



## Rechenzentren: Herausforderung KI – Lösungen der Photonik

**Explodierende Datenmengen in allen Lebensbereichen steigern den Energiebedarf von Rechenzentren stetig und stellen eine erhebliche ökologische und ökonomische Belastung dar. Insbesondere die generative Künstliche Intelligenz (KI) benötigt enorme Rechenleistung. Wie kann die Datenübertragung verbessert und damit die Gesamtstromaufnahme von Rechenzentren gesenkt werden?**

### Rechenzentren in Deutschland und Europa – Garanten für digitale Souveränität

Im Sinne der digitalen Souveränität und der wirtschaftlichen Resilienz müssen sensible Daten und Anwendungen sicher und verlässlich gespeichert und verarbeitet werden. Rechtliche Standards hierfür sind das deutsche Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) und die europäische Datenschutzgrundverordnung (DSGVO).<sup>1</sup> Doch auch der Zugriff sollte flexibel und mit geringen Latenzen erfolgen sowie eine große Auslagerungsfläche für Speicher als auch neue Technologien bieten.

Alleine in Deutschland gibt es laut der German Datacenter Association fast 2.000 Rechenzentren (Colocation- und Enterprise-Rechenzentren >50 kW). Eine Besonderheit in der deutschen Rechenzentrumslandschaft stellt dabei das Rhein-Main-Gebiet um Frankfurt dar. In dieser Region liegt mit DE-CIX Europas größter und einer der weltgrößten Netzwerkknoten. Zwar sei es den Rechenzentrums Betreibern gelungen, die absoluten Strombedarfe von den Steigerungsraten des Datenaufkommens zu entkoppeln, aber Anwendungen, wie das Internet der Dinge (IoT), die Blockchain-Technologie, Streamingdienste, Social Networking und vor allem der Einzug von Anwendungen der generativen KI mit ihrem enormen Energiebedarf erfordern innovative technologische Lösungen zur Limitierung bzw. Reduktion des Energieverbrauchs bei gleichzeitiger Performanz-Steigerung. Immer noch entfallen die Hälfte der Betriebsausgaben von deutschen Rechenzentren auf die Energiekosten.

### Große KI-Modelle haben einen enormen Energiebedarf

Das Training des GPT-3 Modells (seit November 2022 öffentlich zugängliche Version von ChatGPT) benötigt mit 1.287 Megawattstunden so viel Strom, wie ein mittleres Atomkraftwerk in etwa einer Stunde produzieren kann. Inzwischen verursacht der Energiebedarf der gesamten Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) etwa 2-4 % der globalen Treibhausgasemissionen. Es wird geschätzt, dass die Energieaufnahme für Anwendungen der Künstlichen Intelligenz bis zum Jahr 2027 auf über 100 Terawattstunden (TWh) anwachsen könnte, wenn man bei den konventionellen Technologien bleibe.

Das Training großer KI-Modelle benötigt Rechenleistung in beispielloser Menge – so will NVIDIA bis Ende 2024 mehr als zwei Millionen KI-Rechenbeschleuniger des Typs H100 verkaufen. Laufen diese alle unter Vollast, benötigen sie mehr Strom als ein großer Atomreaktor liefern kann.

Neben dem Training erfordert natürlich auch der Betrieb von KI-Systemen Energie. So wird der durchschnittliche Energiebedarf einer Anfrage an ChatGPT auf drei bis neun Wattstunden geschätzt. Würden alle der täglich neun Milliarden Suchanfragen von KI beantwortet, wäre mit einer Verdreissigfachung des Energiebedarfs zu rechnen.<sup>2</sup>

Die Hyperscaler Microsoft und Google setzen aktuell<sup>3</sup> auf Atomkraft, um Rechenzentren in Zeiten energieintensiver KI zu betreiben. Google will ab 2030 Energie aus Small Modular Nuclear Reactors (SMRs) des Entwicklers Kairos Energie einkaufen. Bis 2035 soll die jährliche Leistung 500 Megawatt erreichen. Es sei noch offen, ob Strom aus den Reaktoren ins Netz gehen sollte oder ob sie direkt mit den Rechenzentren verbunden werden.

Perspektivisch ist zu erwarten, dass auch Innovationen im Bereich der Rechner-Hardware zu einem geringeren Energiebedarf bei gleichzeitig höherer Rechenleistung beitragen. So wird z. B. versucht, mit Ansätzen wie dem Neuromorphic Computing, die bislang verwendete konventionelle von-Neumann Rechnerarchitektur zu ersetzen. Allerdings werden diese Anstrengungen allein nicht ausreichen, um den „Energiehunger“ von KI-Anwendungen in Rechenzentren zu senken. Zusätzlich können optische und photonische Ansätze für IKT einen signifikanten Beitrag leisten.

