

NACHHALTIGE KI-RECHENZENTREN



© CC0 (Thomas Bayer, Brett Sayles/pexels, Immo Wegmann/unsplash, Markus Distelrath/pexels)

ZUSAMMENFASSUNG

Der weltweite Ausbau von Rechenzentren beschleunigt sich durch den Boom künstlicher Intelligenz. Damit steigen Energie-, Wasser- und Rohstoffverbräuche deutlich an. KI-Rechenzentren haben eine bis zu 30-mal höhere Leistungsdichte als herkömmliche Anlagen; ihr Strombedarf könnte sich bis 2030 verdoppeln. Kühltechnologien verursachen zudem einen hohen Wasserverbrauch, während kurze Hardwarezyklen zu steigenden Mengen an Elektroschrott führen. Trotz Effizienzgewinnen bleibt der ökologische Fußabdruck erheblich. Die EU führte ab 2024 Berichtspflichten für große Rechenzentren ein und prüft Mindeststandards für Energie- und Wassereffizienz. Österreich verfügt mit seinem hohen Anteil erneuerbarer Energie, gut ausgebauten Fernwärmenetzen und dem neuen Umweltzeichen für Rechenzentren über günstige Voraussetzungen, benötigt jedoch verbindliche Nachhaltigkeitskriterien und Anreize für Abwärmenutzung und Kreislaufwirtschaft, um ökologische und wirtschaftliche Interessen auszubalancieren.

ÜBERBLICK ZUM THEMA

Rechenzentren zählen zu den kritischen Infrastrukturen und bilden zugleich eine wichtige Wachstumsbedingung sowie einen zentralen Wachstumstreiber der digitalen Wirtschaft. Unter anderem infolge des KI-Booms ist der weltweite Bedarf an Cloud-Rechenleistung in den vergangenen Jahren stark gestiegen – sowohl das Training als auch der Betrieb von KI-Anwendungen sind auf leistungsfähige Rechenzentren angewiesen. Da davon ausgegangen wird, dass dieser Trend anhält und die Nachfrage nach Rechenzentrumskapazitäten weiter stark zunimmt, hat sich ein intensiver Wettbewerb um Standorte und Investitionen entwickelt. Die großen Technologiekonzerne haben ihre Ausgaben in den letzten Jahren deutlich ausgeweitet und für 2025 Investitionen von über 300 Milliarden Dollar angekündigt, die in den Auf- und Ausbau von Rechenzentren fließen sollen.¹

Der weltweite Rechenzentrumsmarkt konzentriert sich geografisch stark auf die USA, wo derzeit rund 5.400 Rechenzentren betrieben werden. Deutschland folgt mit 529 Rechenzentren an zweiter Stelle, während Österreich über 68 Rechenzentren verfügt.² Aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit und Datensouveränität haben die EU und ihre Mitgliedstaaten ein starkes Interesse daran, eine inländische KI-Infrastruktur aufzubauen. So hat die EU erst im Oktober 2025 angekündigt, in Tschechien, Litauen, Polen, Rumänien, Spanien und den Niederlanden sechs weitere *große, KI-optimierte* Rechenzentren zu bauen – insgesamt dann 19 dieser Art in der EU.³ Gleichzeitig stehen die verschiedenen EU-Länder im Standortwettbewerb für Investitionen der großen US-amerikanischen Technologiekonzerne. Der Bau und Betrieb von KI-Rechenzentren verschärft allerdings die bereits von traditionellen Rechenzentren bekannten Nachhaltigkeitsprobleme deutlich (*Klimaschutzrisiko Digitalisierung*). Kritische Faktoren sind die hohen Bedarfe an Energie, Wasser und Rohstoffen.

Zunächst zum Energiebedarf: Der weltweite Strombedarf von Rechenzentren wird sich laut IEA bis 2030 voraussichtlich auf rund 945 TWh verdoppeln – etwa dem heutigen Stromverbrauch Japans entsprechend (IEA, 2025). Besonders KI-Rechenzentren treiben diesen Trend. Sie sind speziell für das Training und den Betrieb rechenintensiver KI-Anwendungen konzipiert und sind dafür auf hochperformante Hardware angewiesen. Dazu gehören spezielle Grafikprozessoren (sog. Graphics Processing Units; GPUs), Neural Processing Units (NPU) und Tensor Processing Units (TPUs), die für die Datenverarbeitung in neuronalen Netzwerken optimiert sind. Die Leistungsdichte von KI-Rechenzentren kann bis zu 30-mal höher sein als bei konventionellen Rechenzentren.⁴ Technologiekonzerne setzen zunehmend auf Hyperscale-Rechenzentren mit über 5.000 Servern für extreme Arbeitslasten, die das Drei- bis Zehnfache konventioneller Systeme verbrauchen.⁵ Ein großes KI-Rechenzentrum benötigt ungefähr so viel Strom wie 100.000 Haushalte (Widuto, 2025), wodurch lokale Stromnetze oft an Kapazitäts-

