdfviewer-psnow
- Issuu. (2021). DGNB Zertifizierungsreport 2021. https://issuu.com/dgnb1/docs/dgnb_zertifizierungsreport_2021 (Abruf: 30.03.2023)
- Issuu. (2023). DGNB Broschüre – Nachhaltig planen und bauen. https://issuu.com/dgnb1/docs/dgnb_brosch_re_system_de__nachhaltig_planen_baue (Abruf: 29.03.2023)

- Keusen, L., Schiehle, S., & Kattermann, L. (2022). Basierend auf SK: KK 2019: Fokus Klimaschutzfonds, Crowdfunding und Sponsoring. https://www.klimaschutz.de/sites/default/files/SKKK_Fokuspapier_Klimaschutzfonds_Crowdfunding_Sponsoring_barrierefrei.pdf (Abruf: August 2022)
- Keusen, L., Schiehle, S., & Kattermann, L. (2022). Grundkonzept zur Einrichtung eines lokalen Klimafonds (Seite 6, Seite 7 und Seite 23). <https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/Grundkonzept%20lokale%20Klimafonds.pdf> (Abruf: 30.03.2023)
- Kidd, C. (2018). What is a Hyperscale Data Center? – BMC Blogs. <https://www.bmc.com/blogs/hyperscale-data-center/> (Abruf: 25.10.2019)
- Kröner, S. (2023). Das Rechenzentrum als „guter Nachbar“. <https://www.fnp.de/lokales/main-taunus/hattersheim-ort87439/nachbar-das-rechenzentrum-als-guter-92709948.html> (Abruf: 06.01.2024)
- Kröner, S. (2023). Lärmschutz macht Lärm: Hattersheimer ärgern sich über brummende Rechenzentren. <https://www.fnp.de/lokales/main-taunus/hattersheim-ort87439/rechenzentren-veraergert-hattersheimer-ueber-brummende-92450134.html> (Abruf: 06.01.2024)
- Lange, H. (2024). Flächenversiegelung durch Rechenzentren in Hülle und Fülle–MKK-Echo. <https://mkk-echo.de/2024/01/04/flächenversiegelung-durch-rechenzentren-in-huelle-und-fuelle/> (Abruf: 17.01.2024)
- Latham & Watkins. (2024). FAQs: Rechtliche Fragen bei der Abwärmenutzung aus Rechenzentren, in: Bytes2Heat 2023. <https://www.bytes2heat.com/static/files/20240620%20FAQs%20Rechtliche%20Fragen%20Abw%C3%A4rmenutzung%20Rechenzentren%20Pr%C3%A4sentation%20Latham%20Watkins.pdf> (Abruf: 01.08.2024)
- LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH. (2023). Machbarkeitsstudie Abwärme Rechenzentren Frankfurt. <https://www.lea-hessen.de/mediathek/publikationen/4100>
- Lechner, S., Paul, A., Völzel, C., Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2023). Innovative Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Hessen am Beispiel von Offenbach. Gießen: Technische Hochschule Mittelhessen. <https://publikationsserver.thm.de/xmlui/handle/123456789/295>
- Lutz, H. (2023). Waldhauser zur Nutzung von Abwärme: „Wir sprechen von vielen Milliarden €“. <https://www.datacenter-insider.de/waldhauser-zur-nutzung-von-abwaerme-wir-sprechen-von-vielen-milliarden-a-a0eb1cc4205192fe8e7ba90a553e868b/> (Abruf: 17.01.2024)
- Mainova AG. (2023). Power Purchase Agreement. https://www.mainova.de/de/fuer-unternehmen/tarife/strom/power-purchase-agreement?utm_source=google&utm_medium=sea&utm_campaign=offsite-ppa&utm_term=20230213&etcc_ori=google&etcc_med=sea&etcc_cmp=offsite-ppa&etcc_bky=power%20purchase%20agreements&gclid=EALalQobChMhMPLzdK1_QIVkNDtCh0w2QIkEAYAiAAEgJAwD_BwE (Abruf: 27.02.2023)
- Manni Group. (2023). LEED und DGNB Zertifizierungssysteme im Vergleich. <https://blog.mannigroup.com/de/isopan/leed-und-dgnb-zertifizierungssysteme-im-vergleich/> (Abruf: 29.03.2023)
- Next Kraftwerke GmbH. (2023). Power Purchase Agreement (PPA). <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/power-purchase-agreement-ppa> (Abruf: 27.02.2023)
- Next Kraftwerke. (2017). Notstrom Broschüre–Notstrom-Regelenergie.pdf. <https://www.next-kraftwerke.de/wp-content/uploads/Notstrom-Regelenergie.pdf> (Abruf: 25.10.2017)