## Photonische Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren<sup>4</sup>

Herkömmliche Rechenzentren sind bei der Datenübertragung in hohem Maße noch auf Kupferkabel angewiesen. Die Übertragung großer Datenmengen ist auf diese Weise nur eingeschränkt effizient und damit energieintensiv. Kupferkabel weisen eine Signaldämpfung auf langen Strecken auf, so dass Verstärker erforderlich sind, um das Signal zu übertragen und die Datenintegrität zu gewährleisten. Diese Verstärker für konventionelle Kupferkabel benötigen elektrische Energiezufuhr und tragen so zum Gesamtenergieverbrauch von Rechenzentren bei. Eine bisher vorliegende Alternative sind optische Fasertechniken, die sich bereits in der Installation befinden. Jedoch ist das Potential dieser Technik noch nicht vollständig erschlossen, denn neben der Übertragungstechnik kommen weitere moderne Technologien wie die Datenverschlüsselung im optischen Bereich, die optische Signalverarbeitung, aber auch quantenmechanische Effekte zur effizienteren Informationsverarbeitung sowie viele weitere hinzu. Die photonisch-elektronische Kopplung von integrierten Schaltkreisen zur energieeffizienten Informationsverarbeitung eröffnet hier sehr interessante Möglichkeiten, die zukünftig noch weiter zu erschließen sind.

Zukünftig werden Datenkanäle benötigt, die eine Datenübertragungsgeschwindigkeit von bis zu 400 Gbs (400 Gigabit pro Sekunde) über eine einzige Laserwellenlänge in einem einzigen Glasfaserkabel unterstützen. Um die Vorteile dieser Datenübertragungsrates ausschöpfen zu können, müssen die Silizium-CMOS-basierten Datenverarbeitungsschaltungen durch integrierte Silizium-Photonik-Schaltungen (PICs – Photonic Integrated Circuits) ergänzt werden.

Der Einsatz integrierter Photonik in Rechenzentren bietet folgende Vorteile:

- Das Potenzial einer geringeren Energieaufnahme – Lichtmodulation kann mit geringerem Energieaufwand zur Kommunikationstechnik verwendet werden.
- Modulation ins optische Spektrum erhöht die Datenkapazität auf der Informationsübertragungsleitung – die Konversion von elektrischen in optische Signale bietet eine Vielzahl von Vorteilen zur Steigerung der Datenübertragungsrates bei gleichzeitiger Energieeffizienzsteigerung.
- Geringere Wärmeabgabe aus Verlustleistung durch das digitale System – durch PICs gibt es den Nutzen einer geringeren Energieaufnahme. Damit kann das Kühlsystem deutlich optimiert und die damit verbundenen Verluste reduziert werden.

Integrierte Photonik hat bereits in Rechenzentren Einzug gehalten, insbesondere in Umgebungen für Hochleistungscomputer (HPC). PICs werden eingesetzt, um Server, Speichergeräte und Netzwerkausrüstung miteinander zu verbinden. Es ist daher zu erwarten, dass photonische Verbindungen für Rechenzentren in naher Zukunft zum Industriestandard werden.

---

<sup>1</sup> German Datacenter Association. (2024). Data Center Impact Report Deutschland 2024.

<sup>2</sup> Je größer das KI-Modell, desto höher der Energiebedarf. Verfügbar unter: <https://www.it-daily.net/it-management/ki/je-groesser-das-ki-modell-desto-hoehler-der-energiebedarf> (letzter Zugriff: 15.10.24)

<sup>3</sup> Google orders small modular nuclear reactors for its data centres. Financial Times vom 14.10.24. Verfügbar unter: <https://www.ft.com/content/29eaf03f-4970-40da-ae7c-c8b3283069da>

<sup>4</sup> Data centers drowning in energy consumption crisis: is photonics the cure? (2024). Verfügbar unter: <https://photonicsreport.com/blog/integrated-photonics-and-data-centers-a-match-made-in-heaven/> (letzter Zugriff: 15.10.24)

**Dr. Damian Dudek & Dr. Matthias Wirth**

VDE Verband der Elektrotechnik  
Elektronik Informationstechnik e.V.  
Merianstraße 28  
63069 Offenbach am Main  
Tel. +49 69 6308-360  
damian.dudek@vde.com  
matthias.wirth@vde.com