Verschlechterung von Effizienzstandards bei Rechenzentren führen zu sehr großen zusätzlichen Energiebedarfen

Eine einfache Berechnung auf Basis der verfügbaren Daten und unter Annahme eines starken Wachstums zeigt: Bereits eine geringe Verschlechterung von Effizienzstandards bei Rechenzentren führt zu sehr großen zusätzlichen Strom- und Wärmebedarfen. Im Jahr 2045 entspricht der zusätzliche Energieverbrauch der Stromproduktion von 7 Gaskraftwerken. Die zusätzlich zu erzeugende Wärmemenge im Jahr 2045 entspricht der Wärme-Importmenge, die mit 11 großen LNG-Tankschiffen transportiert werden kann. Akkumuliert über die Jahre 2026 bis 2045 führen sowohl der Strommehrverbrauch als auch die ungenutzte Abwärme zu Mehrkosten in Milliardenhöhe.

Die Bundesregierung überarbeitet derzeit das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) und will zahlreiche Regelungen verändern. In diesem kurzen Kommentar betrachten wir die Auswirkungen einer vermeintlich geringen Änderung von Energieffizienz-Standards für Rechenzentren.

Stromverbrauch und Wärme-Recycling

Energetisch sind zur Bewertung von Rechenzentren zwei Kennzahlen entscheidend: Die **Energieverbrauchseffektivität** (engl. Power Usage Effectiveness, **PUE**) gibt den Quotienten aus Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums und reinem IT-Verbrauch des Rechenzentrums an. Der PUE gibt an, wie effizient die **Gebäudetechnik des Rechenzentrums** ist: Je näher der PUE am Wert 1,0 liegt, desto geringer ist der Zusatzverbrauch für Kühlung, Lüftung und andere Technik. Laut Firmenwebsites und den individuell veröffentlichten Werten aus dem deutschen Rechenzentrumsregister erreichen große Rechenzentrumsbetreiber Werte von 1,1 oder besser. Der PUE sagt nichts darüber aus, wie effizient das Rechenzentrum den eingesetzten Strom in Rechenleistung umwandelt oder wie nützlich die im Rechenzentrum ausgeführten Berechnungen sind. Dennoch hat sich der PUE als Effizienz-Indikator für Rechenzentren durchgesetzt, da er eine einfache Methode ist, um Gebäudetechnik zu identifizieren, die Energie verschwendet.

Energetisch sind Rechenzentren große Stromheizungen. Sie nehmen elektrische Energie auf und geben Wärme ab. Entscheidend für die Nachhaltigkeit von Rechenzentren ist, ob diese Wärme nutzlos an Oberflächengewässer oder in die Luft abgegeben wird – oder ob die Wärme sinnvoll weiterverwendet wird, für Gebäudewärme im Winter oder ganzjährig zur Warmwasserversorgung, den Betrieb von Schwimmbädern, für Gemüsezucht oder Lebensmittelverarbeitung. Bei sorgfältiger Planung lassen sich kommerzielle Rechenzentren so konstruieren, dass bis zu 70 Prozent ihrer Abwärme sinnvoll genutzt werden kann[1]. Der **Anteil der wiederverwendeten Abwärme wird Energy Reuse Factor (ERF)** genannt.

1 Y. Luo, J. Andresen, H. Clarke, et al., Applied Energy, September 2019, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919308827#s0010

PUE und ERF der deutschen Rechenzentren, aktuelle Vorgaben und Änderungsvorschläge

Verlässliche Werte für den tatsächlichen PUE der deutschen Rechenzentren sind derzeit kaum verfügbar. Zwar ist seit kurzem das nach §14 EnEfG vorgesehene Rechenzentrumsregister öffentlich zugänglich. Es enthält aber nur Daten von 485 Rechenzentren, bei geschätzt 2000 meldepflichtigen Rechenzentren. Insgesamt ist für 2025 nur ein Stromverbrauch von 7,2 Terawattstunden (TWh) im Register gemeldet. Dies entspricht lediglich einem Drittel der auch von der Bundesregierung verwendeten Schätzung des Borderstep Instituts von 21,3 TWh für den Gesamtstromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2025.

