

Studie

Die regionale Klimakluft von Rechenzentren

**Im Spannungsfeld von
Energiewende und US-Rollback**

Die regionale Klimakluft von Rechenzentren

Im Spannungsfeld von Energiewende und US-Rollback

Autoren

Jens Gröger

Felix Behrens



Öko-Institut Consult GmbH

Borkumstraße 2

13189 Berlin

Impressum

Greenpeace e.V. Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, T 040 30618-0 **Pressestelle** T 040 30618-340, F 040 30618-100, presse@greenpeace.de, greenpeace.de Politische Vertretung Berlin Marienstraße 19–20, 10117 Berlin, T 030 308899-0 **V.i.S.d.P.** Dr. Mauricio Vargas **Autor:innen** Jens Gröger, Felix Behrens **Gestaltung** Janitha Banda/Spektral3000
Titel / Cover © tuckow.studio, Foto: istockphoto [M] **Stand** 06/2026

Vorwort

Die disruptiven Entwicklungen von Big Tech und künstlicher Intelligenz dominieren zu Recht den öffentlichen Diskurs. Das ist nicht verwunderlich. Schließlich befürchten viele Menschen nicht nur den Verlust ihres Arbeitsplatzes, sondern sorgen sich vermehrt um die Stabilität der Demokratie oder gar um die Zukunft der Menschheit.

Während diese gesellschaftlichen Gefahren und Risiken eines missbräuchlichen Einsatzes der neuen Technologie sowohl von Greenpeace als auch von anderen Akteuren wie etwa dem Papst vermehrt in den Blick der Öffentlichkeit gerückt werden, verlieren andere Aspekte wie die enorme Belastung durch den energieintensiven Betrieb von Rechenzentren für Menschen und Umwelt an Bedeutung.

Die Dynamik der technologischen Weiterentwicklung ist so rasant, dass die Einhaltung planetarer Belastungsgrenzen etwa beim Ressourcenverbrauch von Vertreter:innen der Branche zunehmend als fortschrittsfeindliches Hindernis umgedeutet wird. Besonders der gesellschaftliche Wunsch, die Klimaschutzziele einzuhalten, scheint die wenigen Profiteure auf ihrem Weg zu mehr Marktmacht und noch größeren Monopolprofiten zu stören.

Diese Studie geht daher der Frage nach, welche potenziellen Auswirkungen der Ressourcen-hunger der Tech-Branche auf Umweltziele wie das Pariser Klimaabkommen hat und welcher Handlungsbedarf sich für die Branche ergibt. Dafür untersucht sie anhand granularer, regionaler Strommixe die effektive Emissionsintensität sowie die absoluten Emissionen des Betriebs von Rechenzentren in unterschiedlichen Regionen sowie bei unterschiedlichen Betreibern von Rechenzentren.

Die Ergebnisse der Studie sprechen eine eindeutige Sprache: Die Klimafußabdrücke in unterschiedlichen Regionen der Welt sind sowohl eine klare Folge unterschiedlicher Politiken zur Dekarbonisierung der Stromversorgung als auch das Ergebnis der Investitionsentscheidungen der Betreiber selbst. Schließlich entscheiden diese über den Ort des Betriebs ihrer Rechenzentren und nehmen bewusst in Kauf, dass Rechenzentren in Regionen mit besonders schmutzigem Strommix einen schlechteren Fußabdruck haben.

Um dieser Verschlechterung entgegenzuwirken, gibt es für die Betreiber nur zwei Möglichkeiten. Sie bauen ihre Rechenzentren in Regionen mit sauberem Strommix oder sie stellen sicher, dass der Betrieb ihrer Rechenzentren durch den Zubau von Erneuerbaren, deren Strom sie direkt und nachweislich beziehen, sichergestellt ist. Zudem müssen sie sich für eine Politik stark machen, die die Dekarbonisierung beschleunigt und diese nicht durch klimaschädliches Lobbying untergraben wird.

Basierend auf den Ergebnissen der Studie stellt Greenpeace zur Einhaltung der Klimaziele folgende konkrete Forderungen an die Betreiber von Rechenzentren sowie an deren Kund:innen.

Planetare Grenzen müssen als verbindliche Leitplanke für den Ausbau von Rechenkapazitäten gelten. Konkret bedeutet das:

- Rechenzentren sind ausschließlich mit nachweislich 100 % zusätzlichem erneuerbarem Strom zu betreiben – kein Neubau auf Basis fossiler Kapazitäten.
- Globale Hyperscaler wie AWS als größter Treibhausgas-Emittent der Branche tragen besondere Verantwortung und müssen ihren weltweiten Stromverbrauch vollständig und nachweislich auf Erneuerbare umstellen.
- Solange Hyperscaler insbesondere in den USA weiterhin klimaschädliche Kapazitäten betreiben, scheiden sie als Partner für eine klimaverträgliche digitale Infrastruktur in Europa aus.

Besondere Verantwortung trägt der Branchenführer und gemäß der Berechnungen der vorliegenden Studie der größte Emittent von Treibhausgasen, Amazon Web Services (AWS), eine hundertprozentige Tochterfirma von Amazon. Solange diese ein globales Netzwerk an Rechenzentren mit teils sehr klimaschädlicher Energieversorgung betreibt und damit ihre skrupellosen Profitinteressen vor Gemeinwohlinteressen stellt, kann der Marktführer kein vertretbarer Geschäftspartner für nachhaltigkeitsorientierte Kunden sein.

Executive Summary

In der vorliegenden Studie werden der weltweite Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren erstmals auf granularer Grundlage regionaler Strommixe analysiert. Die Analyse basiert auf einem Datensatz von rund 6.700 Standorten (BloombergNEF), der um regionale Emissionsfaktoren von Ember Energy und der US-Umweltbehörde EPA ergänzt wird.

Im Jahr 2025 verbrauchten Rechenzentren weltweit mindestens 485 TWh Strom – rund 4 % des globalen Stromverbrauchs und annähernd so viel wie der gesamte deutsche Strombedarf. Über die Hälfte davon entfällt allein auf die USA (247 TWh), während Europa 86 TWh (18 %) beisteuert; national dominiert der Großraum Frankfurt mit rund 7 TWh/Jahr.

Methodisch verfolgt die Studie einen bewusst realistischen Bilanzierungsansatz: Sie abstrahiert sowohl vom Zukauf vermeintlichen Ökostroms über Zertifikate – der für eine garantiert saubere Stromversorgung als nicht ausreichend erachtet wird – als auch von direkten On-Site- und PPA-Stromverbräuchen, für die aufgrund mangelnder Transparenz keine belastbaren Daten vorliegen. Maßgeblich sind stattdessen die realen Emissionen jenes Stroms, der die Rechenzentren physisch über das Netz versorgt. Auf dieser Grundlage werden die globalen Emissionen für 2025 auf mindestens 170 Mio. Tonnen CO₂e beziffert und damit mehr als der gesamte deutsche Verkehrssektor – mit einem Wachstumspfad auf bis zu 529 Mio. Tonnen. Diese Entwicklung widerspricht den Pariser Klimazielen fundamental, die eine weltweite Reduktion der Emissionen bis 2030 um rund 40 % gegenüber 2020 erfordern.

Die zentralen Ergebnisse:

- **Europa rechnet sauberer.** Der Betrieb von Rechenzentren ist in Europa deutlich klimaschonender als in anderen Weltregionen wie den USA oder China. Dies spiegelt sich in der CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) wider: Dem europäischen Mittel von 263 g CO₂e/kWhIT stehen national deutlich höhere Werte gegenüber, etwa in den USA (414 g) oder in kohlenstoffintensiven Märkten wie China (695 g) und Indien (900 g).

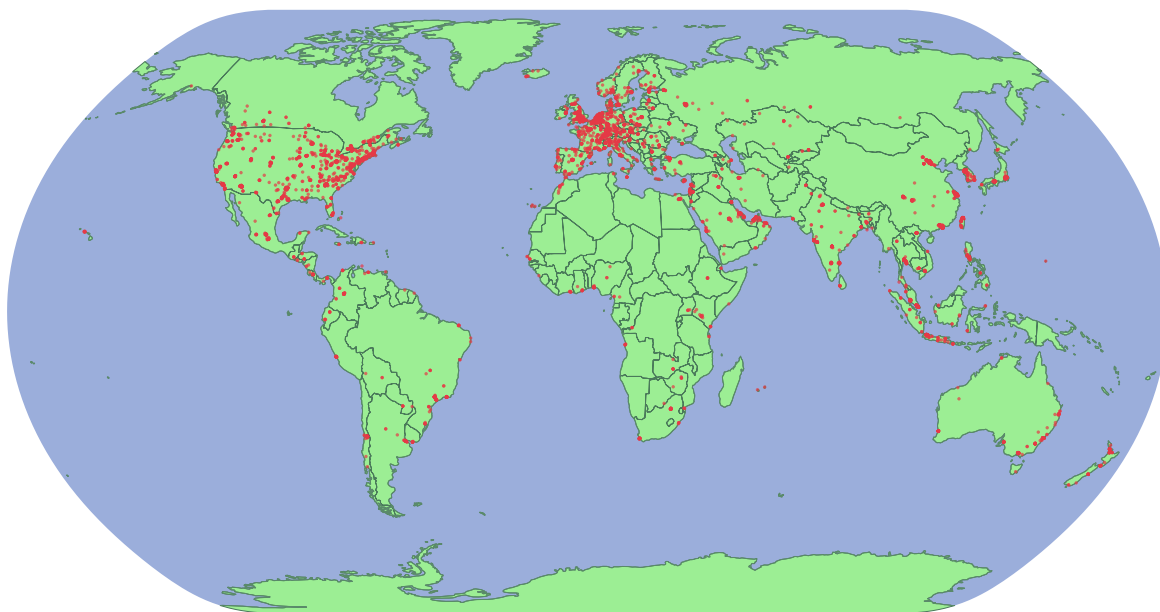
- **Energiewende versus Rückwärtsrolle.** Die Projektionen des geplanten Zubaus bis 2030 offenbaren ein gespaltenes Bild: In Europa und nahezu weltweit verbessern die Fortschritte der Energiewende die Klima-Fußabdrücke der Rechenzentren. In den USA hingegen rächt sich die klimapolitische Rückwärtsrolle – hier verschlechtern sich die Fußabdrücke bis 2030. Verstärkt wird dieser Trend durch den Aufbau dedizierter Gaskraftwerke zur Versorgung von Rechenzentren, der die CUE-Werte (CO₂-Intensität der Rechenarbeit) auf bis zu 727 g CO₂e/kWhIT treibt.
- **Hyperscaler gleichauf – europäische Anbieter im Vorteil.** Bei der Emissionsintensität bestehen zwischen den großen kommerziellen Hyperscalern AWS, Google Cloud und Microsoft keine wesentlichen Unterschiede. Rein europäische Anbieter schneiden demgegenüber besser ab, da sie von der sauberen europäischen Stromversorgung profitieren.
- **AWS als größter Einzelemittent.** Bei den absoluten Emissionen führen die mangelhaften CO₂-Fußabdrücke der weltweit operierenden Hyperscaler dazu, dass sie mit Abstand die größten Emissionsmengen verantworten. Amazon Web Services sticht dabei mit rund 14 Mio. Tonnen CO₂e jährlich als größter einzelner Treibhausgasemittent heraus. Insgesamt entfielen 2025 auf die vier größten Konzerne (AWS, Meta, Google, Microsoft) gemeinsam 45 % der globalen Rechenzentrums-Emissionen – ein Befund, der die im „Climate Neutral Data Centre Pact“ zugesagte Klimaneutralität bis 2030 als unerreichbar erscheinen lässt.

Methodischer Vorbehalt. Sämtliche absoluten Werte sind als Untergrenzen zu verstehen, da der Datensatz schätzungsweise nur rund die Hälfte der real installierten Kapazitäten erfasst und die Anbieter ihre Verbrauchsdaten als Geschäftsgeheimnis behandeln.

Die regionale Klimakluft von Rechenzentren: Im Spannungsfeld von Energiewende und US-Rollback

Studie im Auftrag von Greenpeace e.V. Hamburg

Berlin, 08.06.2026



Studie der Öko-Institut Consult GmbH

Autoren

Jens Gröger

Felix Behrens

Öko-Institut Consult GmbH

www.oeko.de

Büro Freiburg

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg

Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2

13189 Berlin

Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt

Telefon +49 6151 8191-0

Die regionale Klimakluft von Rechenzentren: Im Spannungsfeld von Energiewende und US-Rollback
Jens Gröger und Felix Behrens
Studie im Auftrag von Greenpeace e.V. Hamburg.
Öko-Institut. Berlin. 2026.

Die Grafik auf der vorangehenden Seite zeigt die Standorte von Rechenzentren, die im Rahmen dieser Studie untersucht wurden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
Zusammenfassung	6
Summary	7
1 Hintergrund	9
2 Regionale Verteilung von Rechenzentren	10
2.1 Energieverbrauch	10
2.1.1 Kennzahl für Verluste in der Gebäudetechnik (PUE)	10
2.1.2 Energieverbrauch von Rechenzentren weltweit	10
2.1.3 Energieverbrauch in den Vereinigten Staaten von Amerika	11
2.1.4 Energieverbrauch in Europa	12
2.1.5 Energieverbrauch in Deutschland	12
2.2 CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE)	14
2.2.1 Kennzahl CUE	14
2.2.2 Weltkarte des CUE	14
2.2.3 CUE in den Vereinigten Staaten von Amerika	16
2.2.4 Versorgung mit eigenen Kraftwerken	16
2.3 Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE)	18
2.4 Treibhausgasemissionen von Rechenzentren	21
3 Entwicklungen von 2020 bis 2030	22
3.1 Entwicklung des Energieverbrauchs	22
3.2 Entwicklung der CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE)	24
3.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen	25
4 Beiträge einzelner Unternehmen zu den Treibhausgasemissionen	26
5 Möglichkeiten zur Verringerung der Treibhausgasemissionen	29
Literaturverzeichnis	31

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Energieverbrauch von Rechenzentren weltweit im Jahr 2025	11
Abbildung 2-2: Energieverbrauch von Rechenzentren in den USA im Jahr 2025	11
Abbildung 2-3: Energieverbrauch von Rechenzentren in Europa im Jahr 2025	12
Abbildung 2-4: Energieverbrauch von Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2025	13
Abbildung 2-5: Regionale Verteilung der CO ₂ -Intensität von Rechenarbeit	15
Abbildung 2-6: Beispielhafte Tagesverlaufskurve erneuerbarer Stromerzeugung	18
Abbildung 2-7: Radioaktive Abfallmengen für die Stromerzeugung der Rechenarbeit	20
Abbildung 2-8: Treibhausgasemissionen von Rechenzentren weltweit im Jahr 2025	22
Abbildung 3-1: Entwicklung des Stromverbrauchs von Rechenzentren von 2020 bis 2030	23
Abbildung 3-2: Entwicklung der CO ₂ -Intensität der Rechenarbeit (CUE)	25
Abbildung 3-3: Entwicklung der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren bis 2030	26
Abbildung 4-1: Anteile der 4 großen Hyperscaler an den Gesamtemissionen	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: CO ₂ -Intensität der Rechenarbeit (CUE) abhängig von der Erzeugungsanlage	17
Tabelle 2-2: Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE) in absteigender Reihenfolge	20
Tabelle 4-1: Top-10 Unternehmensrechenzentren nach Treibhausgasemissionen 2025	28
Tabelle 4-2: Top-10 Co-Location-Rechenzentren nach Treibhausgasemissionen 2025	28