- Nowitzky, G. (2012). Brunnenkühlung als Alternative: Kühlung aus der Tiefe. <https://www.it-zoom.de/it-mittelstand/e/kuehlung-aus-der-tiefe-4663/> (Abruf: 23.11.2017)
- Ostler, U. (2019). Nvidia-VP zu Energie-Effizienz, Cloud und der KI-Beschleuniger-Konkurrenz. <https://www.datacenter-insider.de/nvidia-vp-zu-energie-effizienz-cloud-und-der-ki-beschleuniger-konkurrenz-a-868471/> (Abruf: 28.09.2019)
- Pfoser, N. (2017). Gebäude, Begrünung, Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. (Abruf: 21.06.2017)
- Piel, W. (2023). Planungspolitiker tagen in Grevenbroich: Politik berät über geplantes Hyperscale-Rechenzentrum. https://rp-online.de/nrw/staedte/grevenbroich/grevenbroich-politik-beraet-ueber-hyperscale-rechenzentrum_aid-82723977 (Abruf: 06.01.2024)
- pv magazine group GmbH & Co. KG. (2021, April 16). Baden-Württemberg fördert 2 Pilotprojekte für Parkplatz-Photovoltaik mit 300.000 Euro. <https://www.pv-magazine.de/2021/04/16/baden-wuerttemberg-foerdert-2-pilotprojekte-fuer-parkplatz-photovoltaik-mit-300-000-euro/> (Abruf: 14.03.2023)
- pv magazine. (2023). LEW Green Data Center: LEW TelNet errichtet mit Investitionen von mehr als 30 Millionen Euro in Augsburg ein leistungsstarkes Rechenzentrum mit nachhaltigem Energiekonzept. <https://www.pv-magazine.de/unternehmensmeldungen/lew-green-data-center-lew-telnet-errichtet-mit-investitionen-von-mehr-als-30-millionen-euro-in-augsburg-ein-leistungsstarkes-rechenzentrum-mit-nachhaltigem-energiekonzept/> (Abruf: 17.01.2024)
- Rebal, M. (2012). Gebäudetechnik in Rechenzentren [Seminar Green IT]. Hamburg: Universität Hamburg. https://www.informatik.uni-hamburg.de/_media/teaching/wintersemester_2011_2012/git-1112-rebal-gebaeudetechnik-ausarbeitung.pdf
- Regierungspräsidium Darmstadt Dezernat III 3.1 Regionalplanung, Geschäftsstelle der Regionalversammlung. (2022). Bericht zu den Möglichkeiten und Grenzen der regionalplanerischen Steuerung von Rechenzentren für die Regionalversammlung Südhessen (Flächenverbrauch, Energieverbrauch, Abwärmenutzung), Seite 1.
- Regionalverband Frankfurt Rhein-Main. (2022). Kompaktwissen Rechenzentren: Handreichung für Kommunen in der Region Frankfurt RheinMain. Abteilung Metropolregion, Regionalentwicklung und Europa.
- Remmert, J. (2023). Offenbach: CloudHQ baut Rechenzentrum auf Akzo-Gelände. FAZ.NET. <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/wirtschaft/offenbach-cloudhq-baut-rechenzentrum-auf-akzo-gelaende-18943649.html>
- Rüdiger, A. (2023). Was bedeutet Water Usage Effectiveness – WUE? Datacenter Insider. <https://www.datacenter-insider.de/was-bedeutet-water-usage-effectiveness-wue-a-1f19808197aed989ddce80dc84ca7d30/> (Abruf: 15.05.2023)
- Sage GmbH (o. J.). Was ist eine Betriebsstätte? Sage Blog. <https://www.sage.com/de-de/blog/lexikon/betriebsstaette/> (Abruf: 22.08.2022)
- Safarik, M., Honke, M., & Steffan, C. (2012). Vakuum-Flüssigis-Technologie. Dresden: Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden gGmbH. <http://www.ilkdresden.de/unternehmen/news/informationen-veranstaltungen/detail/vakuum-fluessigis-technologie/>
- Sage GmbH (o. J.). Was ist eine Betriebsstätte? <https://www.sage.com/de-de/blog/lexikon/betriebsstaette/> (Abruf: 22.08.2022)
- Schade, V. (2021). Lokale Agenda 21 kritisiert Rechenzentrum: „Mittelalter der Umweltrelevanz“. <https://www.op-online.de/website:https://www.op-online.de/offenbach/lokale-agenda-21-kritisiert-kuenftiges-offenbacher-rechenzentrum-90661738.html> (Abruf: 11.12.2021)
- Schiefenhövel, J. (2022). Hattersheim: Interxion baut Rechenzentrum. FAZ.NET. <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/region-und-hessen/hattersheim-interxion-baut-rechenzentrum-17988218.html>