Basierend auf den gemeldeten Rechenzentren ergibt sich folgendes Bild:

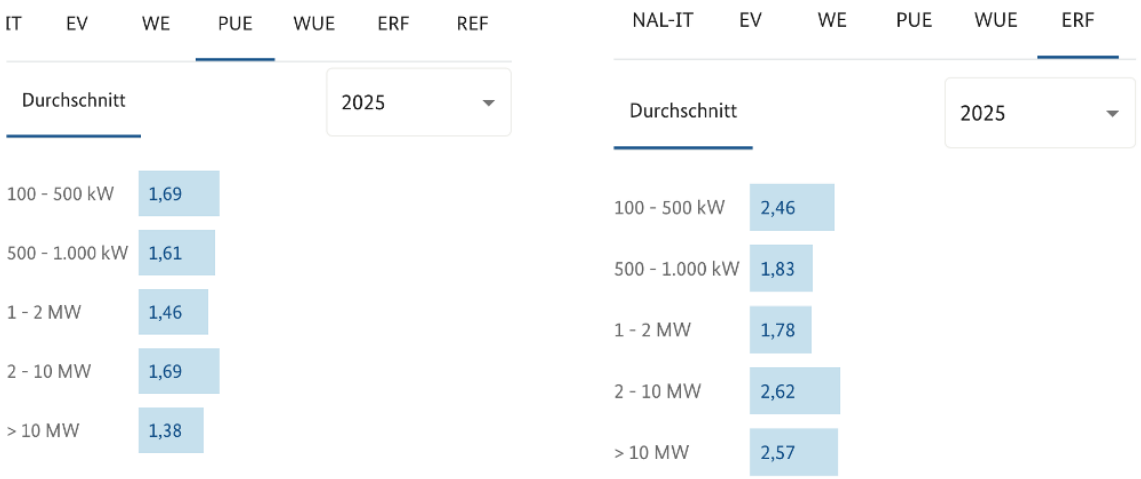

Abb. 1: Statistiken aus dem Rechenzentrumregister[2] für PUE (einheitenlos) bzw. ERF (in Prozentwerten ausgedrückt)

Die gemeldeten PUE-Werte rangieren zwischen 1,38 und 1,69 mit einer Tendenz zu geringeren PUE-Werten bei größeren Rechenzentren. Ein Vergleich der Daten aus 2023, 2024 und 2025 ergab keinen eindeutigen Trend. Lediglich in der Rechenzentrumsklasse mit einer Leistung zwischen 500 und 1.000 Kilowatt (kW) gab es 2023 deutlich höhere Werte, die aufgrund der geringen gemeldeten Anzahl an Rechenzentren aber möglicherweise auf fehlerhafte Meldungen hindeuten.

International ist zu beobachten, dass sich der durchschnittliche PUE von Rechenzentren seit vielen Jahren nicht mehr verbessert hat[3]. Für den ERF zeigt sich ebenfalls ein ernüchterndes Bild (siehe Abb. 1). Die größten Rechenzentren in Deutschland recyclen lediglich knapp drei Prozent der in ihnen erzeugten Wärme. Mehr als 97 Prozent der Prozesswärme wird nicht wiederverwendet.

Diese Werte kontrastieren deutlich mit den Vorgaben im aktuellen Energieeffizienzgesetz. Demnach sind für Rechenzentren-Neubauten ab dem 1. Juli dieses Jahres eine Energieverbrauchseffektivität (PUE) von 1,2 oder besser vorgeschrieben. Bestandsrechenzentren müssen erst ab 1. Juli 2027 einen PUE von 1,5 oder besser vorweisen, ab 2030 einen Wert von 1,3 oder besser. Der Anteil an wiederverwendeter Wärme soll lediglich für ab 1. Juli 2027 neu errichtete Rechenzentren bei zehn Prozent liegen und mit einem Zwischenschritt im folgenden Jahr ab 1. Juli 2028 20 Prozent betragen. Durch zahlreiche Ausnahmeregeln ist allerdings bereits in der aktuellen Regulierung davon auszugehen, dass ein ERF von 20 Prozent nicht dem energetisch gewichteten Mittelwert aller neuen Rechenzentren in Deutschland entsprechen wird.

