»GREEN ICT @ FMD« – Kompetenzzentrum für ökologisch nachhaltige IKT

Rechenzentren treiben den Strombedarf nach oben –

Bedeutung und Potenziale ökologisch nachhaltiger Mikroelektronik

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland

Die vorgestellte Arbeit ist Teil des Projekts »Green ICT @ FMD«, Ihrem Kompetenzzentrum für ökologisch nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Das Projekt wurde von der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland ins Leben gerufen und wird vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert.

Kompetenzzentrum »Green ICT @ FMD«

Fachliche Ansprechpersonen: Tugana Aslan, Lotta Adu

c/o Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2
10178 Berlin, Germany

Kontakt

www.greenict.de
www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de

Datum der Veröffentlichung: 24.02.2026

© Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik
Redaktion: Zoë Riethmüller

1. Summary

Künstliche Intelligenz (KI), Cloud-Dienste und datenintensive Anwendungen treiben den Ausbau digitaler Infrastrukturen weltweit massiv voran. Im Zentrum dieser Entwicklung stehen Rechenzentren. Sie bilden das Rückgrat der Digitalisierung und sind zugleich einer der größten Stromverbraucher in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT).

Eine aktuelle Studie des Fraunhofer IZM zum Strombedarf und Carbon Footprint der IKT in Deutschland, entstanden im Rahmen des Kompetenzzentrums Green ICT @ FMD, zeigt, dass der Energiebedarf von Rechenzentren in den kommenden Jahren weiter steigen wird. Selbst wenn Deutschland seine Klimaziele erreicht und den Ausbau erneuerbarer Energien im Strommix vorantreibt, lassen sich die Folgen eines wachsenden Energiebedarfs so allein nicht kompensieren. Die zunehmende Nutzung von KI-Anwendungen, der vermehrten Rechen- und Speichernachfrage sowie der verlangsamte Effizienzfortschritt klassischer Hardware treiben den Energiebedarf von Rechenzentren weiter nach oben.

Gleichzeitig ist ökologische Nachhaltigkeit, im Sinne höherer Energieeffizienz und eines geringeren Ressourceneinsatzes, eng mit ökonomischen Fragen verknüpft. Denn: Wer Energie und Ressourcen einspart, senkt langfristig Kosten. Die zentrale Chance liegt darin, ökologische und ökonomische Aspekte von Beginn an gemeinsam zu betrachten und so nachhaltige digitale Infrastrukturen wirtschaftlich tragfähig zu gestalten.

Key Takeaways des Artikels

Situation

- Digitalisierung, Cloud und KI erhöhen den Rechen- und Speicherbedarf stark
- Der Strombedarf der IKT steigt bis 2035 deutlich
- Rechenzentren gewinnen den größten Anteil am Strombedarf der IKT

Problemstellung

- Der Anteil von Rechenzentren am IKT-Strombedarf wächst stark von rund 30% im Jahr 2015 auf bis zu 55% im Jahr 2035
- Absolut steigt der Stromverbrauch von Rechenzentren dabei etwa von 14,1 TWh (2015) über 25,9 TWh (2025) auf prognostizierte 41,3 TWh im Jahr 2035
- Effizienzgewinne (z. B. bessere Kühlung oder niedrigere Power Usage Effectiveness (PUE) Werte) bei modernen Rechenzentren können helfen, stoßen jedoch bei weiterwachsender Last an ihre Grenzen
- Ökologische Nachhaltigkeit verliert angesichts von Investitionsdruck und geopolitischen Prioritäten politisch an Bedeutung