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langform
AI	Artificial Intelligence (Künstliche Intelligenz)
AWS	Amazon Web Services
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BNEF	Bloomberg New Energy Finance
CNDCP	Climate Neutral Data Centre Pact
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ e	Kohlendioxid-Äquivalente
CPU	Central Processing Unit
CUE	Carbon Usage Effectiveness
EF	Emissionsfaktor
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPA	Environmental Protection Agency
ERF	Energy Reuse Factor
g	Gramm
g CO ₂ e/kWh _{IT}	Gramm Kohlendioxid-Äquivalente pro Kilowattstunde Informationstechnik
GCC	Gulf Cooperation Council (Mitglieder sind: Vereinigte Arabische Emirate, Saudi-Arabien, Katar, Oman, Bahrain, Kuwait)
GuD	Gas- und Dampfkraftwerk
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden (= 10 ⁶ Kilowattstunden)
h/a	Stunden pro Jahr
IEA	Internationale Energieagentur
IT	Informationstechnik
KI	Künstliche Intelligenz
kt	Tausend Tonnen
kt CO ₂ e/a	Tausend Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde (= 10 ³ Wattstunden)
kWh _{el}	Kilowattstunden elektrisch
Mt	Millionen Tonnen
Mt CO ₂ e/a	Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde (= 10 ³ Kilowattstunden)
MWh _{el}	Megawattstunden elektrisch
MWh _{IT}	Megawattstunden Informationstechnik
PPA	Power Purchase Agreement
PUE	Power Usage Effectiveness
RWUE	Radioactive Waste Usage Effectiveness
RZ	Rechenzentrum
TWh	Terawattstunden (= 10 ⁹ Kilowattstunden)
USA	United States of America

Zusammenfassung

Die Studie analysiert den weltweiten Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren auf Basis einer Datenbank, die zirka 6.700 weltweite Standorte beinhaltet. Rechenzentren verbrauchten 2025 demnach weltweit mindestens 485 TWh Strom – rund 4% des globalen Stromverbrauchs und in der Größenordnung des gesamten deutschen Strombedarfs. Mehr als 50% des Stromverbrauchs entfallen auf die USA (247 TWh), Europa trägt 86 TWh (18%) bei. Innerhalb Europas liegt das Vereinigte Königreich vorn (14 TWh), gefolgt von Deutschland (11 TWh), Irland (10 TWh) und den Niederlanden (9 TWh). In Deutschland dominiert der Großraum Frankfurt mit rund 7 TWh/Jahr als mit Abstand größter Rechenzentrums-Standort, gefolgt von Berlin (0,8 TWh) und München (0,6 TWh).

Im „Climate Neutral Data Centre Pact“ haben sich führende Tech-Konzerne zur Klimaneutralität bis 2030 verpflichtet. Die Studie bewertet dies kritisch: Eingekaufte Ökostromzertifikate (PPAs) ohne physische Leitungsverbindung zum Rechenzentrum führen in der Praxis dazu, dass Kohle- und Gaskraftwerke Stromlücken füllen. Die realen globalen Treibhausgasemissionen von Rechenzentren lagen 2025 bei mindestens 170 Millionen Tonnen CO₂e – mit einem Wachstumspfad auf bis zu 529 Millionen. Die vier größten Tech-Konzerne (Amazon Web Services, Meta, Google und Microsoft) waren im Jahr 2025 gemeinsam für 45 % der globalen Treibhausgasemissionen aller Rechenzentren verantwortlich und sind damit weit davon entfernt, klimaneutral zu arbeiten.

Die Kennzahl CUE (CO₂-Intensität der Rechenarbeit) wird in der Studie verwendet, um zu beschreiben, wie klimarelevant ein Rechenzentrumsstandort ist. Der Wert ist abhängig vom lokalen Strommix und der Gebäudeeffizienz (PUE). Die globale Spannweite der CUE-Werte ist enorm: Länder mit kohlenstoffintensivem Strommix wie Indien (900 g CO₂e/kWh_{IT}), Australien (698), China (695) und Japan (630) liegen weit vor Europa, das einen Durchschnittswert von 263 g aufweist. Deutschland liegt bei 430 g, die USA im nationalen Mittel bei 414 g – wobei einzelne US-Bundesstaaten deutlich darüber liegen. Der aktuelle Trend in den USA, eigene Gaskraftwerke zum Betrieb von Rechenzentren aufzustellen, führt zu noch höheren CUE-Werten von bis zu 727 g CO₂e/kWh_{IT}.

Die Studie führt außerdem die Kennzahl RWUE (Radioactive Waste Usage Effectiveness) ein, die angibt, wie viel hochradioaktiver Abfall pro Rechenarbeit durch die Nutzung von Atomstrom entsteht. Besonders hohe Werte werden dabei in Regionen mit hohem Atomstromanteil erreicht, wie beispielsweise in Frankreich mit 2,5 g/MWh_{IT} oder einzelnen US-Bundesstaaten mit Werten bis zu 2,1 g. Ein 100-MW-Rechenzentrum in Frankreich verursacht damit jährlich rund 1,5 Tonnen hochradioaktiven Abfall. Die zunehmende Nutzung von Atomstrom durch Technologiekonzerne – teils explizit als „klimaneutral“ deklariert – verlagert die Umweltlast somit auf ein langfristiges Endlagerproblem.

Die Studie identifiziert mehrere wirksame Hebel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren. Erstens spielt die Standortwahl eine entscheidende Rolle: Rechenzentren in Regionen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien profitieren von niedrigeren Emissionsfaktoren. Dieser Vorteil kann auch durch Investitionen in eigene Photovoltaik- oder Windkraftanlagen erreicht werden, sofern diese physikalisch verbunden sind. Zweitens kann die Auskopplung von Abwärme die Klimabilanz verbessern, indem fossile Wärmeerzeugung substituiert wird. Drittens ermöglicht die Zwischenspeicherung von Solar- und Windstrom in Batteriespeichern eine zeitlich flexiblere Nutzung erneuerbarer Energien und trägt zur Reduzierung der CUE-Werte bei.

Summary

The study analyses global energy consumption and greenhouse gas emissions from data centres, based on a database comprising approximately 6,700 locations worldwide. According to the findings, data centres consumed at least 485 TWh of electricity globally in 2025 – roughly 4% of global electricity consumption and comparable in scale to Germany's entire electricity demand. More than 50% of this consumption is attributable to the USA (247 TWh), whilst Europe contributes 86 TWh (18%). Within Europe, the United Kingdom leads (14 TWh), followed by Germany (11 TWh), Ireland (10 TWh) and the Netherlands (9 TWh). In Germany, the Greater Frankfurt area dominates with approximately 7 TWh per year, making it by far the largest data centre location, ahead of Berlin (0.8 TWh) and Munich (0.6 TWh).

Under the “Climate Neutral Data Centre Pact”, leading technology companies have committed to achieving climate neutrality by 2030. The study takes a critical view of this pledge: renewable energy certificates (PPAs) purchased without a physical grid connection to the data centre result, in practice, in coal and gas power plants filling supply gaps. Actual global greenhouse gas emissions from data centres stood at a minimum of 170 million tonnes of CO₂e in 2025 – with a growth trajectory pointing towards as much as 529 million tonnes. The four largest technology companies (Amazon Web Services, Meta, Google and Microsoft) were jointly responsible for 45% of global greenhouse gas emissions from all data centres in 2025, placing them far from operating in a climate-neutral manner.

The metric CUE (Carbon Usage Effectiveness) is employed in the study to describe the climate relevance of a data centre location. The value depends on the local electricity mix and the building efficiency (PUE). The global range of CUE values is considerable: countries with carbon-intensive electricity mixes such as India (900 g CO₂e/kWh_{IT}), Australia (698), China (695) and Japan (630) are significantly higher than Europe's average of 263 g. Germany sits at 430 g and the USA at a national average of 414 g – though individual US states exceed this figure by a notable margin. The current trend in the USA of installing dedicated gas-fired power plants to operate data centres results in even higher CUE values of up to 727 g CO₂e/kWh_{IT}.

The study also introduces the metric RWUE (Radioactive Waste Usage Effectiveness), which indicates how much highly radioactive waste is generated per unit of computing work through the use of nuclear power. Particularly high values are recorded in regions with a large share of nuclear generation, such as France at 2.5 g/MWh_{IT} or certain US states with values of up to 2.1 Grams. A 100 MW data centre in France thereby generates approximately 1.5 tonnes of highly radioactive waste annually. The growing use of nuclear power by technology companies – sometimes explicitly declared as “climate-neutral” – thus shifts the environmental burden onto a long-term waste disposal problem.

The study identifies several effective levers for reducing greenhouse gas emissions from data centres. First, the choice of location plays a decisive role: data centres situated in regions with a high proportion of renewable energy benefit from lower emission factors. This advantage can also be achieved through investment in dedicated photovoltaic or wind energy installations, provided these are physically connected. Second, the utilisation of waste heat can improve the carbon footprint by substituting fossil-fuel-based heat generation. Third, the intermediate storage of solar and wind power in battery systems enables a more temporally flexible use of renewable energy and contributes to reducing CUE values.

Hinweise zu den ausgewerteten Daten

Für die vorliegende Studie wurde der proprietäre Datensatz „Data center projects database 1.4.0“ des Beratungsunternehmens Bloomberg New Energy Finance (BloombergNEF 2026) ausgewertet und mit zusätzlichen frei verfügbaren Datenquellen kombiniert. Die BNEF-Daten stellen eine Übersicht von weltweit geplanten und in Betrieb befindlichen Rechenzentren dar, mit ihrem jeweiligen Eigentümer, Standort, Anschlussleistung, Betriebskonzept, Zeitpunkt der Inbetriebnahme und weiteren Daten. Von den dort gelisteten rund 6700 Rechenzentren wurden zum Zeitpunkt der Erhebung eine Anzahl von 420 in ihrer Anschlussleistung erweitert und 426 befanden sich noch in der Neubauphase. Um Auswertungen durchzuführen, wurden diese Daten mit Kennzahlen des gemeinnützigen Think Tanks EMBER (Ember-Energy 2026) und der US-Umweltagentur (EPA 2025) zur lokalen Elektrizitätserzeugung und Anteilen an Atomenergie sowie um eigene Annahmen des Öko-Instituts zu zukünftigen Entwicklungen ergänzt.

Da die BNEF-Datenbank nur die bekannten und öffentlich recherchierbaren Rechenzentren enthält, stellt sie naturgemäß nur eine Teilmenge der tatsächlich installierten Rechenzentren dar. Es kann davon ausgegangen werden, dass viele Unternehmensrechenzentren, Rechenzentren für Kryptowährungen und militärische oder staatlich genutzte Rechenzentren nicht im Datensatz enthalten sind. Für Deutschland gehen wir beispielsweise aufgrund des in der vorliegenden Studie berechneten Energieverbrauchs von 11 TWh im Jahr 2025 im Gegensatz zu den Zahlen des deutschen Bundeswirtschaftsministeriums von 22 TWh (Murzakulova 2025) davon aus, dass nur rund 50% der Installationen erfasst sind. Die hier vorgestellten absoluten Zahlen der Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen stellen daher nur eine Teilmenge der globalen Verbrauchs- und Emissionsmengen dar.

Die internationale Energieagentur hat in ihrer jüngsten Publikation zum globalen Energieverbrauch von Rechenzentren „Key Questions on Energy and AI“ (IEA 2026) die beiden Zahlen 485 TWh für 2025 und 950 TWh für 2030 (Prognose) berechnet. Auch diese Zahlen stellen eher die Untergrenzen des weltweiten Energieverbrauchs durch Rechenzentren dar, da sie, genau wie in der vorliegenden Studie, durch eine Bottom-up-Methode gewonnen wurden. In der vorangegangenen Studie des Öko-Instituts für Greenpeace (Gröger et al. 2025) wurde ein Top-down-Ansatz zur Abschätzung des globalen Stromverbrauchs durch Rechenzentren gewählt. Die beiden prognostizierten Zahlen für 2025 und 2030 lagen hier bei 651 und 1.389 TWh und damit um bis zu 46% höher als die aktuellen IEA-Zahlen.

Wir haben uns dennoch entschlossen, die aktuelleren Zahlen der Internationalen Energieagentur (IEA 2026) zu nutzen, um die Energieverbräuche der BNEF-Daten zu skalieren. Die hier vorliegende Auswertung liegt daher in der gleichen Größenordnung wie die IEA-Daten. Auch hier gilt, dass die tatsächlichen Verbräuche und Emissionen in der Realität eher höher liegen. Da es bislang immer noch keine zuverlässige Statistik über den Energieverbrauch von Rechenzentren gibt und die Anbieter diese Information als Geschäftsgeheimnisse deklarieren, lassen sich die Zahlen nicht abschließend verifizieren.

1 Hintergrund

Große Teile der Rechenzentrumsbranche und die Anbieter digitaler Dienstleistungen haben sich in der Initiative „Climate Neutral Data Centre Pact“ (CND CP 2025) dazu verpflichtet, bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu werden. Mitunterzeichner dieser Initiative sind die großen Technologie-Konzerne Amazon Web Services (AWS), Meta, Google und Microsoft sowie rund 100 weitere Betreiber von Rechenzentren und Co-Location-Dienstleistungen. Die branchenübergreifende Selbstverpflichtung soll zeigen, dass die Unternehmen bereit sind, ihren Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und darüberhinausgehende gesetzliche Anforderungen an Technologie-Konzerne nicht erforderlich sind.

Erreicht wird die angekündigte Klimaneutralität rechnerisch durch den Einkauf von Strom aus erneuerbaren Energien über sogenannte *Power Purchase Agreements* (PPAs), also Vereinbarungen, dass emissionsarmer Strom anderswo eingekauft wird. Diese Liefervereinbarungen haben jedoch einen zweifelhaften Nutzen für den Klimaschutz. Aus folgenden Gründen ist zu befürchten, dass es sich dabei um ein reines *Greenwashing* handelt, also um eine Umweltdeklaration, die zu keinen realen Umweltentlastungen führt:

Erstens kann der eingekaufte, erneuerbar erzeugte Strom in der Regel nicht zum Rechenzentrum durchgeleitet werden, weil die entsprechenden Stromleitungskapazitäten fehlen oder der Strom auf einem anderen Kontinent erzeugt wird. Zweitens wird der Strom nicht zur gleichen Zeit produziert, in der das Rechenzentrum den Strom verbraucht. Denn die Stromerzeugung aus Sonne und Wind hat tages- und jahreszeitliche Schwankungen, während Rechenzentren in der Regel rund um die Uhr mit annähernd gleichbleibender Last betrieben werden. Die Folge ist, dass Gas- und Kohlekraftwerke, die mit den Rechenzentren über Stromleitungen verbunden sind, in die Stromlücke springen und einen steigenden Ausstoß an Treibhausgasemissionen verursachen.

Eine weitere Option für die Technologiekonzerne ist auch der Einkauf von Atomstrom zum Betrieb ihrer Rechenzentren, der gemäß dem „Climate Neutral Data Centre Pact“ ebenfalls als „carbon-neutral“ deklariert wird. Die Folgen hiervon sind der intensivere oder längere Betrieb von Atomkraftwerken und ein vermehrtes Aufkommen von hochradioaktivem Abfall mit den zugehörigen Risiken und Kosten für die Gesellschaft.

In dieser Studie führen wir eine realistische Bilanzierung der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren und Technologie-Konzernen durch. Die Rechenzentren sind in der Realität über Stromnetze physikalisch mit Kraftwerken verbunden und führen dort zu realen Emissionen.

