

CO<sub>2</sub>

iit-kompakt 09 ■ Aykut Baki, Carolin Klinger

## Grüne(re) Rechenzentren: mehr Leistung statt mehr Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>

Hochperformante Rechenzentren sind der zentrale Bestandteil einer digitalen Infrastruktur: Sie bieten wirksame Möglichkeiten für komplexe Berechnungen in Wissenschaft, Technik, Gesellschaft, Medizin und vielen anderen Feldern. Auf dem Weg zu einer Ära der umweltfreundlicheren Rechenzentren ist das Gebot der Stunde, im Sinne von Nachhaltigkeit und Klimaneutralität Hochleistungssysteme zu konzipieren, die energieeffizient sind und weniger Wärme und CO<sub>2</sub> emittieren. Doch welche Faktoren sind die ausschlaggebenden Hebel? Wie können sie in den Rechenzentrumsbetrieb integriert werden? Und wie können entsprechende Leistungskennzahlen aussehen?

## Grüne(re) Rechenzentren: Maßnahmen für mehr Effizienz und Nachhaltigkeit

Der Energieverbrauch von Rechenzentren (RZ) steigt weltweit seit Jahren an; in Deutschland von 12 TWh auf 16 TWh im Zeitraum von 2015 bis 2020. Hauptgrund dafür ist, dass das Datenvolumen seit einigen Jahren deutlich schneller steigt als die Effizienzgewinne steigen, die in der Datenverarbeitung unter anderem durch Skalierung der Halbleitertechnologie entstehen (Moore's Law)<sup>1</sup>. Außerdem lag im Jahr 2021 der durchschnittliche Power-Usage-Effectiveness<sup>2</sup> (PUE)-Faktor bei 1,57 und zeigt im Vergleich zu den Vorjahren einen stagnierenden Wert auf. Somit trägt der Nicht-IT-Anteil des Rechenzentrumsbetriebs mit ca. 60 Prozent zum Gesamtenergieverbrauch bei. Hierzu zählt beispielsweise die Gewährleistung einer geeigneten IT-Kühlung.

Gleichzeitig ist es erklärtes Ziel der EU, europäische Rechenzentren und Kommunikationsnetze bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu betreiben. Neuartige Lösungsansätze für mehr Energie- und Ressourceneffizienz von Rechenzentren können daher einen großen Beitrag dazu leisten, die Klimaschutzziele – auch diejenigen der Bundesregierung – zu erreichen. Neben den genannten Aspekten Hardware und Gebäudetechnik steigt die

Zahl an Arbeiten in System- und Lastmanagement sowie effizienter skalierbarer Software (s. Abbildung 1). Diese Felder können ebenso maßgeblich dazu beitragen, im Rechenzentrum die Energieeffizienz zu steigern. Dies kann unter anderem dadurch gelingen, dass das Zusammenspiel zwischen Rechenlast und verfügbarer Energie aus regenerativen Quellen sowie deren Speicherung softwaregestützt optimiert wird. Es ist eine große Herausforderung, die vielseitigen Möglichkeiten Energie einzusparen, zusammenzubringen und das Rechenzentrum als möglichst klimaneutrales Ökosystem zu etablieren.

## Das Ökosystem Rechenzentrum – mögliche Wege zur nachhaltigen Umsetzung

Um das Nachhaltigkeits- und Effizienzpotenzial im Betrieb ausschöpfen zu können, muss das Rechenzentrum als geschlossenes Ökosystem betrachtet werden (s. Abbildung 2) und relevante Leistungskennzahlen (neben PUE) müssen eingebracht werden. In der Community der Betreiber von Rechenzentren – insbesondere der Hyperscaler – findet hierbei in der Ökobilanzierung und im Systemmanagement ein strukturelles Umdenken statt. Laufende Rechenarbeiten werden fortan immer öfter hinsichtlich ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen optimiert: Dies wird umgesetzt über einen