Entwicklung und Ausblick

- Klimaschutzziele für die IKT müssen mit wirtschaftspolitischen Maßnahmen verbunden werden, um eine tragfähige industrielle Basis für ökologisch nachhaltige IKT zu schaffen und gleichzeitig die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern
- Planung des technischen Fortschritts wird zentral. Simulationen und Bewertungen sind notwendig, um steigende Leistungsdichten sowie den Umbau von Kühl- und Stromversorgungsinfrastruktur effizient zu gestalten
- Um Emissionen zu reduzieren, gewinnen Lebensdauerverlängerung und Upgrades von Computertechnik an Bedeutung
- Der Ausbau einer flexiblen Fertigungsbasis in Deutschland und Europa ist entscheidend, um ökologische Anforderungen bei Design und Herstellung von IKT-Hardware zu berücksichtigen
- Neue Computer- und Speichertechnologien eröffnen langfristig Einsparpotentiale und können perspektivisch den Strombedarf senken und somit die Resilienz Deutschlands stärken

2. Rechenzentrum im Zentrum der digitalen Transformation

Die aktuelle Studie des Fraunhofer IZM prognostiziert, dass Rechenzentren in den kommenden Jahren zum wichtigsten Treiber des Strombedarfs innerhalb der IKT werden. Ihr Anteil an der gesamten IKT steigt demnach von rund 30 Prozent im Jahr 2015 auf über 50 Prozent im Jahr 2035, und das trotz Effizienzgewinnen bei Hardware und Betrieb. Zwar konnten Effizienzsteigerungen in der Vergangenheit den Energiebedarf teilweise auffangen, doch dieser Effekt schwächt sich zunehmend ab. Der technologische Fortschritt klassischer Prozessorarchitekturen verlangsamt sich, während KI-Anwendungen besonders leistungs- und energieintensive Hardware erfordern.

Effizienz allein reicht nicht mehr aus
Eine aktuelle Studie, die in der Fachzeitschrift iScience erschienen ist und an der auch Expert:innen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) beteiligt waren, zeigt jedoch: Selbst unter optimistischem Effizienzzugewinn steigen sowohl der Energieverbrauch als auch die Treibhausgasemissionen weiter an, weil der Gesamtbedarf an Rechenleistung stark wächst. Hinzu kommt, dass sich der Carbon Footprint von Rechenzentren nicht allein über den Stromverbrauch im Betrieb bewerten lässt. Auch Scope-3-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten, insbesondere aus der Herstellung der IT-Hardware, spielen eine wesentliche Rolle. Diese »indirekten Emissionen« gewinnen zunehmend an Bedeutung und lassen sich nicht allein durch den Bezug erneuerbarer Energien reduzieren.

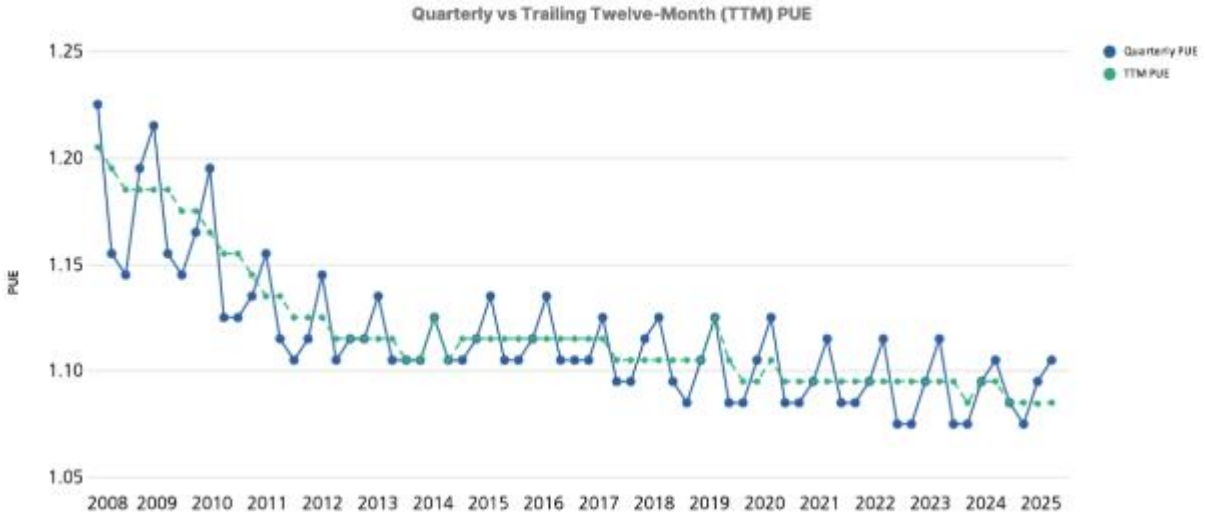

Abbildung 1: Power Usage effectiveness – Google Data Centers. Quelle: Google 2026.