Daher werden in dieser Studie keine *Power Purchase Agreements* akzeptiert, die keine physikalische Verbindung mit den Rechenzentren aufweisen. Liefervereinbarungen, die lediglich auf dem Papier existieren und die nur Zahlungsflüsse aber keine Stromflüsse umlenken, werden nicht berücksichtigt. Stattdessen werden die Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung in den jeweiligen Regionen der Rechenzentren zur Berechnung herangezogen.

Mit dieser realistischeren Bilanzierungsmethode kann gezeigt werden, wie sich die Treibhausgasemissionen von Rechenzentren tatsächlich entwickeln und warum die im „Climate Neutral Data Centre Pact“ angekündigte Klimaneutralität mit der derzeitigen Strategie der Technologie-Konzerne nicht erreicht werden kann.

2 Regionale Verteilung von Rechenzentren

2.1 Energieverbrauch

Die vorliegenden Daten benennen pro Rechenzentrum (RZ) die elektrische Anschlussleistung der IT-Technik. Dieser Parameter wird in der Praxis genutzt, um die Größe eines Rechenzentrums zu beschreiben. Zur Berechnung des jährlichen Energieverbrauchs müssen sowohl die zusätzlichen Verluste in der Gebäudetechnik (insbesondere Kälteanlagen und Energieversorgung) als auch der Auslastungszustand der Rechenzentren berücksichtigt werden.

2.1.1 Kennzahl für Verluste in der Gebäudetechnik (PUE)

Die Verluste in der Gebäudetechnik werden nach der Norm DIN EN 50600-4-2 durch die *Power Usage Effectiveness* (PUE) beschrieben:

$$PUE = \frac{\text{Stromverbrauch des gesamten Rechenzentrums} [kWh/a]}{\text{Stromverbrauch der IT} [kWh/a]} \quad [\text{ohne Einheit}]$$

Zur Berechnung der Verluste wurde in der vorliegenden Studie entweder mit den in der Datenbank für die jeweiligen Rechenzentren individuell angegebenen PUE-Werten gerechnet oder bei Datenlücken mit einem durchschnittlichen PUE-Wert abhängig vom Betriebskonzept des Rechenzentrums zwischen 1,31 und 1,4. Für den Auslastungszustand der Rechenzentren wird eine mittlere CPU-Auslastung von 33% angenommen, die zu einer mittleren elektrischen Auslastung der IT von 67% führt (vgl. *load factor* in IEA 2026). Der jährliche Stromverbrauch der Rechenzentren berechnet sich dann wie folgt:

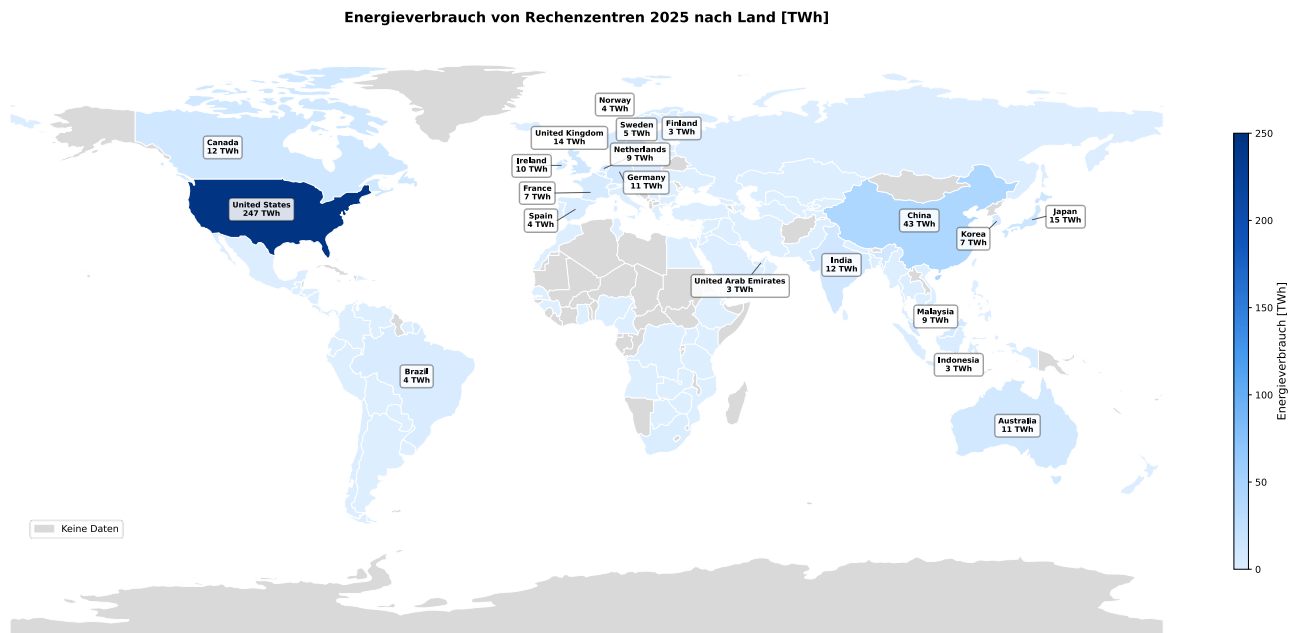
$$\text{Stromverbrauch RZ} = \text{Anschlussleistung der IT} [kW] \cdot PUE \cdot 67\% \cdot 8760 \text{ h/a} \quad [kWh/a]$$

2.1.2 Energieverbrauch von Rechenzentren weltweit

Rechenzentren haben im Jahr 2025 weltweit mindestens 485 Terawattstunden (TWh) an Strom verbraucht. Dies liegt in der Größenordnung der elektrischen Energie, die in Deutschland verbraucht wird und entspricht einem Anteil von rund 4% des weltweiten Stromverbrauchs (Enerdata 2025).

Die regionale Verteilung dieses Stromverbrauchs ist jedoch sehr unterschiedlich. Mit 247 TWh werden mehr als 50% des Stroms für Rechenzentren in den Vereinigten Staaten von Amerika verbraucht. China verbraucht 43 TWh und damit 9% der globalen RZ-Strommenge. Japan (15 TWh), Vereinigtes Königreich (14 TWh), Indien (12 TWh), Kanada (12 TWh), Australien (11 TWh), Deutschland (11 TWh), Irland (10 TWh) und die Niederlande (9 TWh) folgen absteigend in der Rangfolge der Top-10 Verbraucher. Eine Übersicht über die globale Verteilung gibt die nachfolgende Weltkarte Abbildung 2-1. Darin sind die 20 Länder mit den höchsten Verbrauchsmengen zusätzlich zur farblichen Markierung mit Zahlenwerten beschriftet. Wie in der Infobox „Hinweise zu den ausgewerteten Daten“ beschrieben, handelt es sich bei den Zahlen nur um die in der BNEF-Datenbank gelisteten Rechenzentren. Für einige Regionen und Rechenzentren, die der Geheimhaltung unterliegen, sind keine Daten verfügbar.

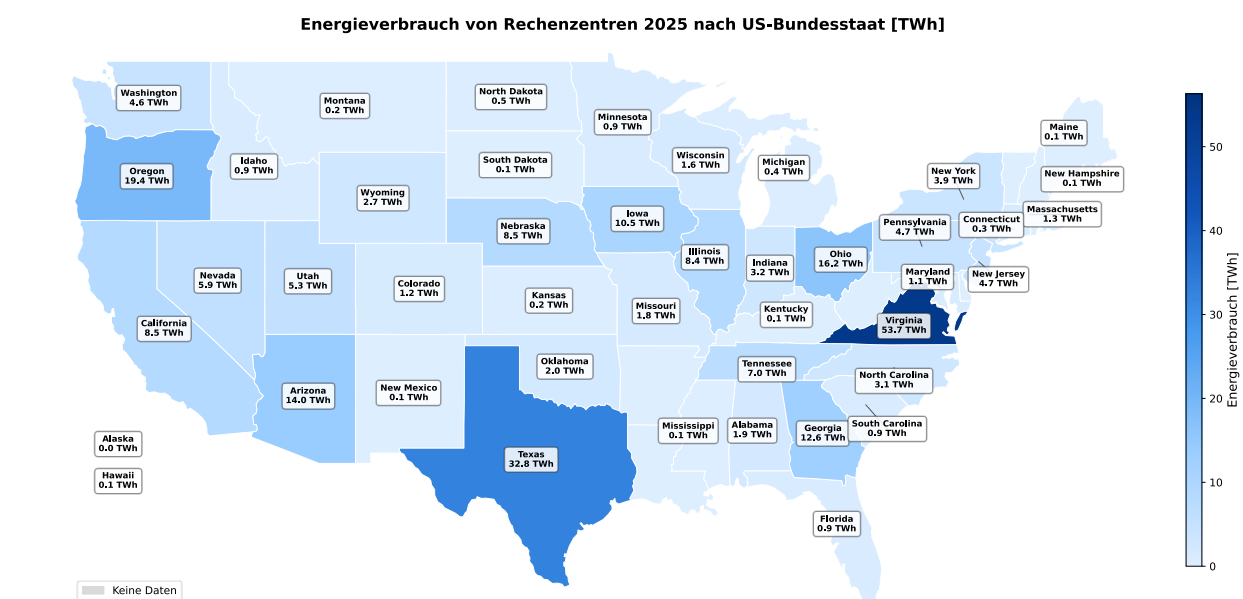
Abbildung 2-1: Energieverbrauch von Rechenzentren weltweit im Jahr 2025



2.1.3 Energieverbrauch in den Vereinigten Staaten von Amerika

Innerhalb der Vereinigten Staaten von Amerika gibt es regional ebenfalls große Unterschiede, wie die Abbildung 2-2 zeigt. Von den insgesamt 247 TWh an Elektrizität für Rechenzentren auf US-Territorium im Jahr 2025, wurden 22% in Virginia (54 TWh) verbraucht, 13% in Texas (32 TWh), 8% in Oregon, 7% in Ohio, 6% in Arizona, 5% in Georgia, 4% in Iowa, 3% in California, 3% in Nebraska, 3% in Illinois, 3% in Tennessee. In den übrigen US-Bundesstaaten wird jeweils weniger als 6 TWh und damit weniger als 2% der Gesamtmenge verbraucht.

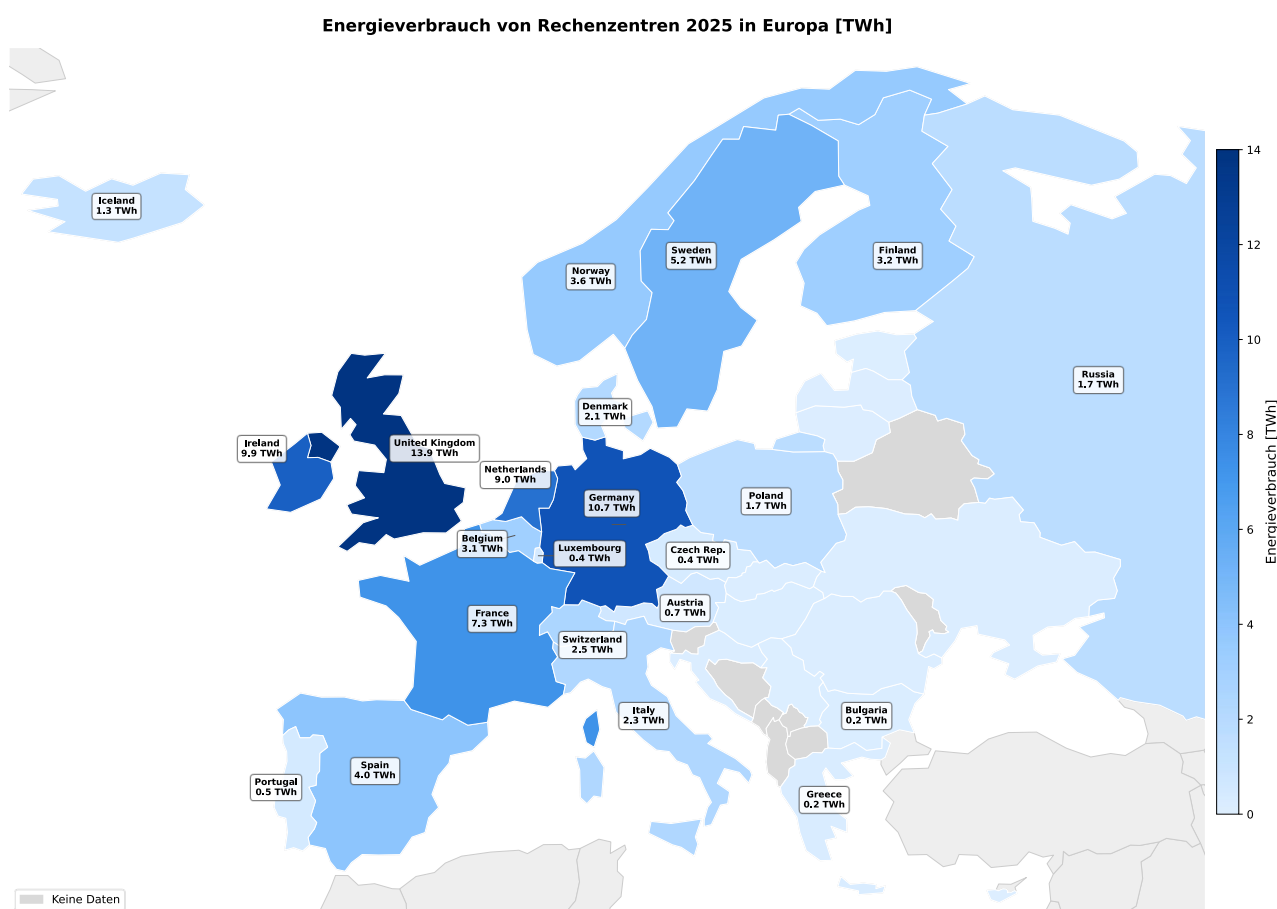
Abbildung 2-2: Energieverbrauch von Rechenzentren in den USA im Jahr 2025



2.1.4 Energieverbrauch in Europa

In Europa ist der Energieverbrauch durch Rechenzentren etwas gleichmäßiger verteilt, wie in Abbildung 2-3 dargestellt wird. Die europäischen Rechenzentren verbrauchten im Jahr 2025 mit insgesamt 86 TWh rund 18% des weltweiten Stroms für Rechenzentren. Das Vereinigte Königreich liegt hierbei mit 14 TWh (16%) vorn, gefolgt von Deutschland mit 11 TWh (12%), Irland mit 10 TWh (12%), Niederlande mit 9 TWh (11%), Frankreich mit 7 TWh (9%), Schweden (5 TWh, 6%), Spanien (4 TWh, 5%), Norwegen (4 TWh, 4%), Finnland (3 TWh, 4%) und Belgien (3 TWh, 4%). Alle übrigen europäischen Länder haben einen Anteil von weniger als 3% des Stromverbrauchs für europäische Rechenzentren. Länder, deren Energieverbrauch unterhalb von 0,1 TWh liegt, sind in der Abbildung aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit Zahlen beschriftet. Der erfasste Verbrauch von Russland liegt bei nur 1,7 TWh, was darauf hinweist, dass hier Datenlücken vorliegen.