- Schindling, K. (2021). Der Hattersheimer Bürgermeister Klaus Schindling im Interview. Datacenter Insider. <https://www.datacenter-insider.de/dem-charme-eines-globalen-datacenter-betreibers-sind-wir-erlegen-a-1007897/> (Abruf: 03.03.2023)
- Schlichtermann, K. (2023). Brache wird zum Hightech-Standort: Hier soll das erste Neu-Isenburger Groß-Rechenzentrum entstehen. <https://www.op-online.de/region/neu-isenburg/rechenzentrum-entstehen-brache-wird-zum-hightech-standort-hier-soll-das-erste-neu-isenburger-gross-92724029.html> (Abruf: 17.01.2024)
- Schödwel, 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. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/kennzahlen-indikatoren-fuer-die-beurteilung-der>
- Schwesig, L. (2023). In Lichtenberg soll Berlins größtes Rechenzentrum entstehen. <https://www.rbb24.de/wirtschaft/beitrag/2023/09/berlin-lichtenberg-rechenzentrum-bebauung-server.html> (Abruf: 05.01.2024)
- SPD Riederwald. (2021). Rechenzentren müssen klima- und anwohnerfreundlicher werden SPD Riederwald. <https://www.spd-riederwald.de/2021/07/13/rechenzentren-muessen-klima-und-anwohnerfreundlicher-werden/> (Abruf: 09.01.2024)
- Stadt Eschborn. (2023, Januar 25). Heizen mit Daten: Eschborn plant Fernwärmenetz mit Abwärme von Rechenzentren. <https://www.eschborn.de/aktuelles/detail/News/heizen-mit-daten-eschborn-plant-fernwaermenetz-mit-abwaerme-von-rechenzentren> (Abruf: 24.02.2023)
- Stadt Frankfurt am Main, Stadtplanungsamt. (2023). Facilitating computer centers. https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/facilitating_computer_centers_22137.html?psid=d (Abruf: 24.02.2023)
- Stadt Frankfurt am Main, Stadtplanungsamt. (2023). Facilitating computer centers. https://www.stadtplanungsamt-frankfurt.de/facilitating_computer_centers_22137.html?psid=d (Abruf: 02.03.2023)
- Stadt Heidelberg. (2022). 23.11.2022 Spatenstich für Rechenzentrum auf dem Heidelberg Innovation Park. https://www.heidelberg.de/hd/HD/Arbeiten+in+Heidelberg/23_11_2022+spatenstich+fuer+rechenzentrum+auf+dem+heidelberg+innovation+park.html (Abruf: 17.01.2024)
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2023). https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/03/PD23_090_43312.html (Abruf: 13.03.2023)
- Steiglechner, L. (2022). „Berlin 2“: NTT eröffnet neuen Datacenter-Standort mit 24 Megawatt. <https://www.connect-professional.de/datacenter-verkabelung/ntt-eroeffnet-neuen-datacenter-standort-mit-24-megawatt.199659.html> (Abruf: 06.01.2024)
- Sverdlík, Y. (2019). Analysts: There are Now More than 500 Hyperscale Data Centers in the World. <https://www.datacenterknowledge.com/cloud/analysts-there-are-now-more-500-hyperscale-data-centers-world> (Abruf: 22.10.2019)
- The Associated Press. (2022). As data centers proliferate, neighbors knock the noise. <https://wtop.com/local/2022/09/as-data-centers-proliferate-neighbors-knock-the-noise/> (Abruf: 10.01.2024)
- The Green Grid. (2011). Data Center Efficiency Metrics: mPUE, partial PUE, ERE, DCeE. http://www.thegreengrid.org/~media/TechForumPresentations2011/Data_Center_Efficiency_Metrics_2011.pdf
- Thies. (2023). Goodman findet Mieter für Rechenzentrum nahe Frankfurt. <https://www.iz.de/website:https://www.iz.de/projekte/news/goodman-findet-mieter-fuer-rechenzentrum-nahe-frankfurt-2000019412> (Abruf: 06.01.2024)
- Thomas Krenn AG. (2017). Hot-Fluid® Computing | Thomas-Krenn AG. <https://www.thomas-krenn.com/de/loesungen/hot-fluid-computing.html> (Abruf: 19.10.2017)
- TTSF HWP Planungsgesellschaft mbH. (2023). ARC DC Borsigallee Frankfurt. <https://ttsf-hwp.de/project/arc-dc-borsigallee-frankfurt/> (Abruf: 03.03.2023). Foto 39200_006 von Christian-Richter
- TÜV Rheinland Personal GmbH. (2013). Kriterienkatalog zum Audit von Serverräumen und Rechenzentren. <https://www.tuv.com/content-media-files/germany/bs-academy-life-care/pdfs/lp-kriterienkatalog-zum-audit-von-server-raeumen-und-rechenzentren/tuv-rheinland-kriterienkatalog-rechenzentren.pdf> (Abruf: 29.03.2023)
- U.S. Green Building Council. (2023). LEED. <https://www.usgbc.org/leed> (Abruf: 29.03.2023)
- Umweltbundesamt. (2022). Abschlussbericht Umweltverträgliche Standortsteuerung von Solar-Freiflächenanlagen. Forschungskennzahl 3719 43 105 0 FB000915.
- Vogel IT-Medien GmbH. (2021). Der Hattersheimer Bürgermeister Klaus Schindling im Interview. <https://www.datacenter-insider.de/dem-charme-eines-globalen-datacenter-betreibers-sind-wir-erlegen-a-1007897/> (Abruf: 03.03.2023)
- Vorsprung-online. (2021). Ansiedlung neuer Rechenzentren im Fokus. <https://vorsprung-online.de/aktuelles/195648-ansiedlung-neuer-rechenzentren-im-fokus.html> (Abruf: 06.01.2024)
- Yevgeniy Sverdlík. (2018). Google Brings Liquid Cooling to Data Centers to Cool Latest AI Chips. <https://www.datacenterknowledge.com/google-alphabet/google-brings-liquid-cooling-data-centers-cool-latest-ai-chips> (Abruf: 17.06.2019)
- Zarnekow, R., Wulf, J., & Bornstaedt, F. (2013). Internetwirtschaft: Das Geschäft des Datentransports im Internet. Springer-Verlag.
- Zentrale Kompetenzstelle für Geoinformation beim Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation. (2023). (Karte im Hintergrund <https://www.geoportal.hessen.de/mapbender/frames/index.php>) (Abruf: Januar 2023)