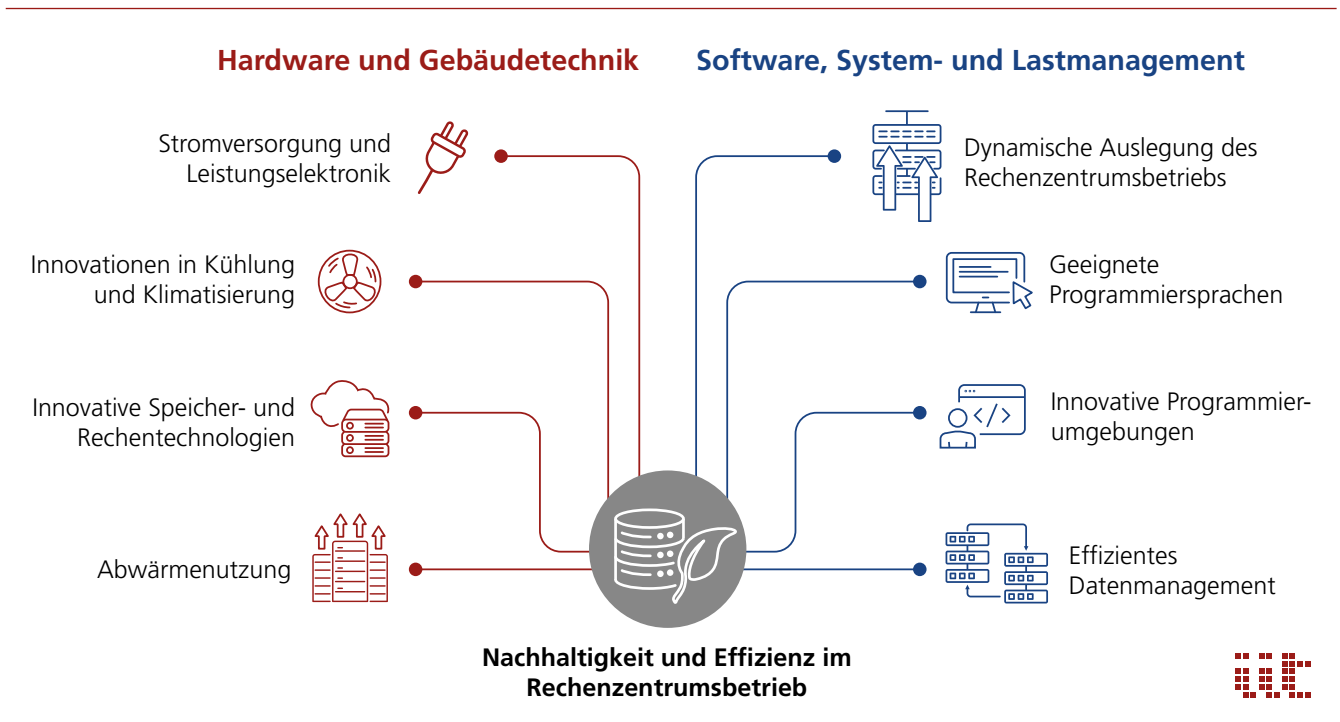


Abbildung 1: Maßnahmenübersicht zur Steigerung von Nachhaltigkeit und Effizienz im Rechenzentrumsbetrieb

<sup>1</sup> s. hierzu auch Kerbusch, Jochen; Spitzner, Eike-Christian (2023): Lang lebe das Moore'sche Gesetz: <https://www.iit-berlin.de/publikation/lang-lebe-das-mooresche-gesetz-zum-tod-des-halbleiter-pioniers-gordon-moore/>, zuletzt geprüft am 25.05.2023

<sup>2</sup> Der Power-Usage-Effectiveness (PUE)-Faktor ist eine technische Kennzahl, mit der sich die Energieeffizienz eines Rechenzentrums darstellen lässt. Der PUE-Wert setzt die insgesamt in einem Rechenzentrum verbrauchte Energie ins Verhältnis mit der Energieaufnahme der IT-Infrastruktur.

höheren Detailgrad im Monitoring der Energiebereitstellung und ein systematisch orchestriertes Zusammenspiel aus Verfügbarkeit regenerativer Energieträger, Energiespeicherkapazitäten sowie über ein automatisiertes softwaregestütztes System- und Lastmanagement. Das Ziel ist: less energy – more compute – less carbon (Deutsch: weniger Energie, mehr Rechenleistung, weniger CO<sub>2</sub>).

Technologieentwicklungen in der Gebäudetechnik, beispielsweise innovative Immersionskühlung oder verbesserte angepasste Leistungselektronik, und Innovationen in der IT-Hardware (Prozessoren, neuartige Speicher, Aufbau- und Verbindungstechnik etc.) können eine bessere Energieeffizienz des Rechenzentrums unterstützen.