Abbildung 2-3: Energieverbrauch von Rechenzentren in Europa im Jahr 2025



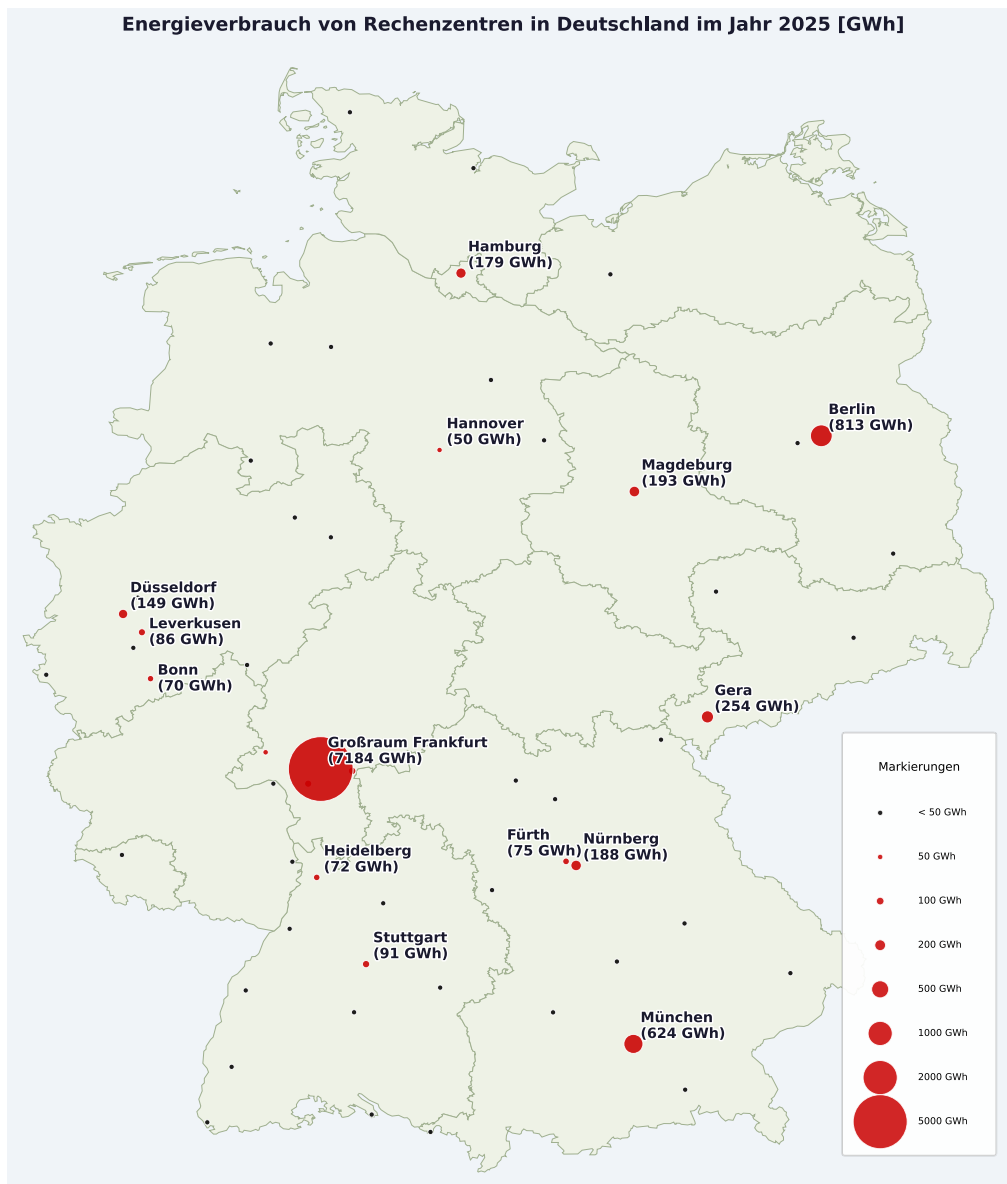
Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank

2.1.5 Energieverbrauch in Deutschland

In der BloombergNEF-Datenbank sind für Deutschland im Jahr 2025 rund 1,4 GW in Betrieb befindliche IT-Kapazitäten in Rechenzentren gelistet, die zu einem jährlichen Energieverbrauch von rund 10,7 Terawattstunden führen. Diese Strommenge ist zirka nur halb so groß wie aktuelle Schätzungen für Deutschland, die bei 22 (Murzakulova 2025) und 26 TWh (Stobbe et al. 2025) liegen. Deshalb muss auch für Deutschland davon ausgegangen werden, dass Datenlücken bei den

Rechenzentrumsstandorten bestehen und einige Standorte nicht erfasst sind. Der vorhandene Datensatz wird in Abbildung 2-4 anhand einer Deutschlandkarte illustriert.

Abbildung 2-4: Energieverbrauch von Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2025



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank, Beschriftung für Standorte ≥ 50 GWh pro Jahr

Auch innerhalb Deutschlands gibt es regional große Unterschiede in der Verteilung von Rechenzentren. Ein eindeutiger Schwerpunkt liegt im Großraum Frankfurt mit den Städten Frankfurt am Main, Offenbach, Eschborn, Hattersheim, Rüsselsheim, Sossenheim und Darmstadt, die in der Abbildung der Übersicht halber als „Großraum Frankfurt“ zusammengefasst wurden. Der Großraum Frankfurt weist einen Stromverbrauch von 7.184 GWh pro Jahr auf. Zweit- und drittgrößte Standorte sind Berlin mit 813 GWh und München mit 624 GWh gefolgt von kleineren Standorten wie Gera mit 254 GWh, Magdeburg 193 GWh, Nürnberg mit 188 GWh und Hamburg mit 179 GWh Stromverbrauch in Rechenzentren pro Jahr.

2.2 CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE)

Für die Klimabilanz eines Rechenzentrums macht es einen Unterschied, ob dieses beispielsweise mit Strom aus Steinkohlekraftwerken oder mit Strom aus Windkraftanlagen betrieben wird. Für die Strommenge werden im Fall des Kohlestroms 860 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde Elektrizität (g CO₂e/kWh_{el}) freigesetzt, im Fall von Strom aus Offshore-Windkraft dagegen nur 10 g CO₂e/kWh_{el} (siehe Tabelle 2-1).

2.2.1 Kennzahl CUE

Als Kennzahl zur Beschreibung der CO₂-Intensität des Energieverbrauchs von Rechenzentren wurde in der Norm DIN EN 50600 4-8 die Effizienzkennzahl *Carbon Usage Effectiveness* (CUE) definiert. Die Kennzahl beschreibt das Verhältnis der Treibhausgasemissionen durch den Stromverbrauch des Rechenzentrums zu dem Stromverbrauch, der durch die Informationstechnik (IT) verursacht wird:

$$CUE = \frac{\text{CO}_2\text{e Emissionen des Rechenzentrums [g CO}_2\text{e/a]}}{\text{Stromverbrauch der IT [kWh}_{IT}/\text{a]}} \quad [\text{g CO}_2\text{e/kWh}_{IT}]$$

Zu Berechnung der Treibhausgasemissionen des Rechenzentrums kann vereinfachend der gesamte Stromverbrauch des Rechenzentrums herangezogen werden, in dem auch die Verluste der Gebäudetechnik (Kälteanlagen, Energieumwandlung) enthalten sind. Der Stromverbrauch wird als Produkt des IT-Stromverbrauchs und dem Kennwert PUE berechnet und mit dem Emissionsfaktor (EF) des eingesetzten Stroms multipliziert:

$$\text{CO}_2\text{e Emissionen des Rechenzentrums} = \text{Stromverbrauch der IT} \cdot PUE \cdot EF_{\text{Strom}} \quad [\text{g CO}_2\text{e/a}]$$

Dies stellt eine Vereinfachung dar, da Rechenzentren in der Praxis auch direkte Emissionen an Treibhausgasen aufweisen können, wie der Verlust von treibhauswirksamen Kältemitteln, Schutzgasen von Schaltanlagen oder Emissionen von Netzstromersatzanlagen (z.B. Dieselgeneratoren) und zusätzlich CO₂-Emissionen zur Herstellung der IT und Gebäudetechnik. In der Gesamtbilanz machen die strombedingten CO₂e-Emissionen eines Rechenzentrums mit 81-98% der Gesamtemissionen jedoch den ganz überwiegenden Anteil aus (Gröger und Liu 2021).

Setzt man die Berechnung der CO₂e Emissionen des Rechenzentrums in die Formel des CUE ein, so kürzt sich der jährliche Stromverbrauch der Informationstechnik heraus und es bleibt eine Berechnungsformel, die nur noch den Kennwert PUE und den Emissionsfaktor (EF) des eingesetzten Stroms enthält:

$$CUE = PUE \cdot EF_{\text{Strom}} \quad [\text{g CO}_2\text{e/kWh}_{IT}]$$

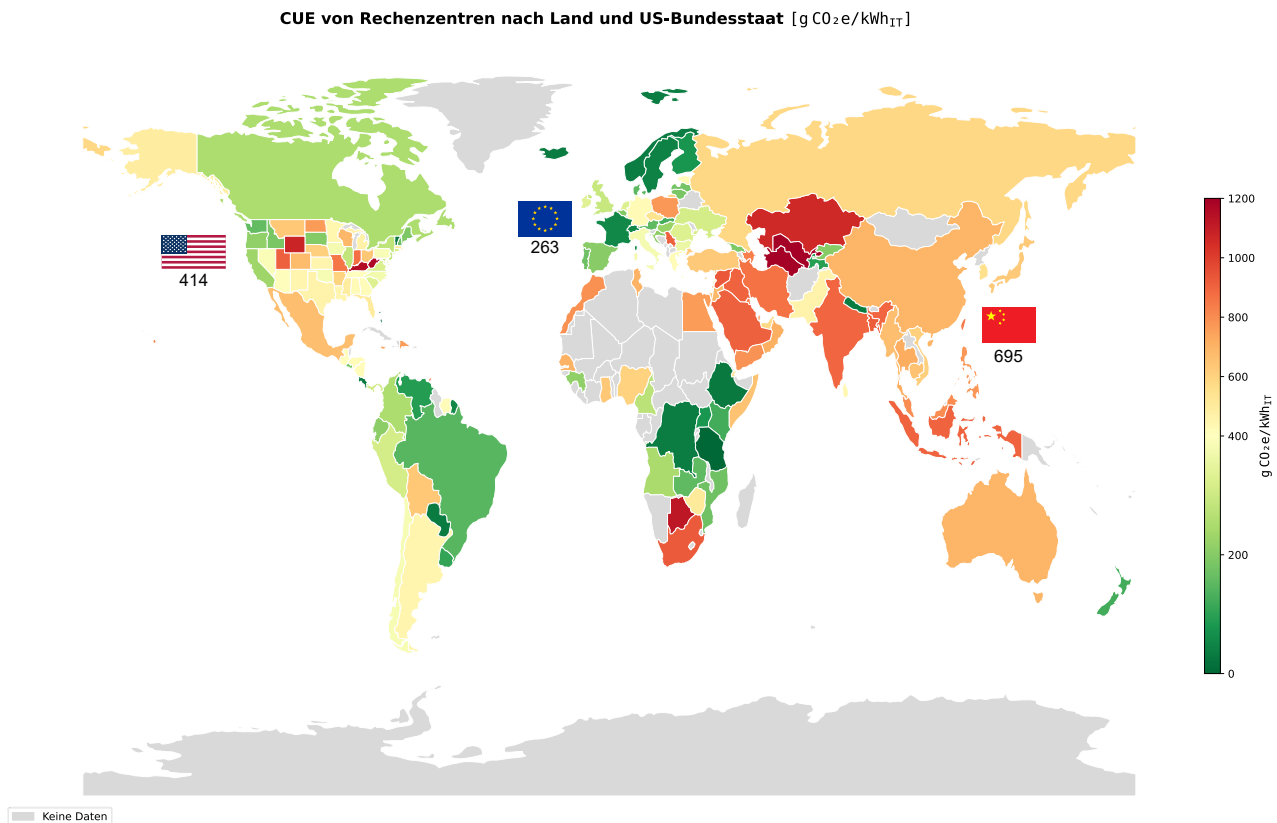
2.2.2 Weltkarte des CUE

Mit dieser Formel für die *Carbon Usage Effectiveness* (CUE) stellen wir nachfolgend die CO₂-Intensität der Rechenarbeit dar. Sie hängt sowohl von der Effizienz der Gebäudetechnik ab (PUE) als auch vom lokalen Strommix. Für die PUE-Werte haben wir entweder mit den vorhandenen Werten aus der Datenbank gerechnet, die dort zwischen 1,03 und 2,9 liegen, oder, bei Datenlücken und je nach Betriebsmodell des Rechenzentrums, mit gemittelten Werten zwischen 1,31 und 1,4. Die Emissionsfaktoren (EF_{Strom}) des lokalen Stroms sind der länderspezifischen Datenbank von

Ember Energy für das Jahr 2025 (Ember-Energy 2026) und für die Vereinigten Staaten den Angaben der US-Umweltagentur EPA des Jahres 2023 (EPA 2025) entnommen.

Abbildung 2-5 zeigt eine Weltkarte der regionalen Verteilung der CO₂-Intensität von Rechenarbeit.

Abbildung 2-5: Regionale Verteilung der CO₂-Intensität von Rechenarbeit



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Emissionsfaktoren

Von den zehn größten Rechenzentrumsstandorten liegen bei der CO₂-Intensität der Rechenarbeit Indien mit einem CUE von 900 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde IT-Strom (g CO₂e/kWh_{IT}) deutlich vorn, gefolgt von Australien mit 698 g CO₂e/kWh_{IT}, China mit 695 g CO₂e/kWh_{IT}, Japan mit 630 g CO₂e/kWh_{IT}, Deutschland mit 430 g CO₂e/kWh_{IT} und den Vereinigten Staaten mit landesübergreifenden 414 g CO₂e/kWh_{IT}. Andere Länder der Top-10 RZ-Stromverbraucher liegen unterhalb von 400 g CO₂e/kWh_{IT}. Der mit dem Energieverbrauch gewichtete Durchschnitt des CUE-Wertes aller europäischen Länder (hier vereinfacht mit einer EU-Flagge gekennzeichnet) liegt bei 263 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde IT-Strom.

Die Berechnung des CUE zeigt auch, dass Länder, die derzeit noch keine großen Rechenzentrumskapazitäten haben, einen überdurchschnittlich hohen CUE-Wert aufweisen. Für Europa sind dies insbesondere Serbien mit 911 g CO₂e/kWh_{IT}, Polen mit 771 g CO₂e/kWh_{IT}, Zypern mit 643 g CO₂e/kWh_{IT}, Malta mit 635 g CO₂e/kWh_{IT} und die Türkei mit 627 g CO₂e/kWh_{IT}. In Nordafrika sind nur wenige Rechenzentren in der Datenbank enthalten. Aber auch hier treten hohe CUE-Werte auf, Marokko mit 793 g CO₂e/kWh_{IT} und Ägypten mit 757 g CO₂e/kWh_{IT}. Im Süden Afrikas treten die Republik Botswana mit 1125 g CO₂e/kWh_{IT} und Südafrika mit 926 g CO₂e/kWh_{IT} deutlich hervor. Ebenso weist die Golfregion mit Werten um 900 g CO₂e/kWh_{IT} sowie Zentralasien, insbesondere Turkmenistan (1711), Usbekistan (1313) und Kasachstan (1067) hohe spezifische

Treibhausgasemissionen pro Rechenarbeit auf. Weitere Hotspots liegen in Asien in Hongkong, Bangladesch und Indonesien mit Werten um die 900 g CO₂e/kWh_{IT} sowie Taiwan, Malaysia und Philippinen mit Werten um 800 g CO₂e/kWh_{IT}.

Zusammenfassend kann zu den CUE-Werten festgestellt werden, dass es für die Treibhausgasemissionen eines Rechenzentrums einen großen Unterschied macht, an welchem Standort es errichtet wird und aus welchem Stromnetz es seine Elektrizität bezieht.