Impressum

Geschäftsstelle Rechenzentrumsbüro

info@rz-buero-hessen.de

<https://digitales.hessen.de/starke-netze/recheninfrastrukturen/rechenzentrumsbuero>

Autoren / Autorinnen

Das Dokument wurde in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Partnern entwickelt und wird durch die Geschäftsstelle Rechenzentrumsbüro aktualisiert und erweitert.

- TTSP HWP Consultants GmbH
- Rödl GmbH Rechtsanwaltsgesellschaft Steuerberatungsgesellschaft
- Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH
- Geschäftsstelle Rechenzentrumsbüro
- Hessisches Ministerium für Digitalisierung und Innovation
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum

Herausgeber

Hessisches Ministerium für Digitalisierung und Innovation

Taunusstraße 3

65183 Wiesbaden

www.digitales.hessen.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen. Die Informationen in diesem Leitfaden sind sorgfältig geprüft und werden nach bestem Wissen bereitgestellt. Sie dienen allgemeinen Informationszwecken. Wir übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität der in diesem Leitfaden enthaltenen Informationen. Die in diesem Leitfaden bereitgestellten Informationen stellen keine Rechtsberatung dar und sollen keine rechtlichen Fragen oder Probleme behandeln, die im individuellen Fall auftreten können. Die Informationen in diesem Leitfaden sind allgemeiner Natur und dienen ausschließlich zu Informationszwecken. Wenn Sie rechtlichen Rat für Ihre individuelle Situation benötigen, sollten Sie den Rat von einem qualifizierten Anwalt einholen.

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

Markus Büttner

Projektträger und Auftraggeber

Hessen Trade & Invest GmbH im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Digitalisierung und Innovation

Kontaktaten Hessen Trade & Invest GmbH

Mainzer Straße 118

65189 Wiesbaden

Tel +49 611 95017-85

info@htai.de

www.htai.de

Gestaltung

hesh.de – Wiesbaden

Lektorat

Uta Marini und Freies Lektorat dux_sezi GbR

Abbildung

Titelseite: © TTSP HWP Planungsgesellschaft mbH, Hanauer Landstraße 181-185, 60314 Frankfurt am Main

Stand Wiesbaden, September 2025

Ausschluss Wahlwerbung

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