3. Drei mögliche Entwicklungspfade für den Carbon Footprint der IKT

Wie sich der ökologische Fußabdruck der IKT in den kommenden Jahren entwickeln wird, hängt entscheidend davon ab, wie sich der deutsche Strommix verändert. In der zuvor erwähnten Studie des Fraunhofer IZM werden hierfür drei Szenarien betrachtet, die unterschiedliche Entwicklungen der Stromerzeugung ab dem Jahr 2025 abbilden[1].

Szenario 1: Stagnierende Entwicklung des Strommixes
Im ersten Szenario geht die Studie davon aus, dass sich der deutsche Strommix ab 2025 nur noch langsam in Richtung ökologischer Nachhaltigkeit entwickelt. Denkbar wäre beispielsweise ein stark steigender Strombedarf, etwa durch die Elektrifizierung von Industrie und Wärme, während der Ausbau erneuerbarer Energien nicht

[1] Die Emissionen aus der Herstellung von Hardware bleiben modellbedingt konstant, da derzeit keine belastbare Datenbasis für alternative Entwicklungspfade vorliegt.

schnell genug voranschreitet, um diesen vollständig zu decken. Ein Teil des zusätzlichen Stroms würde weiterhin aus fossilen Quellen stammen.

In diesem Fall würde der kombinierte Carbon Footprint aus Herstellung und Nutzung der IKT deutlich ansteigen. Ausgehend von rund 28 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten im Jahr 2024 würde der Wert bis 2035 auf etwa 35,9 Millionen Tonnen steigen. Das entspricht einer Zunahme von rund 30 Prozent. Rechenzentren spielen dabei eine zentrale Rolle, da ihr Strombedarf besonders stark zunimmt.

Szenario 2: Erreichen der deutschen Klimaschutzziele
Das zweite Szenario nimmt eine erfolgreiche Energiewende und das Erreichen der politisch gesetzten Klimaschutzziele in Deutschland bis 2030 als grundlegende Anlage. Der steigende Strombedarf der IKT wird hier durch einen wachsenden Anteil erneuerbarer Energien im Strommix ausgeglichen.

In diesem Szenario würde sich der Carbon Footprint zunächst stabilisieren und ab 2030 sinken. Bis 2035 würde er sich um etwa 10 Prozent reduzieren. Die Autor:innen bewerten dieses Szenario als realistisch, machen jedoch deutlich, dass auch hier der absolute Strombedarf hoch bleibt. Der Rückgang der Emissionen wäre hier vor allem auf den sauberen Strommix zurückzuführen.

Szenario 3: Konsequent erneuerbarer Strommix
Das dritte Szenario geht von einem sehr ambitionierten Ausbau erneuerbarer Energien aus. Der Emissionsfaktor des Strommixes würde hierbei bis 2030 deutlich sinken und langfristig Werte von rund 0,100 kg CO_2e pro Kilowattstunde erreichen.

Unter diesen Annahmen könnte der Carbon Footprint der IKT von 28 Millionen Tonnen CO_2e im Jahr 2024 auf etwa 21,3 Millionen Tonnen im Jahr 2030 gesenkt werden. Das würde einer Reduktion von rund 24 Prozent entsprechen. Ab 2030 würde die Entwicklung jedoch stagnieren, da der weiterhin steigende Strombedarf von Rechenzentren die zusätzlichen Fortschritte im Strommix relativieren würde.