2.2.3 CUE in den Vereinigten Staaten von Amerika

Innerhalb der Vereinigten Staaten von Amerika haben wir die einzelnen Bundesstaaten detaillierter untersucht und in der Abbildung 2-5 differenziert nach US-Bundesstaaten dargestellt, denn auch hier gibt es große Unterschiede bei der CO₂-Intensität der Rechenarbeit abhängig vom Standort des Rechenzentrums. Von den 10 größten Rechenzentrumsstandorten liegen 4 bei ihren CUE-Kennwerten deutlich oberhalb des nationalen Durchschnitts von 414 g CO₂e/kWh_{IT}. Dies sind die US-Bundesstaaten Ohio mit 640 g CO₂e/kWh_{IT}, Nebraska mit 612, Texas mit 468 und Georgia mit 424 g CO₂e/kWh_{IT}. In diesen US-Bundesstaaten sind zusammen rund 9 GW derzeit aktiv und rund 5 GW an Rechenzentren befinden sich noch in der Bauphase. Bei der Inbetriebnahme werden die neu errichteten Rechenzentren für zusätzliche Emissionen von mindestens 14 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten verantwortlich sein.

Andere US-Bundesstaaten, die nicht zu den Top-10 Rechenzentrumsstandorten gehören, weisen sogar noch höhere spezifische Treibhausgasemissionen pro Rechenarbeit auf. Die zehn CO₂-intensivsten US-Bundesstaaten in absteigender Reihenfolge sind West Virginia (1171), Kentucky (1156), Wyoming (1077), Utah (908), Indiana (873), Missouri (855), Hawaii (831), North Dakota (764), Wisconsin (690) und Colorado (676 g CO₂e/kWh_{IT}).

Die Vereinigten Staaten von Amerika sind in 27 Stromnetzgebiete aufgeteilt, die sich in ihrer Ausdehnung von den insgesamt 50 Bundesstaaten unterscheiden, mehrere Staaten beinhalten und sich teilweise überlappen. Daher ist eine eindeutige Zuordnung der US-Bundesstaaten zu den CUE-Werten nicht in allen Fällen zutreffend. Für die Bundesstaat-spezifischen Emissionsfaktoren hat die US-Umweltbehörde EPA deshalb Mittelwerte angegeben. In Regionen, die von mehreren Stromnetzgebieten versorgt werden, kann der Strom jedoch entweder CO₂-arm oder CO₂-intensiv sein. Dies ist beispielsweise in Wyoming in der nördlichen Mitte der Fall, das entweder von WECC Northwest oder von WECC Rockies versorgt wird, deren Emissionsfaktoren sich um den Faktor 2 unterscheiden. Für einzelne Rechenzentrumsstandorte muss daher geprüft werden, aus welchem Stromnetz der Strom tatsächlich geliefert wird.

2.2.4 Versorgung mit eigenen Kraftwerken

Neu errichtete Rechenzentren, die sich auf Künstliche Intelligenz (KI) spezialisieren, haben heute Anschlussleistungen von mehreren 100 Megawatt (MW) bis hin zu 1 Gigawatt (GW) oder mehr. Solche neuen Stromverbraucher lassen sich nur sehr schwer in bestehende Stromnetze integrieren, da deren Stromerzeugungs- und Übertragungskapazitäten hierfür nicht ausreichen. Ein aktueller Trend beim Neubau von Rechenzentren ist deshalb die parallele Errichtung eigener neuer Kraftwerkskapazitäten. Unter dem Stichwort „Bring your own power“ (van Osdol und Hughes 2026) werden am gleichen Standort beispielsweise **neue Gaskraftwerke** errichtet, mit denen das Rechenzentrum unabhängig vom lokalen Stromnetz betrieben werden kann. So errichtet derzeit beispielsweise der Energiekonzern E.ON für den Co-Location-Anbieter CyrusOne in Frankfurt-

Griesheim ein Gaskraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 61 MW (Blum 2025). Eine der Voraussetzungen für die Errichtung von Gaskraftwerken ist das Vorhandensein von Erdgasnetzen mit ausreichenden Kapazitäten.

Beispiel eigener Gasturbinen bei xAI

Wird ein Rechenzentrum mit einem eigenen Kraftwerk betrieben, so hat dies unmittelbar Auswirkungen auf dessen CO₂-Intensität. So werden beispielsweise zum Betrieb der beiden KI-Rechenzentren „Colossus“ 1 und 2 von xAI (der Firma von Elon Musk) in Memphis, Tennessee insgesamt 56 Gasturbinen auf dem gleichen Grundstück („on premise“) betrieben, um das Rechenzentrum autark zu versorgen (Rozier 2026).

Bei einem Wirkungsgrad der Stromerzeugung dieser freistehenden Turbinen von 40% und einem angenommenen PUE von 1,32 erreichen die KI-Rechenzentren einen CUE-Wert von 727 g CO₂e/kWh_{IT} und liegen damit fast doppelt so hoch wie der lokale CUE-Wert in Höhe von 396 g CO₂e/kWh_{IT}, wenn sie Netzstrom beziehen würden. Die Folge ist, dass die Rechenzentren mit ihrer IT-Anschlussleistung von insgesamt 424 MW nicht 1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr, sondern 1,8 Millionen Tonnen emittieren, also 84% mehr als bei der Versorgung aus dem öffentlichen Stromnetz in Tennessee.

Genauso wie xAI mit fossil befeuerten eigenen Kraftwerken eine besonders klimaschädliche Energieversorgung gewählt hat, kann durch die Investition in **Windparks oder Photovoltaikanlagen** auch der CO₂-Fußabdruck der Rechenarbeit gezielt verringert werden. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn Stromerzeugung und Rechenzentrum tatsächlich über Stromleitungen physikalisch miteinander verbunden sind. Statt in neue fossile Kraftwerke zu investieren, können Rechenzentrationbetreiber also auch saubere Energie herstellen.

Würde xAI die oben genannten KI-Rechenzentren mit eigenen und physikalisch verbundenen onshore Windparks betreiben, würde es pro Jahr für nur 57 Tausend Tonnen CO₂-Äquivalente verantwortlich sein und gegenüber dem jetzigen Ausbauzustand mit Gasturbinen 97% seiner CO₂-Emissionen einsparen.

Tabelle 2-1 zeigt die **Emissionsfaktoren verschiedener Kraftwerkstechnologien** und die daraus resultierenden Werte für den CUE bei einem angenommenen durchschnittlichen PUE von 1,36. Die Emissionsfaktoren beinhalten nicht nur die direkten Emissionen am Kraftwerksstandort, sondern auch den Herstellungsaufwand und die eingesetzten Hilfsenergien der jeweiligen Kraftwerke.

Tabelle 2-1: CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) abhängig von der Erzeugungsanlage

Kraftwerkstechnologie	Emissionsfaktor Stromerzeugung [g CO ₂ e/kWh _{el}]	PUE [-]	CUE [g CO ₂ e/kWh _{IT}]
Wasserkraft	3	1,36	4
Windkraft (offshore)	10	1,36	13
Windkraft (onshore)	18	1,36	24
Atomkraft	18	1,36	25
Photovoltaik	57	1,36	77
Erdgas (GuD-Kraftwerk)	394	1,36	536

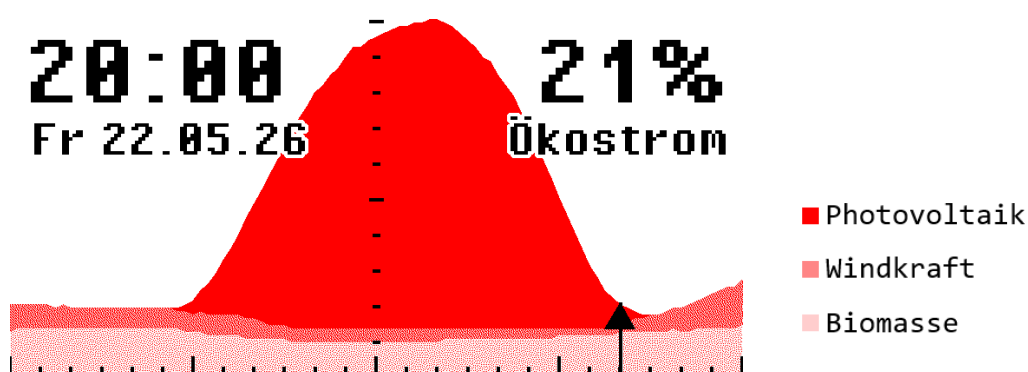
Kraftwerkstechnologie	Emissionsfaktor Stromerzeugung [g CO ₂ e/kWh _{el}]	PUE [-]	CUE [g CO ₂ e/kWh _{IT}]
Erdgas (freistehende Gasturbine)	551	1,36	750
Steinkohle	860	1,36	1.170
Braunkohle	1.119	1,36	1.522

Quelle: Öko-Institut mit Daten des Umweltbundesamtes (Lauf et al. 2025; Icha und Lauf 2026) sowie eigenen Berechnungen

Wird ein Rechenzentrum mit Strom aus erneuerbaren Energien gespeist, so gibt es tages- und jahreszeitliche Schwankungen der regenerativ erzeugten Elektrizität. Dieser Tagesverlauf ist exemplarisch in Abbildung 2-6 für einen windstillen, aber sonnigen Tag in Deutschland dargestellt.

Um eine vollständig regenerative Energieversorgung des Rechenzentrums rund um die Uhr zu ermöglichen, muss der **Solar- und Windstrom in Batteriespeichern** zwischengespeichert und zu Zeiten der Dunkelflauten wieder entladen werden. Zum Erzeugungsaufwand des Solar- und Windstroms kommen dann noch die Treibhausgasemissionen für die Herstellung der Batteriespeicher sowie Ladeverluste hinzu. Die Höhe der spezifischen Treibhausgasemissionen dieser rund um die Uhr verfügbaren erneuerbar erzeugten Elektrizität konnte im Rahmen dieser Studie nicht ermittelt werden. Es wird jedoch erwartet, dass auch diese spezifischen Emissionen deutlich geringer sind als die der fossil erzeugten Elektrizität.

Abbildung 2-6: Beispielhafte Tagesverlaufskurve erneuerbarer Stromerzeugung



Quelle: Öko-Institut, Eigene Darstellung mit Strommarktdaten der Bundesnetzagentur (smard.de)

Statt die Stromerzeugung bzw. Stromspeicherung an dem Bedarf des Rechenzentrums auszurichten, bieten die Rechenzentren selbst ebenfalls die Möglichkeit zur Flexibilisierung ihres Strombedarfs. Nicht zeitkritische Rechenaufgaben, wie das Trainieren von KI-Modellen, können beispielsweise auf Tageszeiten verschoben werden, an denen Solar- und Windenergie reichlich vorhanden ist. Diese Strategie der Flexibilisierung von Rechenzentren (Bauknecht et al. 2026) trägt ebenfalls zum Absenken der CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) bei.

2.3 Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE)

Die Umweltwirkungen der Stromproduktion beschränken sich nicht nur auf die Treibhausgasemissionen. Wird Strom in Atomkraftwerken hergestellt, wie beispielsweise Frankreich oder der Ukraine, liegen die Treibhausgasemissionen pro Kilowattstunde zwar niedriger als bei Kraftwerken mit fossilen Brennstoffen, wie Tabelle 2-1 zeigt, allerdings entsteht zusätzlich

hochradioaktiver Abfall. Zur Erzeugung einer Megawattstunde [MWh_{el}] Elektrizität fallen zwischen 2 und 3 Gramm [g] abgebrannte Brennelemente an, die schließlich als hochradioaktiver Abfall entsorgt und für tausende von Jahren sicher gelagert werden müssen. Die genaue Abfallmenge pro Strommenge hängt von der Bauart des Atomkraftwerkes ab und von dessen Effizienz. Für die Kennzeichnung von Elektrizität im Rahmen des deutschen Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) hat die Energiebranche (BDEW 2024) als Abfallmenge die Zahl 2,7 Gramm pro Megawattstunde Elektrizität (g/MWh_{el}) festgelegt. Für die weitere Berechnung der radioaktiven Abfallmengen wird diese Zahl vereinfachend für alle Atomkraftwerke herangezogen, unabhängig von ihrer Bauart.

Vergleichbar zur Definition der Energieverluste in der Gebäudetechnik von Rechenzentren, der *Power Usage Effectiveness* (PUE) und der Kennzahl zur CO_2 -Intensität der Rechenarbeit, *Carbon Usage Effectiveness* (PUE) wird nachfolgend eine Kennzahl für die spezifische Menge an hochradioaktivem Abfall pro Rechenarbeit definiert. Als Name wird, analog zu den übrigen Bezeichnungen, *Radioactive Waste Usage Effectiveness* (RWUE) festgelegt:

$$RWUE = \frac{\text{Menge an hochradioaktivem Abfall [g/a]}}{\text{Stromverbrauch der IT [MWh}_{\text{IT}}/\text{a}]} \quad [\text{g/MWh}_{\text{IT}}]$$

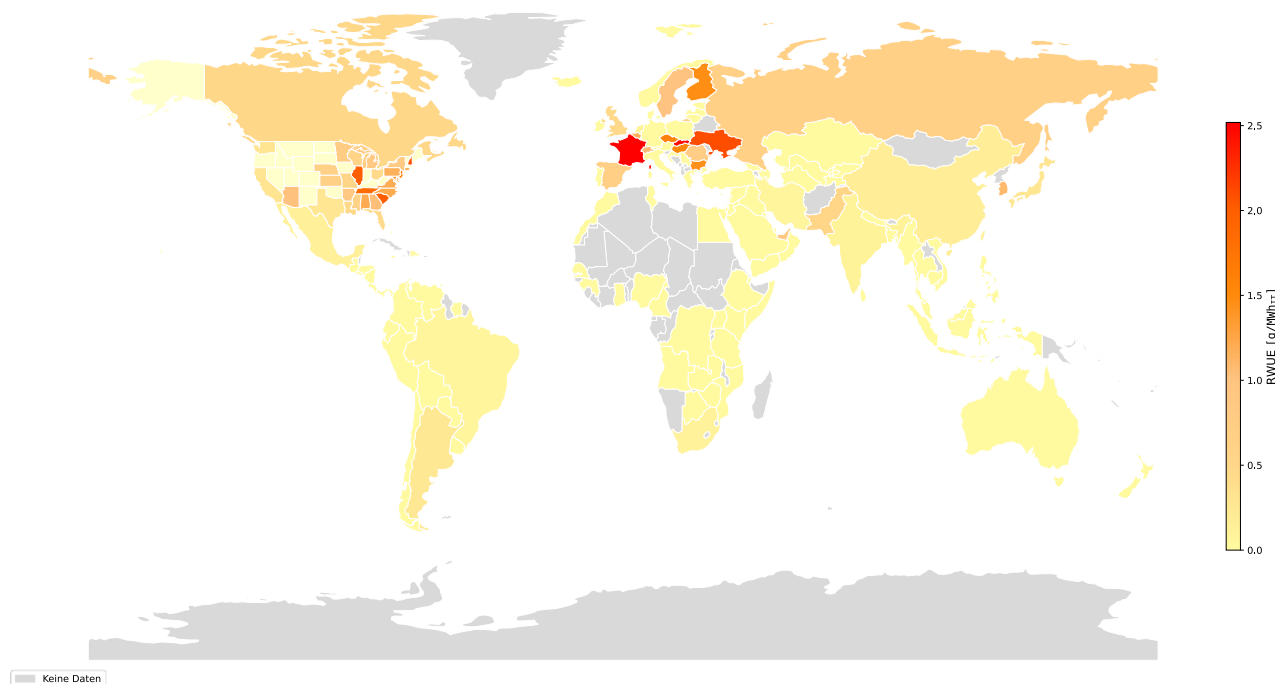
Mit der Kennzahl RWUE kann ausgerechnet werden, welche Menge an radioaktivem Abfall bei dem Betrieb von Informationstechnik eines Rechenzentrums anfällt. Da der Stromverbrauch des gesamten Rechenzentrums um den Faktor PUE höher liegt als der Stromverbrauch der reinen Informationstechnik, kann der RWUE auch mit folgender Formel berechnet werden:

$$RWUE = PUE \cdot \text{Anteil an Atomstrom [\%]} \cdot 2,7 \text{ g/MWh} \quad [\text{g/MWh}_{\text{IT}}]$$

Für die Rechenzentrumsstandorte in der BNEF-Datenbank wurde diese Berechnung durchgeführt und in der nachfolgenden Weltkarte in Abbildung 2-6 dargestellt. Länder mit einem besonders hohen Anteil an radioaktivem Abfall pro Rechenarbeit sind rot dargestellt, Länder ohne radioaktiven Abfall in hellgelb. Besonders hohe Mengen an radioaktivem Abfall werden durch Rechenzentren in Ländern mit einem hohen Atomstromanteil verursacht, dies sind Frankreich ($2,5 \text{ g/MWh}_{\text{IT}}$), Slowakei ($2,5 \text{ g/MWh}_{\text{IT}}$) und Ukraine ($2,1 \text{ g/MWh}_{\text{IT}}$), gefolgt von einigen US-Bundesstaaten, die in dieser Karte separat ausgewiesen sind. Der US-Durchschnitt an radioaktivem Abfall pro Rechenarbeit liegt bei $0,7 \text{ g/MWh}_{\text{IT}}$. Länder, die dafür bekannt sind, einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien zu haben aber zusätzlich auch Atomkraftwerke zu betreiben, wie Finnland ($1,5$), Schweiz ($1,1$) und Schweden ($1,0$) treten bei der Darstellung des RWUE deutlich hervor.