*Wachstum von
KI-Rechenzentren
und steigender
Ressourcenbedarf*

*Pläne der EU und
Standortwettbewerb
der EU-Staaten*

*Verdoppelung des
globalen Strombedarfs
bis 2030 erwartet*

¹ de.statista.com/statistik/daten/studie/1559037/umfrage/investitionen-der-grossen-tech-konzerne-in-rechenzentren/.

² cloudscene.com/region/datacenters-in-europe
(dynamische Datenbank, Stand 20.10.2025).

³ deutschlandfunk.de/sechs-neue-grosse-rechenzentren-in-europa-geplant-104.html.

⁴ northdatacenters.com/ch-de/datacenter/was-unterscheidet-ein-ki-rechenzentrum-von-einem-traditionellen-rechenzentrum/.

⁵ ithy.com/article/power-consumption-ai-vs-normal-servers-a801913b.

grenzen stoßen (Gröger et al., 2025). Trotz kontinuierlicher Effizienzverbesserungen – die sogenannte PUE („Power Usage Effectiveness“, Stromverbrauchs-effizienz) deutscher Rechenzentren sank von 1,82 (2010) auf 1,52 (Hintemann & Hinterholzer, 2023) – kompensieren diese Gewinne nicht den steigenden Bedarf. Vielmehr zeigt sich ein Rebound-Effekt: Der effizientere Betrieb begünstigt intensive Nutzung statt absoluter Verbrauchsreduktion. Rechenzentren dienen allerdings auch dem Einsatz von KI für Flexibilitäten im Stromnetz. Dadurch kann ein Teil des erhöhten Energieverbrauchs an anderer Stelle eingespart werden⁶ – Schätzungen, in welchem Umfang das möglich ist, unterscheiden sich aber stark.⁷ Für den nachhaltigen Betrieb von KI-Rechenzentren ist die Nutzung erneuerbarer Energien zentral. Mit dem europäischen Climate Neutral Data Centre Pact (CNDPCP) verpflichteten sich über 100 Rechenzentrumsunternehmen und Branchenverbände – darunter Amazon Web Services, Google, Meta und Microsoft – dazu, ihre europäischen Standorte bis 2030 klimaneutral zu betreiben. Viele schließen langfristige Stromlieferverträge (Power Purchase Agreements) mit Photovoltaik- oder Windkraftanlagen ab. Die Nutzung erneuerbarer Energie ist jedoch mit technischen Herausforderungen verbunden, insbesondere aufgrund von Leistungsschwankungen, die den Einsatz von Batteriespeichern oder Notstromsystemen erforderlich machen können. Da der CNDPCP rechtlich nicht bindend ist und erneuerbare Energien vielerorts nicht ausreichend verfügbar sind, dürften fossile Energieträger auch in europäischen Rechenzentren künftig weiterhin eine Rolle spielen. So prognostizieren das Öko-Institut und Greenpeace in einer gemeinsamen Studie einen weltweiten Anstieg der Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren von 212 Mio. t (2023) auf 355 Mio. t CO₂-Äquivalente bis 2030 (Gröger et al., 2025). Um den wachsenden Energiehunger ihrer Rechenzentren klimaneutral zu decken, setzen einige Unternehmen – etwa Microsoft und Google – zunehmend auf Stromlieferverträge mit Betreibern von Kernkraftwerken oder investieren in die Entwicklung von Small Modular Reactors (SMRs) sowie in Reaktivierungen und Lebensdauerverlängerungen konventioneller Kernkraftwerke.