Ein effektiver Pfad, um ein geschlossenes Ökosystem zu etablieren, ist, die Abwärme aus dem Rechenzentrum sinnvoll zu nutzen. Ein Anschluss des Rechenzentrums an Abnehmer der Wärme, beispielsweise über Integration in ein Neubaugebiet oder in industrielle Produktionsstätten, kann indirekt dazu beitragen, Treibhausgase einzusparen. Ein Vorzeigebispiel für ein Rechenzentrum mit negativer CO<sub>2</sub>-Bilanz im Rechenbetrieb ist das Rechenzentrum LUMI in Finnland, das im Rahmen des europäischen Programms „European High-Performance Computing Joint Undertaking“ (EuroHPC) gefördert wird. Dieses Rechenzentrum deckt seinen Energiebedarf vollständig über erneuerbare Energien, zeigt vergleichsweise sehr hohe Effizienz im IT-Betrieb und nutzt die Abwärme zur Versorgung der anliegenden Kleinstadt. Doch derartige Konzepte sind bis dato selten.

### Immer komplexere Hardware verlangt effiziente skalierbare Software

Effiziente und skalierbare Software ist eine weitere essentielle Komponente, um Rechenzeit und somit Energie beim Hochleistungscomputing (HPC) zu sparen. Weil die Hardware immer komplexer wird, steigen auch die Anforderungen an die Software. Durch Weiterentwicklung und Anpassung der Software an die Hardware, auf der sie ausgeführt wird, können beispielsweise die Vorteile von Parallelprozessoren und Vektoreinheiten oder heterogene Architekturen bestmöglich genutzt werden.

Sowohl eine geeignete Algorithmik als auch optimierte Programmierumgebungen und die Wahl der Programmiersprachen sowie codespezifischen Optimierung für spezielle Rechenanweisungen sind wesentliche Aspekte bei der Effizienz von Software. Von dieser Notwendigkeit sind unterschiedliche Einsatzfelder der Software betroffen, wie etwa Betriebssysteme, Datenmanagementsysteme oder Simulationssoftware.

Zur Veranschaulichung sind im Folgenden zwei Beispiele aus diesem Kontext genannt:

- Mit der steigenden Rechenkapazität steigt auch die Menge an produzierten Daten im HPC-Kontext. Diese Daten müssen effizient transportiert und gespeichert werden. Beispielsweise ist das Verschieben enormer Datenmengen sehr zeit- und energieaufwändig. Zusätzlich zu einer leistungstarken Hardware, können auch hier effiziente Algorithmen beim Datenmanagement viel Energie einsparen. Auch bei der Auswer-