Abbildung 2-7: Radioaktive Abfallmengen für die Stromerzeugung der Rechenarbeit

Hochradioaktiver Abfall (RWUE) von Rechenzentren nach Land und US-Bundesstaat [g/MWh_{IT}]



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Atomstromanteilen

In der nachfolgenden Tabelle 2-2 sind die Werte der radioaktiven Abfallmengen pro Rechenarbeit (RWUE) für solche Länder und US-Bundesstaaten aufgelistet, die größer oder gleich 1,0 g/MWh_{IT} aufweisen.

Tabelle 2-2: Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE) in absteigender Reihenfolge

Land und US-Bundesstaat	Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE) [g/MWh _{IT}]
Frankreich	2,5
Slowakei	2,5
Ukraine	2,1
USA - New Hampshire	2,1
USA - South Carolina	2,0
USA - Illinois	2,0
USA - Tennessee	1,8
USA - New Jersey	1,6
Tschechische Republik	1,6
USA - Maryland	1,5
Ungarn	1,5
Finnland	1,5
Bulgarien	1,4
USA - Connecticut	1,2
USA - North Carolina	1,2
USA - Alabama	1,2

Land und US-Bundesstaat	Radioaktive Abfallmengen der Rechenarbeit (RWUE) [g/MWh _{IT}]
USA - Virginia	1,2
Belgien	1,2
USA - Pennsylvania	1,2
Südkorea	1,1
Schweiz	1,1
USA - Georgia	1,0
USA - Arizona	1,0
Schweden	1,0

Hinweis: gelistet sind Länder und US-Bundesstaaten mit Werten $\geq 1,0$ g/MWh_{IT}

Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Atomstromanteilen

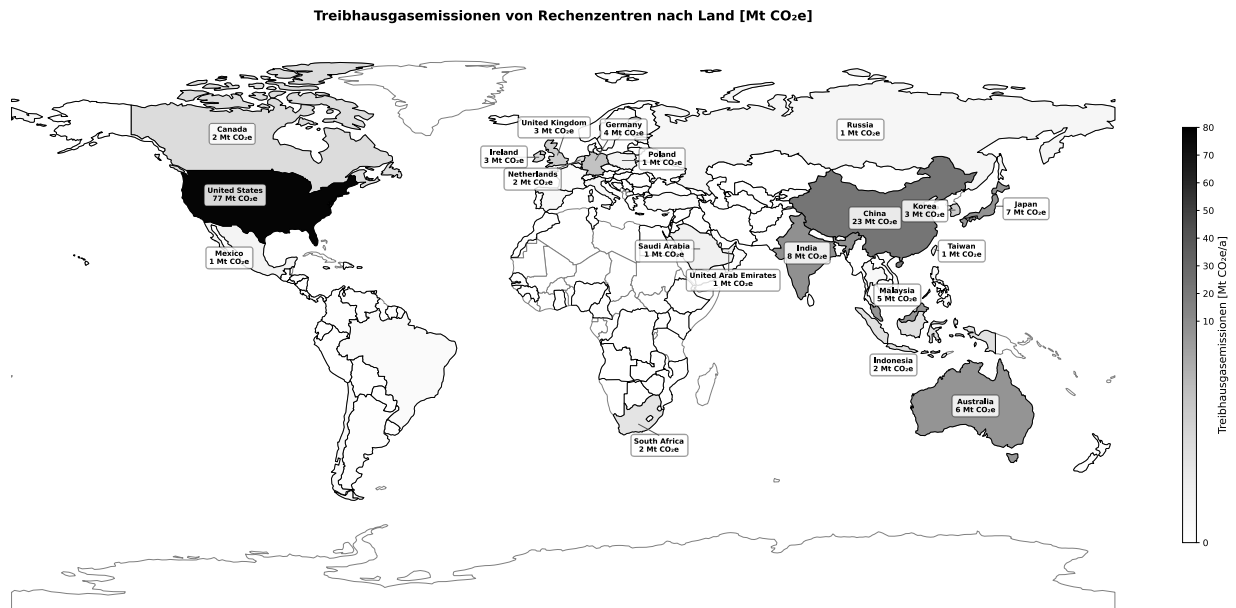
Die Menge an hochradioaktivem Abfall, die durch einzelne Rechenzentren verursacht wird, sind dabei erheblich. Aktuell gebaute und geplante Rechenzentren, insbesondere solche für KI-Anwendungen, haben elektrische Anschlussleistungen der Informationstechnik von 100 MW oder ein Vielfaches davon. Die Server und Speichersysteme eines 100 MW Rechenzentrums benötigen pro Jahr rund 580.000 MWh_{IT}. Wird solch ein Rechenzentrum in Schweden betrieben, mit einem RWUE von 1,0 g/MWh_{IT}, so sorgt es jährlich für rund 0,6 Tonnen hochradioaktiven Abfall. In Finnland mit einem RWUE von 1,5 g/MWh_{IT} ist das Rechenzentrum für rund 0,9 Tonnen verantwortlich. Im US-Bundesstaat South Carolina mit einem RWUE von 2,0 g/MWh_{IT} sind es rund 1,2 Tonnen. Und in Frankreich mit einem RWUE von 2,5 g/MWh_{IT} führt das 100 MW-Rechenzentrum zu jährlich rund 1,5 Tonnen an hochradioaktivem Abfall.

2.4 Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

Die regional verteilten absoluten Treibhausgasemissionen werden anhand des Energieverbrauchs der Rechenzentren und den zugehörigen lokalen Emissionsfaktoren berechnet. Rechenzentren sind weltweit im Jahr 2025 für Treibhausgasemissionen in der Höhe von mindestens 170 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (Mt CO₂e/a) verantwortlich. Bei dieser Zahl handelt es sich um jene Rechenzentren, die in der ausgewerteten BloombergNEF-Datenbank enthalten waren. Die tatsächliche Emissionsmenge könnte um den Faktor 2 darüber liegen, was aufgrund fehlender Transparenz der Rechenzentren und Technologiekonzerne jedoch nicht überprüfbar ist.

In Abbildung 2-7 ist eine Weltkarte für die regionale Verteilung der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren abgebildet. Die Grauskala ist so gewählt, dass auch im unteren Bereich von 0 bis 10 Mt CO₂e/a Unterschiede zu erkennen sind. Die Abbildung zeigt für die 20 größten CO₂-Emittenten zusätzlich zur Farbcodierung auch eine Beschriftung der Länder an.

Abbildung 2-8: Treibhausgasemissionen von Rechenzentren weltweit im Jahr 2025



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Emissionsfaktoren

Die Liste der Länder mit den höchsten Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren wird deutlich von den Vereinigten Staaten von Amerika angeführt. Rechenzentren in den USA verursachten im Jahr 2025 CO₂e-Emissionen in Höhe von 77 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, China 23 Mt CO₂e/a, Indien 8 Mt CO₂e/a, Japan 7 Mt CO₂e/a, Australien 6 Mt CO₂e/a, Malaysia 5 Mt CO₂e/a, Singapur 4 Mt CO₂e/a und Deutschland ebenfalls 4 Mt CO₂e/a. Alle weiteren Länder haben von Rechenzentren verursachte Emissionen von 3 Mt CO₂e/a oder weniger.

3 Entwicklungen von 2020 bis 2030

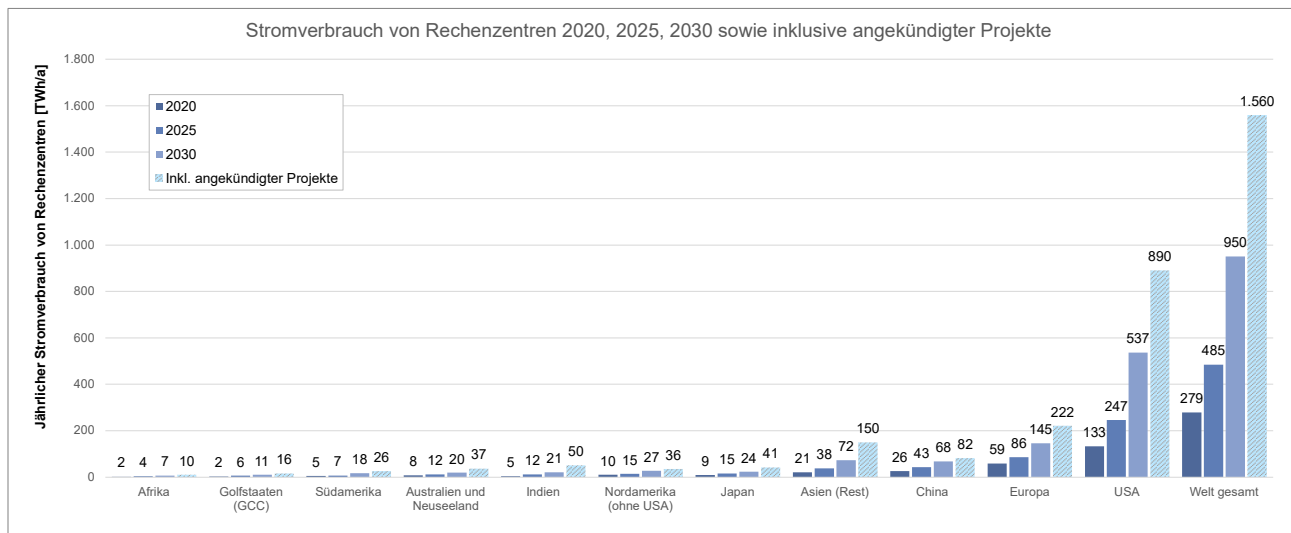
Die Darstellungen in Kapitel 2 Regionale Verteilung von Rechenzentren beziehen sich auf das Jahr 2025. Die dort berechneten Zahlen für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen sind bereits bedrohlich für die aktuelle Energieinfrastruktur und die Erreichung der Klimaschutzziele. Eine der besonderen Herausforderungen, die durch Rechenzentren entstehen, ist deren exponentielles Wachstum. Zwischen den Jahren 2020 und 2025 gab es bereits einen erheblichen Zubau an Rechenzentrumskapazitäten, der auch in den kommenden Jahren weiter anhalten wird. Der hier ausgewertete Datensatz zeigt, dass sich bereits jetzt sehr viele weitere Rechenzentren in der Bauphase und Planungsphase befinden, die eine weitere Zunahme von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen erwarten lassen.

3.1 Entwicklung des Energieverbrauchs

In der nachfolgenden Abbildung 3-1 wird aufgezeigt, wie sich der Energieverbrauch von Rechenzentren im Zeitraum 2020 bis 2025 entwickelt hat und sich voraussichtlich bis zum Jahr 2030 weiter entwickeln wird. Für die derzeit bereits in der Bauphase befindlichen Ausbau- und Neubauprojekte von Rechenzentren wird eine Prognose für das Jahr 2030 abgegeben, die beim globalen Energieverbrauch in der gleichen Größenordnung wie die Prognose der Internationalen

Energieagentur (IEA 2026) für das Jahr 2030 liegt, nämlich 950 TWh. Es wird unterstellt, dass alle bereits begonnenen Bauvorhaben bis zum Jahr 2030 abgeschlossen sind und die IT-Installationen insgesamt eine gegenüber 2025 höhere Auslastung aufweisen. Als eine weitere Prognose werden alle angekündigten Projekte, die in der BNEF-Datenbank gelistet sind als realisiert angenommen. Diese Zahlen stellen eine Obergrenze des RZ-Ausbaus dar, da anzunehmen ist, dass nicht alle angekündigten Projekte bis 2030 auch wirklich realisiert werden.

Abbildung 3-1: Entwicklung des Stromverbrauchs von Rechenzentren von 2020 bis 2030



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER Emissionsfaktoren 2025

Die Energieverbräuche von Rechenzentren sind in Abbildung 3-1 in verschiedene Regionen eingeteilt. Die Länder USA, China, Japan und Indien, die beim weltweiten Energieverbrauch durch Rechenzentren weit vorne liegen, wurden separat dargestellt und die größeren geographischen Regionen, in denen diese Länder enthalten sind (Asien und Nordamerika) dann jeweils ohne diese Einzelländer dargestellt. Aus dem Asiatischen Kontinent wurden zusätzlich noch die Golfstaaten (GCC: Vereinigte Arabische Emirate, Saudi-Arabien, Katar, Oman, Bahrain, Kuwait) herausgerechnet, und diese separat dargestellt.

Die globale Entwicklung des Stromverbrauchs durch Rechenzentren zeigt, dass der Energiebedarf im Jahr 2020 noch bei 279 TWh lag und sich bis zum Jahr 2025 auf 485 TWh knapp verdoppelt hat (Faktor 1,7). Die Prognose bis zum Jahr 2030 mit dem Wert von 950 TWh stellt eine weitere Verdopplung in nur 5 Jahren dar (Faktor 2,0). Würden alle derzeit angekündigten Projekte realisiert werden, würde sich der Stromverbrauch auf 1.560 TWh erhöhen, was mehr als einer Verdreifachung des Wertes aus dem Jahr 2025 entsprechen würde (Faktor 3,2). Ein besonders schnelles und in der absoluten Zahl erhebliches Wachstum findet in den Vereinigten Staaten statt. Von 2020 mit einem Wert von 133 TWh bis zum Jahr 2025 mit einem Stromverbrauch von 247 TWh liegt das Wachstum noch im globalen Trend (Faktor 1,9). Von 2025 bis 2030, wenn der US-Stromverbrauch voraussichtlich 537 TWh erreichen wird, hat sich der Stromverbrauch mehr als verdoppelt (Faktor 2,2). Würden alle angekündigten US-Projekte realisiert, würde in den USA eine knappe Vervielfachung des Stromverbrauchs auf den Wert 890 TWh (Faktor 3,6) stattfinden.