Eine weitere Herausforderung im Bereich Nachhaltigkeit stellt der hohe Wasserverbrauch dar. KI-Chips (insbesondere GPUs) erzeugen erheblich mehr Wärme als herkömmliche Prozessoren, sodass große Mengen an Wärme in kleinen, konzentrierten Bereichen entstehen und abgeführt werden müssen. Das macht die Kühlung technisch anspruchsvoll und teuer. Eine Luftkühlung, wie sie in herkömmlichen Rechenzentren angewendet wird, stößt bei hohen Leistungsdichten ab etwa 15-20 kW pro Rack an ihre Grenzen und ist dann mit hohen Energieverbräuchen verbunden. In KI-Rechenzentren kommt deshalb in der Regel eine Wasserkühlung zum Einsatz, typischerweise in zwei Varianten (Gröger et al., 2025; Tozzi, 2024): (1) Verdunstungskühlung: Wasser entzieht der Luft beim Verdunsten Wärme – das ist sehr energieeffizient, aber mit hohem Wasserverbrauch verbunden. (2) Kreislaufkühlung: Wasser wird in einem geschlossenen System abgekühlt, zu den Wärmequellen geführt und anschließend wiederverwendet. Dadurch sinkt der Wasserverbrauch, allerdings auf Kosten des Energiebedarfs.

*Nutzung erneuerbarer
Energien für
Klimaneutralität
zentral*

*Steigender
Wasserbedarf –
nachhaltige
Kühlverfahren im
Fokus*

⁶ iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai.

⁷ reports.weforum.org/docs/WEF_Artificial_Intelligences_Energy_Paradox_2025.pdf,
technologyreview.com/2025/05/20/1116327/ai-energy-usage-climate-footprint-big-tech/, nature.com/articles/d41586-025-00616-z.

Bei großen Rechenzentren, die vor allem in den USA angesiedelt sind, ist Verdunstungskühlung derzeit das Mittel der Wahl. Entsprechend hoch ist der Wasserverbrauch: Ein Hyperscale-Rechenzentrum kann – abhängig von Standort, Größe und Kühlsystem – täglich schätzungsweise bis zu 19 Millionen Liter Wasser verbrauchen, also etwa so viel wie eine Stadt mit 30.000 bis 50.000 Einwohnern.⁸ Nach Berechnungen des Öko-Instituts könnte der globale Wasserverbrauch von Rechenzentren allein durch den Kühlungsbedarf von rund 175 Milliarden Litern (2023) auf 664 Milliarden Liter (2030) ansteigen (Gröger et al., 2025). Dabei ist der indirekte Wasserverbrauch, der beispielsweise bei der Stromerzeugung oder der Halbleiterproduktion anfällt, noch nicht berücksichtigt. Schätzungen zufolge entfallen etwa 50 bis 60 % des gesamten Wasserverbrauchs von Rechenzentren auf indirekte Prozesse (IEA, 2025).

In den USA haben große Rechenzentren bereits zu lokalen Wasserknappheiten geführt.⁹ Für die Nachhaltigkeit von Rechenzentren ist daher essenziell, die Wassereffizienz (Water Use Efficiency, WUE) zu verbessern. Microsoft hat ein Kühlverfahren entwickelt, das ohne Wasserverdunstung auskommt und durch geschlossene Kühlkreisläufe und Kühllösungen auf Chip-Ebene über 125 Millionen Liter Wasser pro Jahr und Rechenzentrum einsparen soll.¹⁰ Allerdings besteht dabei ein Zielkonflikt zwischen der Verbesserung der Wasser- und Energieeffizienz, da mechanische Kühlung mehr Energie verbraucht als Verdunstungskühlung. Weitere Innovationen wie Immersionskühlung (Hardware oder Komponenten werden in ein elektrisch nichtleitendes Kühlmedium getaucht), ein KI-optimiertes Kühlmanagement oder Geothermiekühlung könnten künftig helfen, diesen Konflikt zu entschärfen. Von großer Bedeutung ist dabei auch die Abwärmenutzung. Sie trägt dazu bei, die Gesamtenergieeffizienz von Rechenzentren zu steigern, indem die Abwärme in Fernwärmenetze eingespeist wird. Die 90 Großrechenzentren in Deutschland könnten schätzungsweise 350.000 Haushalte mit Wärme versorgen (Hintemann & Hinterholzer, 2023). Dafür sind jedoch technische Voraussetzungen erforderlich: Anschlussmöglichkeiten an Fernwärmenetze und der Einsatz *hochleistungsfähiger Wärmepumpen*, um Niedrigtemperatur-Abwärme (30–40°C) auf Fernwärme-Niveau (≥85°C) anzuheben (Bitkom e.V., 2022).