2 https://rechenzentrumsregister.bund.de/de/statistic/

3 Uptime-Bericht 2025: Abb. 2, S. 7 https://datacenter.uptimeinstitute.com/rs/711-RIA-145/images/2025.Annual.Survey.Report.pdf?version=0

In der Debatte um die aktuelle EnEfG-Novelle wird nun diskutiert, ob der PUE für neue Rechenzentren auf 1,3 angehoben wird. Außerdem wird von manchen Branchenvertretern gefordert, dass nicht mehr der tatsächlich erreichte (operative) PUE zählen soll, sondern lediglich ein „Design-PUE", der lediglich unter günstigen Bedingungen auch in der Realität erreicht würde (aber nur in den allerseltensten Fällen wird). Eine Absenkung des Anteils an wiederverwendeter Wärme wird zwar nicht diskutiert, durch neue Ausnahmen sollen aber weitere Rechenzentren von den Vorgaben ausgenommen werden, sodass der tatsächliche durchschnittliche ERF aller Rechenzentren in Deutschland geringer ausfallen würde als mit einer strengeren Regulierung.

Energetische Bewertung der vorgeschlagenen Änderungen: PUE

Um die vorgeschlagenen Änderungen energetisch zu bewerten, betrachten wir der Einfachheit halber lediglich die Auswirkungen der Regulierung auf neue Rechenzentren und hier insbesondere die Änderungen am PUE (1,2 → 1,3) sowie an der Definition des PUE (operativ → Design). Außerdem betrachten wir die Auswirkungen umfangreicher Ausnahmeregelungen für die Pflicht zur Abwärmeabgabe.

Der Berechnung zugrunde liegt außerdem ein angenommenes Wachstum des Stromverbrauchs von Rechenzentren E_0 von ca. 20 TWh (2025) auf etwa 30 TWh (2030), 55 TWh (2040) und 80 TWh (2045) aus dem Borderstep-Bericht (2025) für das Bundeswirtschaftsministerium[4].

Bei einer Anhebung des PUE wird mehr Strom für dieselbe IT-Arbeit benötigt. Der Mehr-Stromverbrauch E_{mehr} bei einer Veränderung der Effizienzstandards für neue Rechenzentren von $PUE_{EnEfG2023} = 1{,}2$ auf $PUE_{Vorschlag} = 1{,}3$ bei gleichbleibendem IT-Energieverbrauch beträgt

$$E_{mehr} = E_0 * (PUE_{Vorschlag} / PUE_{EnEfG2023} - 1)$$

Hierbei nehmen wir vereinfachend an, dass die durchschnittlichen Werte dem Grenzwert entsprechen. Auch wenn bereits jetzt Werte gemeldet sind, die besser sind als der Grenzwert, erscheint diese als Annahme plausibel. Zum einen ist der erreichte PUE-Wert abhängig von der Betriebsführung. Die Ziele dürften sich damit an den zu erreichenden Grenzwerten ausrichten. Zum anderen gibt es lange Übergangsfristen (geltendes EnEfG: 2 Jahre, Entwurf: 4 Jahre; §11), sodass es neben unzulässigen Zielverfehlungen auch vorgesehene Fälle geben wird, in denen Rechenzentren Werte schlechter als die Grenzwerte aufweisen.

Bei einer Anhebung des operativen PUE-Werts von 1,2 auf 1,3 und einem Wachstum des Gesamtstromverbrauchs von 2 TWh (Borderstep-Bericht 2025 für die nächsten Jahre) ergibt sich für das Wachstum in nur einem Jahr bereits ein Mehrverbrauch von 2 TWh * (1,3/1,2 – 1) ~ 0,167 TWh. Bis 2045 steigert sich der Strom-Mehrverbrauch bei einem geänderten PUE für neue Rechenzentren von 1,2 auf 1,3 auf gesamt 5 TWh pro Jahr. Kumuliert über alle Jahre ab 2026 ist mit einem unnötigen Stromverbrauch in Höhe von ca. 42 TWh zu rechnen.