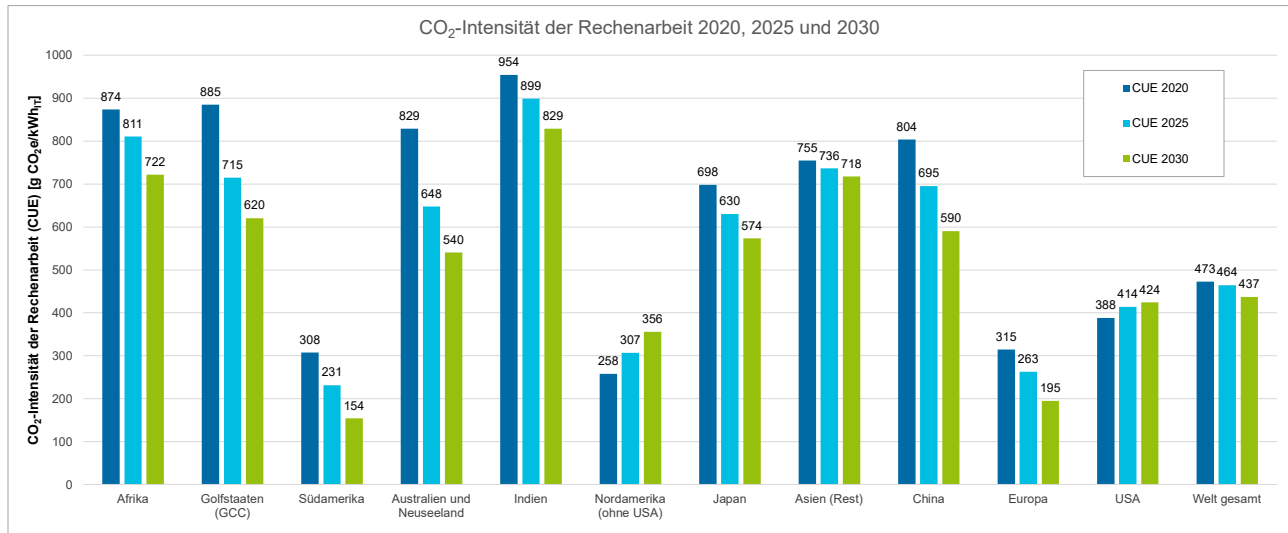
3.2 Entwicklung der CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE)

Der Zubau neuer Rechenzentrumskapazitäten erfolgt parallel zum weltweiten Ausbau erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung, was eine Reduktion der spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren zur Folge hat. Die absoluten Treibhausgasemissionen von Rechenzentren sollten vor diesem Hintergrund deshalb mit kleineren Steigerungsraten als deren Energieverbrauch ansteigen.

Die regionale Verteilung von Rechenzentren sorgt aber auch hier für Verschiebungen, die vom weltweiten Trend abweichen. In Regionen, in denen ein Zubau von Rechenzentren bevorzugt in solchen Gegenden stattfindet, in denen die Stromerzeugung überwiegend mit Kohle und Gas erfolgt, können die Emissionen sogar noch stärker wachsen als der Energieverbrauch. Dies ist in einigen Teilen Nordamerikas (u.a. Mexiko) der Fall, insbesondere aber in den USA. Von den insgesamt 17,5 GW IT-Anschlussleistung, die sich in den USA derzeit im Bau befinden, werden 7,5 GW in US-Bundesstaaten errichtet, deren CUE-Werte höher als der US-Durchschnitt liegt (insbesondere Texas, Georgia, Ohio, Indiana, Wisconsin, Missouri und Wyoming). Bestehende fossil betriebene Kraftwerke werden dort für den Betrieb von Rechenzentren länger und intensiver betrieben.

Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen werden analog zu Kapitel 2.4 die Emissionsfaktoren der regionalen Strommixe verwendet. Für die US-Bundesstaaten EPA (2025) und für den Rest der Welt Ember-Energy (2026). Für die Zukunftsprognose für das Jahr 2030 wurde der Trend der Emissionsfaktoren für den Rest der Welt der vergangenen 5 Jahre bis zum Jahr 2030 fortgesetzt. Für die US-Bundesstaaten wurden die Emissionsfaktoren dagegen konstant gehalten, da der Ausbau an erneuerbarer Energieerzeugung in den USA derzeit politisch blockiert wird. An einigen Standorten in den USA werden sogar neue fossile Kraftwerke zum Betrieb von Rechenzentren zugebaut. Nach Einschätzung der Internationalen Energieagentur (IEA 2026) befinden sich in den USA derzeit rund 80 GW an Erdgas-Kraftwerken für die Vor-Ort-Versorgung von Rechenzentren in der Bauphase. In einigen Versorgungsgebieten im Nordosten der USA, in denen der Ausbau an Rechenzentren besonders rasant ist, steigen dadurch bereits jetzt die Emissionsfaktoren (Open Energy Outlook 2025). Da solche Daten jedoch nicht für alle US-Bundesstaaten vorliegen, wurde nachfolgend mit gleichbleibenden spezifischen Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung in den US-Bundesstaaten gerechnet. Die Prognose der CUE-Werte und Treibhausgasemissionen für die USA stellt vor diesem Hintergrund eher eine zurückhaltende Abschätzung dar.

In Abbildung 3-2 wird zunächst die CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) dargestellt (siehe Kapitel 2.2.1), die beschreibt, mit welchem CO₂-Aufwand in der jeweiligen Region gerechnet wird und wie sich dieser Wert zwischen den Jahren 2020 und 2030 verändern wird.

Abbildung 3-2: Entwicklung der CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE)

Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Emissionsfaktoren 2025

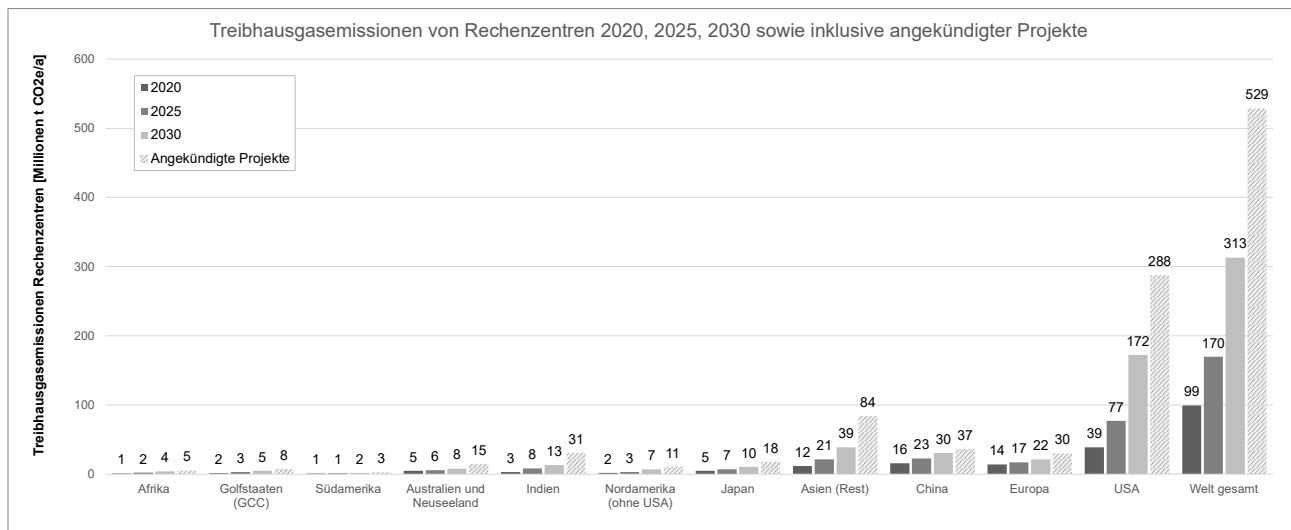
In fast allen Regionen sinkt die CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) entsprechend dem globalen Trend. In den drei größten Rechenzentrumsstandorten, USA, China und Europa verbessern sich die CUE-Werte in China und Europa. In China sinken die Werte von 804 g CO₂e/kWh_{IT} im Jahr 2020 über 695 g im Jahr 2025 auf 590 g im Jahr 2030. In Europa von 315 g CO₂e/kWh_{IT} im Jahr 2020 über 263 g im Jahr 2025 auf 195 g im Jahr 2030. In den USA dagegen steigen die spezifischen Treibhausgasemissionen zum Betrieb von Rechenzentren von 388 g CO₂e/kWh_{IT} im Jahr 2020 auf einen Wert von 414 im Jahr 2025 und 424 g CO₂e/kWh_{IT} im Jahr 2030. Im Jahr 2030 liegt der CO₂-Fußabdruck von Rechenarbeit in den USA mehr als doppelt so hoch wie der europäische Wert von 195 g CO₂e/kWh_{IT}. Bildlich gesprochen, wird in den USA dann für die gleiche Rechenaufgabe doppelt so viel CO₂ freigesetzt. Setzt sich der Trend des Zubaus neuer fossiler Kraftwerke in den USA fort, kann dieser CUE-Wert zukünftig sogar noch weiter ansteigen und die Rechenarbeit noch CO₂-intensiver werden lassen.

3.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren ergibt sich aus dem regionalen Energieverbrauch und den regionalen Emissionsfaktoren der Stromversorgung. Wie in Kapitel 3.2 dargestellt wird, werden die lokalen Emissionsfaktoren in den USA konstant gehalten, während in den übrigen Standorten der Trend der letzten 5 Jahre bis zum Jahr 2030 fortgesetzt wird.

Die Abbildung 3-3 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in den gewählten Regionen.

Abbildung 3-3: Entwicklung der Treibhausgasemissionen von Rechenzentren bis 2030



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER und EPA-Emissionsfaktoren

Weltweit sind die Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren von 2020 mit 99 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr (Mt CO₂e/a) bis zum Jahr 2025 um den Faktor 1,7 auf 170 Mt CO₂e/a angestiegen. In weiteren 5 Jahren bis zum Jahr 2030 werden die Emissionen auf 313 Mt CO₂e/a angestiegen sein, was einem Faktor von 1,8 entspricht. Werden alle angekündigten Projekte realisiert, steigen die weltweiten Emissionen aus Rechenzentren sogar bis 529 Mt CO₂e/a an, die 3,1-fache Menge des Jahres 2025. Ein besonders hohes Wachstum an Treibhausgasemissionen gibt es in den USA, wo die Emissionen von 77 Mt CO₂e/a im Jahr 2025 um den Faktor 2,2 auf 172 Mt CO₂e/a im Jahr 2030 ansteigen. Werden in den USA alle angekündigten Projekte realisiert, so steigen die Emissionen sogar auf 288 Mt CO₂e/a, was einem 3,7-fachen des Emissionswertes von 2025 entspricht.

4 Beiträge einzelner Unternehmen zu den Treibhausgasemissionen

Der BloombergNEF-Datensatz enthält auch die Namen der Unternehmen und Institutionen, die die insgesamt rund 6700 gelisteten Rechenzentren betreiben. Dabei handelt es sich sowohl um privatwirtschaftliche Unternehmen, aber auch um Universitäten, Forschungseinrichtung und staatliche Institutionen. Rund 1000 dieser Unternehmen betreiben ihre Rechenzentren zusammen mit eigenen Server- und Storage-Systemen und sind demnach sowohl für die Gebäudetechnik als auch für die IT-Technik verantwortlich („Unternehmensrechenzentren“). Die restlichen rund 1300 Unternehmen sind sogenannte Co-Location-Anbieter, die die Rechenzentrumsgebäude mit der zugehörigen Gebäudetechnik zur Verfügung stellen, in denen IT-Betreiber als Kunden ihre eigene Informationstechnik aufstellen können.

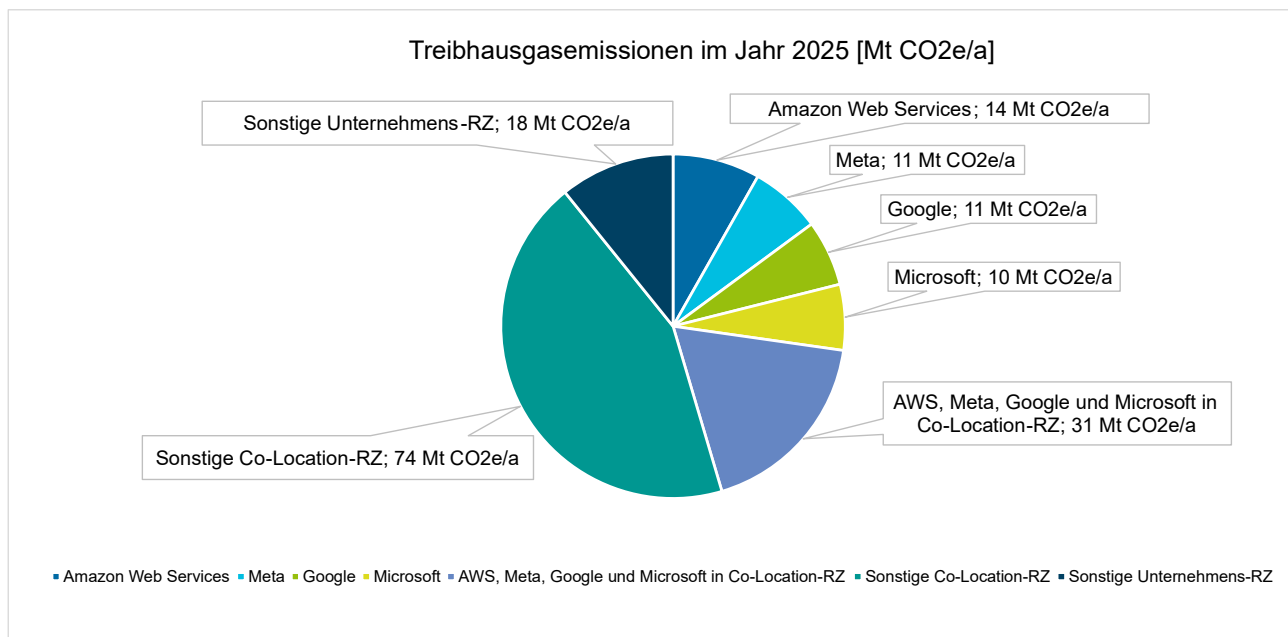
Die Auswertung der Beiträge zu den globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2025 einzelner Unternehmen macht jedoch deutlich, dass die Größe der Unternehmen sehr unterschiedlich ist. Die Hälfte aller Treibhausgasemissionen von insgesamt 170 Mt CO₂e/a wird von nur 16 verschiedenen Rechenzentrumsbetreibern verursacht: Amazon Web Services (AWS) (8,2%), Meta (6,7%), Google (6,2%), Microsoft (6,2%), Digital Realty (3,0%), Equinix (2,8%), NTT Global Data Centers (2,7%), GDS Holdings (2,6%), QTS Datacenters (2,3%), ChinData Group (1,7%), CyrusOne (1,4%),

Vantage Data Centers (1,3%), AirTrunk (1,3%), STACK Infrastructure (1,0%), Compass Datacenters (1,0%) und China Unicom (1%).

Die ersten vier davon (AWS, Meta, Google, Microsoft) sind Betreiber eigener IT-Infrastruktur, betreiben also Unternehmensrechenzentren. Die übrigen 12 sind dagegen Betreiber von Co-Location-Rechenzentren und bieten Rechenzentrumsfläche für Kunden an. Branchenschätzungen gehen davon aus, dass die großen Tech-Firmen, die sogenannten Hyperscaler, nur 60% ihrer IT-Kapazitäten selbst betreiben und 40% ihrer Server- und Storage-Systeme in Co-Location-Rechenzentren auslagern (Synergy Research Group 2025). Dies bedeutet, dass die vier großen Hyperscaler, zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen in eigenen Unternehmensrechenzentren, auch die Emissionen durch die gemieteten Co-Location-Rechenzentren verursachen. Zusätzlich zu den 46 Mt CO₂e/a in eigenen Rechenzentren sind AWS, Meta, Google und Microsoft auch für 31 Mt CO₂e/a in Co-Location-Rechenzentrum verantwortlich. Von den insgesamt 170 Mt CO₂e/a im Jahr 2025 sind die vier großen Hyperscaler für 77 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr und damit für 45% der globalen Emissionen aus Rechenzentren verantwortlich.