Die dritte wesentliche Umweltwirkung von Rechenzentren ergibt sich aus dem hohen Ressourcenverbrauch bei der Herstellung und beim Austausch von IT-Hardware. Server und andere Komponenten werden häufig bereits nach 3 bis 5 Jahren aus Gründen der Leistungssteigerung ersetzt, oft bevor ihre technische Lebensdauer ausgeschöpft ist.¹¹ Ein KI-Rechenzentrum beansprucht somit über seine Betriebszeit erhebliche Mengen an seltenen Rohstoffen, deren Gewinnung oft mit ökologischen Folgen wie Landschaftszerstörung, Wasserbelastung oder Energieverbrauch verbunden ist. Zusätzlich entstehen große Mengen an Elektroschrott. Laut Wang et al. (2024) könnte der durch Training und Betrieb generativer KI-Modelle erzeugte *Elektronikschrott* im Zeitraum 2020–2030 kumulativ zwischen 1,2 und 5,0 Mio. Tonnen betragen. Zur Verringerung dieser Umwelt-

*Zielkonflikt zwischen
Energie- und
Wassereffizienz*

*Kurze
Hardwarezyklen
erhöhen
Ressourcenverbrauch –
Kreislaufwirtschaft als
Schlüssel*

⁸ eesi.org/articles/view/data-centers-and-water-consumption.

⁹ derstandard.at/story/3000000279557/meta-rechenzentrum-laesst-wasser-in-us-bezirk-versiegen.

¹⁰ news.microsoft.com/de-de/datencenter-kuehlung/.

¹¹ gbc-engineers.com/de-DE/aktuelles/nachhaltigkeitsherausforderungen-fr-rechenzentren.

auswirkungen werden verschiedene Strategien diskutiert, etwa eine effizientere Auslastung der Server (Green IT) oder der Einsatz ressourcenschonenderer Software, beispielsweise durch energieeffiziente und hardwareschonende Softwarearchitekturen oder schlankere Modell-Designs (Green Coding). Solche Maßnahmen können Materialaufwand, Energieverbrauch und damit den Kühlbedarf vermindern. Letztlich gilt jedoch, dass es keine vollständige Entkopplung von Materialinput und Umweltauswirkung geben kann – weshalb ein konsequenter Kreislaufwirtschaftsansatz in Hardwaredesign und -entsorgung unverzichtbar ist, da die Produktion von Elektroschrott die Recyclingkapazitäten bei Weitem übersteigt (Baldé et al., 2024). Dies sollte ein möglichst recycling-gerechtes Design der Hardware beinhalten sowie eine Standortwahl mit Nähe zu Recyclinginfrastrukturen.

Der politische Druck, Rechenzentren nachhaltiger zu machen, steigt. Seit 15. Mai 2024 sind Rechenzentren mit einer IT-Leistung ab 500 kW im Zuge der Neuerlassung der EU-Energieeffizienzrichtlinie (EED, 2023/1791/EU) verpflichtet, jährlich ihre Effizienzkennzahlen (u. a. PUE, Anteil Erneuerbare, Wasserverbrauch, Abwärmenutzung) zu veröffentlichen. Über diese Transparenz- und Berichtspflichten hinaus prüft die EU-Kommission verbindliche Mindesteffizienzstandards für PUE, WUE und andere Kennzahlen.¹²

Politischer Druck steigt: Künftige Mindeststandards in Prüfung

RELEVANZ DES THEMAS FÜR DAS PARLAMENT UND FÜR ÖSTERREICH

Österreich steht im Wettbewerb mit anderen Staaten um die Ansiedlung größerer Rechenzentren und verfügt dabei über mehrere Standortvorteile, die zunehmend auch unter Nachhaltigkeitsaspekten relevant sind. Neben dem hohen Anteil erneuerbarer Energien am Strommix (rund 80%, überwiegend Wasserkraft, aber starkes Wachstum bei PV und Wind) besteht in vielen Ballungsräumen ein leistungsfähiges Fernwärmenetz. Zudem bieten sich in höheren alpinen Lagen günstige Bedingungen für Free-Cooling-Technologien. Mit einem prognostizierten jährlichen Wachstum des Marktes für Rechenzentren in Österreich von etwa 7 % bis 2030¹³ gewinnt zugleich die Frage nach verbindlichen Nachhaltigkeitskriterien an Bedeutung. In der Nähe von Salzburg entsteht derzeit ein KI-Rechenzentrum¹⁴, das ausschließlich mit Wasserkraft betrieben wird; weitere Projekte sind in Nieder- und Oberösterreich geplant.¹⁵

Standortvorteile und politische Hebel für nachhaltige Rechenzentren

2024 wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz (BMK) das Österreichische Umweltzeichen für Rechenzentren eingeführt, um Betreiber zu einem besonders ressourcenschonenden Betrieb zu motivieren. Voraussetzung dafür sind neben erneuerbarer Energieversorgung auch ausreichende Kapazitäten in Strom- und Fernwärmenetzen, Wasserverfügbarkeit sowie Recyclinginfrastrukturen. Für

¹² cov.com/-/media/files/corporate/publications/2025/04/the-eus-energy-efficiency-directive-and-its-impact-on-datacenters.pdf.