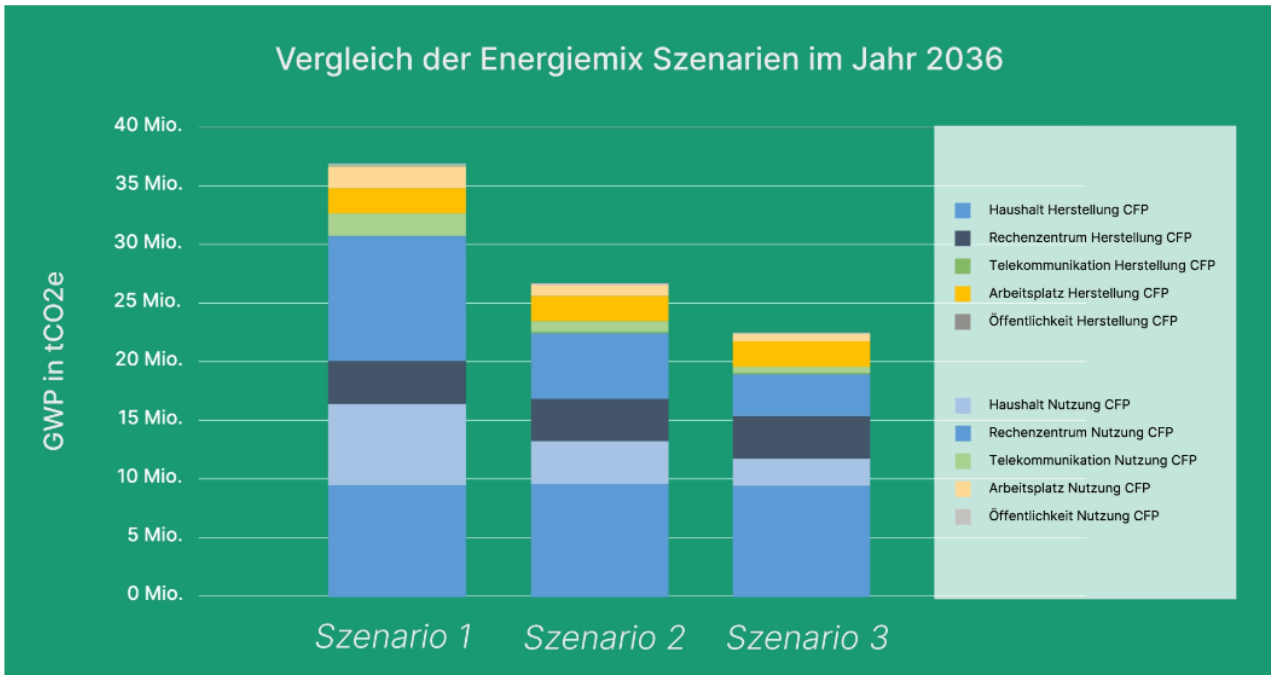

Abbildung 2: Vergleich der Energiemix Szenarien im Jahr 2026.

Die drei Szenarien machen deutlich, dass der Ausbau erneuerbarer Energien eine notwendige Voraussetzung für nachhaltige Digitalisierung ist. Sie zeigen jedoch auch, dass dies allein nicht hinreichend ist.

Doch was ist dann entscheidend, um den wachsenden Einfluss von Rechenzentren auf das Klima und den Energieverbrauch dauerhaft zu begrenzen? Neben grünem Strom kommt es darauf an, wie effizient Rechenleistung technisch bereitgestellt wird. Hier setzen innovative Ansätze aus Forschung und Entwicklung an.