Die nachfolgende Abbildung 4-1 illustriert diesen Zusammenhang.

Abbildung 4-1: Anteile der 4 großen Hyperscaler an den Gesamtemissionen



Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER Emissionsfaktoren 2025

Die 10 Unternehmen mit den größten Treibhausgasemissionen in ihren unternehmenseigenen Rechenzentren und IT-Infrastrukturen sind in Tabelle 4-1 aufgelistet. Zusammen verursachen diese Top-10 52 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2025 (Mt CO₂e/a). Von den insgesamt 65 Mt CO₂e/a, die alle Unternehmensrechenzentren zusammen verursachen, sind dies rund 81%.

Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Energieverbrauch wurden die Emissionsfaktoren der regionalen, öffentlichen Stromversorgung zugrunde gelegt. Dabei wurde nicht berücksichtigt, ob Rechenzentren eigene Energieerzeugungsanlagen betreiben. Diese Daten sind nicht flächendeckend für alle Rechenzentren verfügbar. Zumindest für xAI ist bekannt, dass es

mit eigenen Erdgaskraftwerken am Standort versorgt wird (siehe Kapitel 2.2.4). Der CUE-Wert verschlechtert sich in diesem Fall auf 727 g CO₂e/kWh_{IT}. Dieser Einzelfall ist in der Abbildung in Klammern dargestellt. Auch für die anderen Betreiber muss davon ausgegangen werden, dass deren CUE-Werte und absoluten Treibhausgasemissionen im Falle des Betriebs eigener Gasturbinen oder anderer fossil betriebener Kraftwerke höher liegen. In der nachfolgenden Tabelle 4-1 wurden diese Einzelfälle nicht berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Top-10 Unternehmensrechenzentren nach Treibhausgasemissionen 2025

Nr.	Unternehmen mit eigenen Rechenzentren	Mittlerer CUE [g CO ₂ e/kWh _{IT}]	Energie- verbrauch [TWh/a]	Treibhausgas- emissionen [Mt CO ₂ e/a]
1	Amazon Web Services	432	44	14
2	Meta	469	32	11
3	Google	440	32	11
4	Microsoft	430	33	10
5	Tencent	714	2,5	1,3
6	Alibaba	688	2,3	1,2
7	IREN	408	3,9	1,2
8	xAI (eigene Gasturbinen)	408 (727)	3,4	1,0 (1,8)
9	Apple	348	2,4	0,6
10	AboutBit	904	0,9	0,6
	Sonstige Unternehmensrechenzentren	449	37	12
	Summe aller Unternehmensrechenzentren	462	193	65

Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER Emissionsfaktoren 2025

Die 10 größten Emittenten bei den Co-Location-Rechenzentren sind in Tabelle 4-2 aufgelistet. Die Top-10 Co-Location-Rechenzentren haben Gesamtemissionen von rund 35 Mt CO₂e/a und verursachen damit 33% der Gesamtemissionen aller Co-Location-Rechenzentren im Jahr 2025. Die mittlere CO₂-Intensität der Rechenarbeit (CUE) hat eine Bandbreite von 329 bis 714 und unterscheidet sich teilweise um einen Faktor von mehr als zwei. Es macht also einen großen Unterschied für die Treibhausgasemissionen, bei welchem Co-Location-Anbieter die eigene Informationstechnik betrieben wird.

Tabelle 4-2: Top-10 Co-Location-Rechenzentren nach Treibhausgasemissionen 2025

Nr.	Betreiber von Co-Location-Rechenzentren	Mittlerer CUE [g CO ₂ e/kWh _{IT}]	Energie- verbrauch [TWh/a]	Treibhausgas- emissionen [Mt CO ₂ e/a]
1	Digital Realty	329	21	5,2
2	Equinix	419	15	4,7
3	NTT Global Data Centers	524	12	4,6
4	GDS Holdings	713	8	4,4
5	QTS Datacenters	380	14	4,0
6	ChinData Group	714	6	2,9
7	CyrusOne	375	9	2,4
8	Vantage Data Centers	366	8	2,3

Nr.	Betreiber von Co-Location-Rechenzentren	Mittlerer CUE [g CO ₂ e/kWh _{IT}]	Energie- verbrauch [TWh/a]	Treibhausgas- emissionen [Mt CO ₂ e/a]
9	AirTrunk	624	4	2,3
10	STACK Infrastructure	331	7	1,8
	Sonstige Co-Location-Rechenzentren	508	187	71
	Summe aller Co-Location-Rechenzentren	485	292	105

Quelle: Öko-Institut, Auswertung der BloombergNEF Datenbank kombiniert mit EMBER Emissionsfaktoren 2025

5 Möglichkeiten zur Verringerung der Treibhausgasemissionen

Die Menge der Treibhausgasemissionen durch Rechenzentren ist erheblich. Im Jahr 2025 waren es mindestens 170 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente. Fünf Jahre später im Jahr 2030 werden es voraussichtlich mindestens 313 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente sein. Sofern alle derzeit angekündigten Projekte realisiert werden, steigen die weltweiten Emissionen sogar auf 529 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente.

Nachfolgend zeigen wir verschiedene Möglichkeiten auf, wie die von Rechenzentren verursachten Emissionen reduziert werden können.

Suffizienz

Eine wirksame Minderungsstrategie besteht in der Begrenzung des Rechenleistungsbedarfs. Dies beginnt mit der Festlegung der tatsächlich erforderlichen Digitalisierungsbedarfes, statt, wie aktuell des grenzenlosen Ausbaus. Eine Suffizienzstrategie umfasst sowohl den Verzicht auf unnötige digitale Anwendungen als auch eine Obergrenze für Rechenzentrumskapazitäten. Rebound-Effekte werden damit vermieden. Staaten haben beispielsweise die Möglichkeit, Werbung stärker zu besteuern und süchtig machende Dienste einzudämmen. Die vier größten Hyperscaler verantworten 45% der Rechenzentrumsemissionen (siehe Abbildung 4-1) und sind starken Wachstums- und Renditeerwartungen ausgesetzt. Maßnahmen vom Kartellrecht bis zur Vergesellschaftung können dieses Wachstum begrenzen und klimapolitische Wirkung entfalten.

Effizienz

Die Verbesserung der Effizienz zielt auf eine Verringerung des Energiebedarfs je Rechenoperation. Relevante Ansatzpunkte sind die Optimierung von Software und Algorithmen sowie bessere Auslastung und insgesamt energieeffizientere Hardware.

Reduzierung der Verluste der Gebäudetechnik

Minimierung technischer Nebenverbräuche, insbesondere für Kühlung, Lüftung und Stromwandlung. Dies spiegelt sich in einem verbesserten PUE-Wert wider. Der Einsatz verdunstungsbasierter Kühlung ist dabei nicht als nachhaltige Alternative zu bewerten, da er zu einem steigenden Wasserverbrauch führt.

CO₂-ärmerer Strommix

Die Standortwahl eines Rechenzentrums beeinflusst die Treibhausgasemissionen maßgeblich über den jeweiligen Emissionsfaktor des Strommixes. Der Betrieb in Ländern oder Regionen mit einem hohen Anteil erneuerbarer Energien und entsprechend geringeren spezifischen Emissionen kann die betriebsbedingten CO₂-Emissionen deutlich senken. Kunden in Co-Location-Rechenzentren haben die Möglichkeit, bewusst CO₂-ärmere Anbieter zu wählen.

Eigenerzeugung oder physikalisch verbundener Stromeinkauf

Die Stromerzeugung mit erneuerbaren Energien, die eine physikalische Verbindung zum Rechenzentrum aufweist, ist ebenfalls als emissionsmindernd zu beurteilen. Dies kann über Eigenerzeugungsanlagen, etwa eigene Photovoltaik oder Investitionen in Windkraftanlagen erfolgen, oder über physikalisch verbundenen Strombezug eines Dritten. Entscheidend ist, dass Rechenzentren ihren Energiebedarf nicht durch bestehende, sondern durch zusätzliche erneuerbare Erzeugungsanlagen decken, die den Strom zeitgleich erzeugen, wie er verbraucht wird.

Auskopplung von Abwärme

Die Nutzung von Abwärme kann die Klimabilanz von Rechenzentren verbessern, wenn dadurch fossile Wärmeerzeugung ersetzt wird. Dies lässt sich über den CUE-Ansatz abbilden (auch wenn dies bislang in der Norm EN 50600-4-8 so noch nicht vorgesehen ist):

$$CUE = PUE \cdot (EF_{Strom} - ERF \cdot EF_{ersetzte\ fossile\ Wärme}) \text{ [g CO}_2\text{e/kWh}_{IT}]$$

Maßgeblich für die Emissionsminderung ist, in welchem Umfang nutzbare Wärme ausgekoppelt (ERF = Energy Reuse Factor) und welche fossile Referenzwärme dadurch tatsächlich substituiert wird. In der Kombination mit erneuerbar erzeugtem Strom und einer hohen Wärmeabgabe können Rechenzentren sogar klimapositiv betrieben werden, also einen CUE von kleiner als 0 erreichen.

Zwischenspeicherung von solarem Tagstrom und Windenergie

Die Zwischenspeicherung lokal erzeugten Solarstroms oder Windenergie in Batteriespeichern ermöglicht es, erneuerbaren Strom zeitlich flexibler für den Rechenzentrumsbetrieb zu nutzen. Dadurch kann der Anteil emissionsärmerer Eigenerzeugung am tatsächlichen Verbrauch erhöht werden, auch wenn das Rechenzentrum zu Zeiten von Dunkelflauten Energie verbraucht. Auf diese Weise lässt sich der effektive Emissionsfaktor der lokalen Stromversorgung weiter reduzieren.

Literaturverzeichnis

- Bauknecht, D.; Müller, B.; Gröger, J.; Heinemann, C.; Seebach, D. (2026): Data centres and flexibility, Study for 4E EDNA. Öko-Institut. Freiburg.
- BDEW (2024): Leitfaden Stromkennzeichnung, Umsetzungshilfe für Lieferanten von Strom zu den Bestimmungen über die Stromkennzeichnung (§ 42 Abs. 1 bis 8 EnWG i. V. m. § 79 EEG). Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/media/documents/241001_Leitfaden_Stromkennzeichnung_2023.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- BloombergNEF (2026): Data center projects database 1.4.0, This dataset contains the announced, live and under-construction IT capacities for data centers over time. Stand: 01.04.2026. Unter Mitarbeit von Arnold, L. und Daly, M. Bloomberg Finance L.P.
- Blum, K. R. (2025): CyrusOne und E.ON geben strategische Partnerschaft bekannt. eon (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/2025/cyrusone-und-eon-geben-strategische-partnerschaft-bekannt.html>, zuletzt aktualisiert am 02.06.2025, zuletzt geprüft am 26.05.2026.
- CNDCP (2025): Climate Neutral Data Centre pact, Self Regulatory Initiative. CNDCP (Hg.). Online verfügbar unter https://www.climateutraldatacentre.net/wp-content/uploads/2023/02/221213_Self-Regulatory-Initiative.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Ember-Energy (2026): Electricity Data Explorer - Carbon Emissions Intensity. Ember-Energy (Hg.). Online verfügbar unter https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/?data=co2_intensity, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Enerdata (2025): Globales Energie- und Klimastatistik-Jahrbuch 2025, Heimischer Stromverbrauch - Aufschlüsselung nach Ländern. Online verfügbar unter <https://energiestatistik.enerdata.net/strom/strom-heimisches-verbrauch-data.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- EPA (2025): eGRID Summary Tables 2023, United States Environmental Protection Agency. Online verfügbar unter <https://www.epa.gov/egrid/summary-data>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Gröger, J.; Behrens, F.; Gailhofer, P.; Hilbert, I. (2025): Umweltauswirkungen Künstlicher Intelligenz, Auswertung aktueller Trends und Erstellung einer Übersichtsstudie für Greenpeace e.V., Hamburg. Öko-Institut. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Report_KI_DEU.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Gröger, J.; Liu, R. (2021): Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Unter Mitarbeit von Stobbe, L.; Druschke, J. und Richter, N. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Icha, P.; Lauf, T. (2026): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2025. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.60810/openumwelt-8399>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- IEA (2026): Key Questions on Energy and AI. International Energy Agency. IEA (Hg.). Paris. Online verfügbar unter <https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Lauf, T.; Memmler, M.; Schneider, S. (2025): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger 2023, Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2023 (Climate Change, 03/2025). Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energietraeger-2023>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.
- Murzakulova, Z. (2025): Stand und Entwicklung des Rechenzentrumsstandorts Deutschland, Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Deutsche Energie-Agentur GmbH.

Online verfügbar unter

<https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/stand-und-entwicklung-des-rechenzentrumsstandorts-deutschland.pdf>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.

Open Energy Outlook (2025): Electricity Grid Impacts of Rising Demand from Data Centers and Cryptocurrency Mining Operations. Unter Mitarbeit von Wade, C.; Blackhurst, M.; DeCarolis, J.; Queiroz, A. de; Johnson, J. et al. Online verfügbar unter https://energy.cmu.edu/_files/documents/electricity-grid-impacts-of-rising-demand-from-data-centers-and-cryptocurrency-mining-operations.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2026.

Rozier, A. (2026): xAI now has 46 gas turbines without air permits. State officials are 'evaluating the situation'. In: *Mississippi Today* (11.05.2026), 2026. Online verfügbar unter <https://mississippitoday.org/2026/05/11/xai-46-gas-turbines-no-air-permits/>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.

Stobbe, L.; Druschke, J.; Aslan, Tuğana, Proske, Marina; Schulz, A.; Chisolm, C.; Arnold-Keifer, S.; Thesen, M.; Nissen, N. F. (2025): Strombedarf und Carbon Footprint der IKT in Deutschland 2010 - 2036. Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration. Berlin. Online verfügbar unter https://www.izm.fraunhofer.de/content/dam/izm/de/documents/Abteilungen/Environmental_Reliability_Engineering/Projekte/Green-ICT-@-FMD-IKT-Studie-Deutschland.pdf.

Synergy Research Group (2025): Hyperscale Operators to Account for 67% of all Data Center Capacity by 2031. Online verfügbar unter <https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-operators-to-account-for-67-of-all-data-center-capacity-by-2031>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.

van Osdol, N.; Hughes, T. (2026): Bring Your Own Power (BYOP), A deep dive on how data center developers plan to power their projects, www.keepcool.co. Online verfügbar unter <https://www.keepcool.co/p/bring-your-own-power-byop>, zuletzt geprüft am 22.05.2026.



Greenpeace
ist finanziell
unabhängig von
Politik und
Wirtschaft

Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace arbeitet international und kämpft mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Lebensgrundlagen. Unser Ziel ist es, Umweltzerstörung zu verhindern, Verhaltensweisen zu ändern und Lösungen durchzusetzen. Greenpeace ist überparteilich und völlig unabhängig von Politik und Wirtschaft. Rund 620.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt, der Völkerverständigung und des Friedens.

Wir holen uns das Internet zurück. Der Widerstand wächst. Weltweit.



► **Schließ dich uns an!**

Trag dich ein und sei Teil der Bewegung.
act.greenpeace.de/bigtech