¹³ de.statista.com/outlook/tmo/rechenzentren/oesterreich.

¹⁴ news.at/technik/in-salzburg-entsteht-hochsicherheits-rechenzentrum-fur-ki-anwendungen.

¹⁵ derstandard.at/story/3000000276685/neue-ki-rechenzentren-microsoft-eroeffnet-zehntes-bundesland; ooe.orf.at/stories/3316092/.

alle kritischen Umweltfaktoren – Energie, Wasser und Rohstoffe – sind kreislauforientierte Konzepte erforderlich, um Nachhaltigkeitspotenziale zu maximieren. Auch ein nachhaltig betriebenes Rechenzentrum hat jedoch erhebliche Umweltwirkungen. Neben freiwilligen Umweltzertifizierungen sind daher Transparenzstandards und verbindliche Mindestanforderungen zentral. Die Politik könnte hier durch gezielte Förderinstrumente für energie- und abwärme-effiziente Rechenzentren, durch Vorgaben zu Abwärmenutzung und Kreislaufwirtschaft sowie durch die Integration solcher Anforderungen in Raum- und Netzinfrasturplanungen aktiv Einfluss nehmen.

VORSCHLAG WEITERES VORGEHEN

Bei der Ansiedlung von Rechenzentren sind unterschiedliche Interessen gegeneinander abzuwägen. Den Potenzialen für Datensouveränität, Innovationskraft und Wertschöpfung stehen Umweltwirkungen gegenüber, die bislang nur unvollständig quantifiziert sind. Dies betrifft insbesondere indirekte Effekte, die beim Abbau von Rohstoffen, bei der Stromerzeugung sowie bei der Herstellung und Entsorgung von IT-Hardware entstehen. In einer vertiefenden TA-Studie könnte der aktuelle Wissensstand zu diesen Umweltwirkungen systematisch aufgearbeitet und bewertet werden. Darauf aufbauend ließe sich ein Kriterienkatalog entwickeln, der eine transparente und nachvollziehbare Abwägung zwischen ökonomischen, technologischen und ökologischen Aspekten bei künftigen Standort- und Investitionsentscheidungen ermöglicht. Zudem könnte diskutiert werden, inwiefern eine Ausweitung der Bewertung der ökologischen Effizienz von der Infrastruktur- auf die Systemperspektive – also das Zusammenspiel von Software, Hardware und regionaler Ressourcennutzung – besser geeignete Indikatoren und Anreize für Nachhaltigkeitsstrategien bereitstellen kann.

*TA-Studie zu
Umweltwirkungen und
Bewertungskriterien*

ZITIERTE LITERATUR

- Baldé, C. P., et al. (2024). *The Global E-Waste Monitor 2024*. Intern. Telecommunication Union (ITU) and UN Institute for Training and Research (UNITAR).
- Bitkom e.V. (2022). *Rechenzentren in Deutschland*.
bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Studie-Rechenzentren-in-Deutschland.
- Gröger, J., Behrens, F., Gailhofer, P., & Hilbert, I. (2025). *Umweltauswirkungen künstlicher Intelligenz*. Greenpeace und Öko-Institut.
oeko.de/publikation/umweltauswirkungen-kuenstlicher-intelligenz/.
- Hintemann, R., & Hinterholzer, S. (2023). *Steigender Energie- und Ressourcenbedarf der Rechenzentrumsbranche* (S. 846–858). Borderstep Institut.
- IEA. (2025). *Energy and AI*. [iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai](https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai).
- Tozzi, C. (2024). *Why Water Cooling In Data Centers Is Not Always Sustainable*. DataCenterKnowledge. datacenterknowledge.com/cooling/why-water-cooling-in-data-centers-is-not-always-sustainable.
- Wang, P., et al. (2024). E-waste challenges of generative artificial intelligence. *Nature Computational Science*, 4(11), 818–823. doi.org/10.1038/s43588-024-00712-6.
- Widuto, A. (2025). *AI and the energy sector*. European Parliamentary Research Service. [europa.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/775859/EPRS_BRI\(2025\)775859_EN.pdf](https://europa.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/775859/EPRS_BRI(2025)775859_EN.pdf).