4. Neue Hebel: Hardware, Software und System gemeinsam denken

Neue Ansätze zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit von Rechenzentren setzen zunehmend früher im System an. Entscheidend ist dabei nicht nur der Betrieb einzelner Komponenten, sondern wie Rechenleistung insgesamt technisch umgesetzt wird. Ein wichtiger Hebel liegt im Zusammenspiel von Hardware und Software. Wenn Rechenleistung, Speicher und Anwendungen besser aufeinander abgestimmt sind, lässt sich der Energiebedarf pro Rechenleistung deutlich senken. Angesichts steigender Rechenleistungen und Energiebedarfe gewinnen photonische Technologien, alternative Chiparchitekturen, sowie innovative Konzepte im Wärme- und Kühlmanagement für die nachhaltige Ausgestaltung zukünftiger Rechenzentren zunehmend an Bedeutung. Auch auf der Ebene einzelner Komponenten gibt es Ansatzpunkte. Eine effizientere Stromversorgung direkt am Bauteil kann Verluste reduzieren, die heute in großem Maßstabentstehen. Schon kleine Verbesserungen wirken sich aus, wenn sie in tausendfach eingesetzten Systemen angewandt werden. Solche technischen Optimierungen zielen darauf ab, Energie dort einzusparen, wo sie tatsächlich verbraucht wird. Ein Beispiel sind Point-of-Load Stromversorgungskonzepte. Dabei wird die elektrische Energie möglichst nah an den einzelnen Chips bereitgestellt, statt sie über längere Wege im System zu verteilen. Das reduziert Energieverluste, die sonst bei der Umwandlung und Verteilung von Strom entstehen können. Derartige Ansätze werden im Kompetenzzentrum Green ICT @ FMD gebündelt und gemeinsam mit Industrie und Start-ups weiterentwickelt, um ihre Wirkung unter realistischen Einsatzbedingungen zu testen und verständlich zu machen. Im Rahmen des Projekts CoreCooling, ein gemeinsames Projekt der XCCES GmbH und des Fraunhofer IZM, wurde beispielsweise untersucht, wie sich energieeffiziente Stromversorgung und Kühlung auf Systemebene kombinieren lassen, um den Energiebedarf von Rechenzentren dauerhaft zu senken. Die enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Anwendung ermöglicht es, technische Lösungen frühzeitig unter realistischen Bedingungen zu erproben und auch ihre Wirkung im Gesamtsystem zu bewerten. So entstehen praxisnahe Ansätze, die sich perspektivisch auch auf größere Infrastrukturen übertragen lassen.

Darüber hinaus rückt die Lebensdauer von IT-Hardware stärker in den Fokus. Längere Einsatzdauer, gezielte Upgrades und Refurbishment von Komponenten können den Bedarf an Neuproduktion verringern. Das ist insbesondere deshalb relevant, weil rund ein Drittel des Carbon Footprints von Rechenzentren bereits in der Herstellung der Hardware entsteht. Ökologische Nachhaltigkeit ergibt sich hier nicht aus einer einzelnen Maßnahme, sondern aus dem Zusammenspiel mehrerer technischer Stellschrauben entlang des gesamten Systems.

5. Von der Forschung in die industrielle Anwendung

Deutschland ist weltweit führend im Bereich der Grundlagenforschung. Beim Transfer von Forschungsergebnissen in die industrielle Anwendung besteht hingegen Nachholbedarf. Diesen Transfer in die Industrie zu beschleunigen ist daher eine wichtige Aufgabe für Politik, Forschung und Wirtschaft, um Deutschland langfristig als innovativen und wettbewerbsfähigen Wirtschaftsstandort zu stärken. In einem gemeinsamen Gastbeitrag in der F.A.Z. haben kürzlich Holger Hanselka, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, und Peter Leibinger, BDI-Präsident, die zentrale Bedeutung von einem schnelleren Transfer von Forschungsergebnissen für die Innovationsfähigkeit Deutschlands betont: Nur wenn es gelinge, gute Ideen in wirtschaftlich erfolgreiche Geschäftsmodelle zu übersetzen, könne Deutschland dauerhaft seine Innovationskraft sichern. Wenn Skalierung erst beginnt, wenn Technologien ausgereift sind, drohen Deutschland und Europa Zeit, Marktanteile und Resilienz einzubüßen. Entscheidend sind daher frühe Industrialisierungs-Checks. Es braucht realistische Kosten- und Lieferkettenannahmen, robuste Produktionspfade und klare Kriterien, wann eine Neuentwicklung marktreife erlangt hat. Transfer heißt in diesem Sinne nicht nur Technologietransfer, sondern auch schnellere Validierung, schnellere Standardisierung und schnellere Integration in bestehende IT-Stacks.
Genau hier setzt Green ICT @ FMD als Transferplattform an. Statt einzelne Bausteine isoliert zu optimieren, werden Lösungen systemisch entlang von Energiebedarf, Ressourcenverbrauch und CO_2-Fußabdruck über den Lebenszyklus hinweg bewertet. Ein zentraler Hebel sind Green ICT Space & Validierungsprojekte, in denen Unternehmen, KMU und Start-ups Technologien unter praxisnahen Randbedingungen testen und bis zur Serienreife weiterentwickeln können. So wird aus einer guten Idee schneller eine Lösung, die im Alltag funktioniert und dem Markt die notwendigen Innovationen liefert. Was im Labor Energie spart, muss sich auch im echten Betrieb von Rechenzentren bewähren und bezahlbar sein. Green ICT @ FMD schafft damit die Brücke zwischen Forschung und Anwendung, die immer wieder aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft gefördert wird. Es gilt, den Transfer zu beschleunigen, die Wirkung zu messen und Skalierung zu ermöglichen.