Sollte zusätzlich nicht mehr der operative PUE zur Geltung kommen, sondern lediglich ein Design-Wert, der in der Praxis nur selten erreicht wird, so erwarten wir kaum noch eine Wirkung durch das EnEfG. Der durchschnittliche PUE-Wert für große Rechenzentren (> 10 MW) liegt im Rechenzentrumsregister aktuell bei 1,38. Wie bereits erwähnt, hat sich der PUE in den letzten Jahren international kaum noch verbessert. Ohne weitere Regulierung kann der PUE insbesondere bei Colocation-Rechenzentren auch deutlich höhere Werte aufweisen, weil die Auslastung von der Kundenseite abhängt, die Kosten für den Stromverbrauch der Kühlung an die Kunden weitergegeben werden können und kaum Anreize bestehen, in anpassungsfähige Kühlsysteme zu investieren. Hyperscaler, selbst wenn nur ein Design-PUE als Grundlage gilt, werden

4 „Stand und Entwicklung des Rechenzentrumsstandorts Deutschland", Januar 2025, https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/stand-und-entwicklung-des-rechenzentrums-standorts-deutschland.html

dagegen operativ auch deutlich unter dem aktuellen Durchschnittswert 1,38 liegen können. Würde der Wert beim aktuellen Durchschnitt von 1,38 verharren, so würde sich der Strom-Mehrverbrauch bis 2045 sogar auf 9 TWh pro Jahr erhöhen. Kumuliert über alle Jahre ergäbe sich ein Mehrverbrauch von 75 TWh.

Bei einer durchschnittlichen Auslastung der Rechenzentren von 5000 Stunden pro Jahr[5] entspricht der Strom-Mehrverbrauch im Jahr 2045 einer zusätzlich zu erbringenden Leistung (Verlustleistung) in Höhe von 1000 MW (PUE-Erhöhung) bzw. 1800 MW (bei Wechsel der Bezugsgröße auf den Design-PUE). Zum Vergleich: Ein durchschnittliches Gasturbinenkraftwerk erbringt eine elektrische Leistung von etwa 250 MW. Im Jahr 2045 wären daher bei einer Verschlechterung der PUE-Standards 4 bzw. mehr als 7 zusätzliche Gaskraftwerke nötig. Selbst bei einem angenommenen sehr niedrigen Industriestrompreis von nur 5 ct/kWh (der Rechenzentren aktuell nicht zur Verfügung steht) entspräche der vermeidbare Stromverbrauch (75 TWh) bis 2045 einem Wert in Höhe von 3,75 Mrd. Euro.

Energetische Bewertung der vorgeschlagenen Änderungen: ERF

Bei einem aktuellen Energy Reuse Factor (ERF) von lediglich 2,3 Prozent ergibt sich ein großer Fortschritt durch den im aktuellen EnEfG vorgesehen ERF von 20 Prozent für ab 1. Juli 2028 errichtete Rechenzentren. Dieser Fortschritt wird in der Realität aber nur erreicht, wenn der Großteil der Rechenzentrumsleistung diese Abwärmeanteile auch wirklich zur Nutzung zur Verfügung stellt. Sollten großzügige Ausnahmeregelungen eine weitgehende Abwärmenutzung verhindern, wäre mit einem deutlich geringeren Fortschritt bzgl. der Energieeffizienz von Rechenzentren zu rechnen. Wir vergleichen hier beispielhaft die nutzbaren Abwärmemengen bei einem angenommenen durchschnittlichen ERF von 20 Prozent (alle Rechenzentren geben 1/5 ihrer Abwärme zur Nutzung ab) und dem aktuellen Wert von 2,3 Prozent. Bis 2045 addiert sich die im Falle großzügiger Ausnahmeregelungen nicht genutzte Abwärmemenge auf über 10 TWh pro Jahr. Kumuliert über alle Jahre wären gar fast 80 TWh Abwärme ungenutzt. Zum Vergleich: Ein durchschnittliches LNG-Tankschiff transportiert knapp 1 TWh Gas, aktuell (25.9.26, BNetzA) bei einem Preis von ca. 72 €/MWh hätten diese 80 LNG-Lieferungen einen Wert von ca. 5,76 Mrd. €.

Autoren:

Dr.-ing. Markus Fritz, Fraunhofer ISI
Nicolas Kawerau, Fraunhofer ISI
Dr. Julian Bothe, AlgorithmWatch
Dr. Leonard Burtscher, Umweltinstitut München, lb@umweltinstitut.org

Wir danken Max Schulze von Leitmotiv für die methodische und fachliche Unterstützung.

5 Vgl. Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2040/2045 (Version 2027), https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/2026-07/Szenariorahmen_zum_NEP_2040_2045_Version_2027__0.pdf