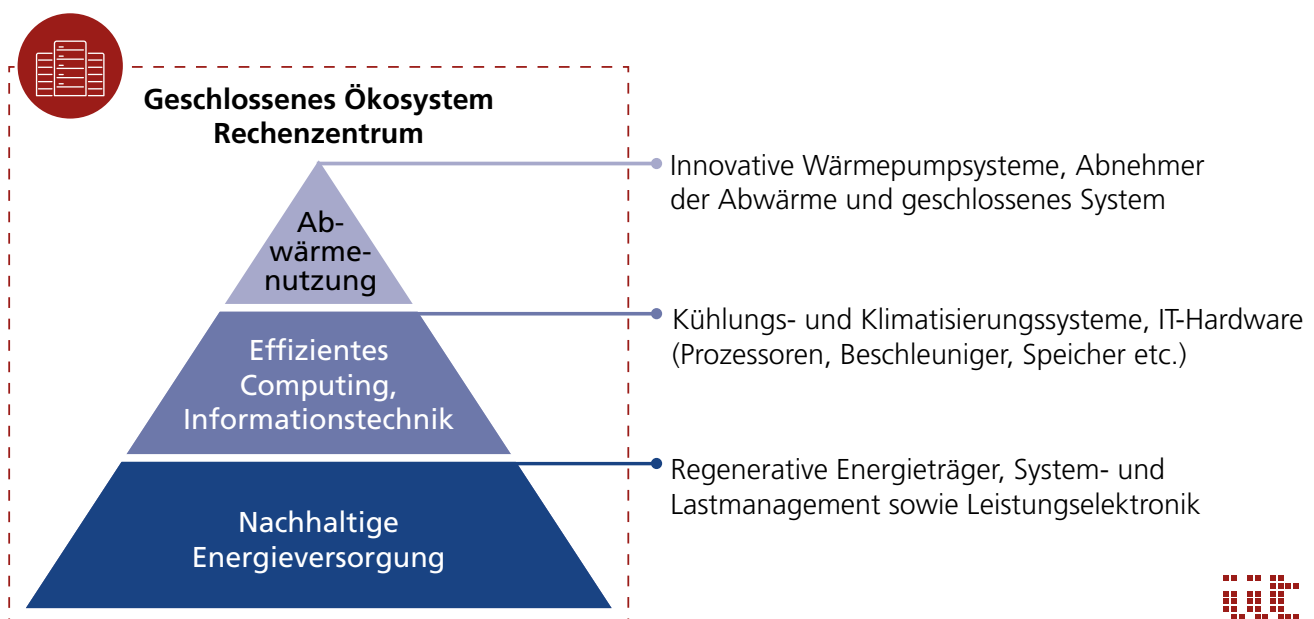


Abbildung 2: Übersicht zu „Ökosystem Rechenzentrum“



tung und Analyse dieser enormen Datenmengen muss Skalierbarkeit und auch Verarbeitungsfähigkeit mittels geeigneter Software gewährleistet sein.

- Ein weiteres gutes Beispiel im Kontext der Software sind imperative Sprachen wie Fortran und C/C++, mit denen Leistungssteigerungen schwierig sind. Imperative Sprachen sind nicht flexibel genug und die Compiler können nur das ausführen, was der Programmierer bereits vorgegeben hat. Leistungssteigerungen sind somit nicht möglich. Neue Compiler-Technologien und domänenspezifische Sprachen, die auf die Rechenbedürfnisse des Zielbereichs zugeschnitten sind, sind daher erforderlich. Diese bieten höhere Abstraktionsebenen und deklarative Semantik, die es ermöglichen, Algorithmen optimal auf verschiedenen Hardwareplattformen abzubilden.

### Ausblick

Seit der Einführung von Rechenzentren war der Fokus von Forschung und Entwicklung, die Systeme größer, schneller, komplexer und vielseitiger zu designen. In den vergangenen Jahren hat hingegen eine effiziente und nachhaltige Gestaltung der Rechenzentren eine zentrale Rolle aller Forschungstätigkeiten eingenommen – und es ist zu erwarten, dass dies noch wichtiger wird. Klar ist: Ohne deutliche und umfänglich orchestrierte Maßnahmen und Innovationen hierfür sind sämtliche Klimaschutz-

ziele nicht ansatzweise zu erreichen. In der Community von Rechenzentrumsbetreibern existiert bereits ein breites Know-how über die vielseitigen Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und Nachhaltigkeit sowohl in Hard- als auch Software. Die Umsetzung stellt allerdings die Herausforderung dar, da die größten Einsparungspotenziale an den interdisziplinären Schnittstellen liegen. Software kann nur dann effizient sein, wenn sie auf die genutzte Hardwareplattform hin optimiert wird.

Ein Rechenzentrum kann nur dann effizient betrieben werden, wenn eine enge Abstimmung zwischen Gebäudeinfrastruktur und IT geschaffen wird. Nachhaltigkeit im Rechenzentrumsbetrieb kann nur gewährleistet werden, wenn sie mit regenerativer Energien laufen. Nachhaltigkeit und Effizienz im Rechenzentrumsbetrieb benötigen folglich: interdisziplinäre Zusammenarbeit für Innovationen und detailliertes und zeitaufgelöstes Monitoring unter Verwendung von Leistungskennzahlen – ohne dabei in der Komplexität der Administration zu versinken.



**Herausgeber**

Prof. Dr. Volker Wittpahl  
Institut für Innovation und Technik (iit)  
in der  
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
Steinplatz 1, 10623 Berlin

**Zitation**

Baki, Aykut; Klinger, Carolin (2023):  
Grüne(re) Rechenzentren: mehr Leistung  
statt mehr Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>.  
iit-kompakt Nr. 09. Hrsg. vom Institut  
für Innovation und Technik (iit), Berlin.

**iit-kompakt Nr. 09**

September 2023  
Layout: VDI/VDE-IT  
Bildnachweis: Pcess609/AdobeStock  
(Titelseite); SMUX/AdobeStock (S. 2);  
anatolir/AdobeStock (S. 2)

**Autor:innen**

Dr. Aykut Baki  
E-Mail: aykut.baki@vdivde-it.de

Dr. Carolin Klinger  
E-Mail: carolin.klinger@vdivde-it.de