6. Ökologische Nachhaltigkeit als Voraussetzung für Wachstum

Rechenzentren bilden die Grundlage für Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und Wachstum. Gleichzeitig zeigt sich immer deutlicher, dass dieser Ausbau langfristig nur tragfähig ist, wenn ökologische und ökonomische Aspekte gemeinsam berücksichtigt werden.

Energie- und ressourceneffiziente Technologien senken nicht nur Emissionen, sondern wirken sich direkt auf die Wirtschaftlichkeit von Rechenzentren aus. Stromkosten, Kühlaufwand und Hardwareinvestitionen zählen zu den zentralen Kostentreibern im Betrieb. Wer den Energiebedarf pro Rechenleistung reduziert, senkt daher nicht nur den ökologischen Fußabdruck, sondern auch laufende Kosten und Investitionsrisiken. Ökologische Nachhaltigkeit wird damit zu einem messbaren wirtschaftlichen Vorteil. Insbesondere vor dem Hintergrund steigender Energiepreise und wachsender Rechenlasten gewinnt dieser Zusammenhang an Bedeutung. Effizientere Systeme und längere Nutzungsdauer schaffen Planungssicherheit und erhöhen die Resilienz digitaler Infrastrukturen. Ökologische Nachhaltigkeit im Sinne von Energieeffizienz ist damit kein Zusatz, sondern ein zentraler Bestandteil wirtschaftlich sinnvoller Digitalisierung und ein klarer Wettbewerbsfaktor.

7. Acknowledgment

Diese Arbeit ist Teil des Projekts Green ICT @ FMD und wird vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert (16ME0491K).

Quellen

1. https://www.izm.fraunhofer.de/de/abteilungen/environmental_reliabilityengineering/projekte/green-ict/studie-zum-strombedarf-und-carbon-footprint-der-ikt-in-deutschland.html
2. https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf
3. https://industrieanzeiger.industrie.de/news/ki-als-wachstumstreiber-von-deutschlands-rechenzentren/
4. https://photonicparts.com/xcces
5. https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-10/2210-Positionspapier-Nachhaltige-Rechenzentren.pdf
6. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2025/06/EDNA-EE-of-servers-FINAL.pdf
7. https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html
8. https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/systemintegration/energiekonzepte-fuer-die-industrie/nachhaltige-rechenzentren.html
9. https://www.izm.fraunhofer.de/
10. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/operations-blog/keeping-cool-in-the-data-age
11. https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-cost-of-compute-a-7-trillion-dollar-race-to-scale-data-centers
12. https://www.nature.com/articles/s41598-025-11048-0
13. https://www.researchgate.net/publication/228096229_Sustainability_and_ICT_-_An_overview_of_the_field
14. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890413004068
15. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004224028645
16. https://www.umweltbundesamt.at/oekoeffizienz-industrie40
17. https://datacenters.google/efficiency/