



# *Frontiers*

Die Technologietrends,  
**die die Zukunft**  
des Rechenzentrums prägen

2026

# Inhalt

**Kurzfassung** .....

**Die Technologietrends, die die  
Marktauswirkungen definieren** ..... **08**

Trend 1: Mehr Power für KI ..... 10

Trend 2: Verteilte KI ..... 12

Trend 3: Beschleunigte Energieautonomie ..... 14

Trend 4: Digitale Zwillinge für Design und Betrieb ..... 16

Trend 5: Adaptive, widerstandsfähige  
Flüssigkeitskühlung ..... 18



<b>Vorausschauend: erwartete zukünftige Trends</b> .....	<b>20</b>
Quanten- und neuromorpher Sprung nach vorne .....	22
Rechenzentren mit extremer Umgebung .....	22
Physische KI und Robotik .....	23
Auswirkungen von AGI auf Größe, Design und Betrieb.....	23
Innovation in Silizium und Rechenleistung .....	23

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>25</b>
<b>Referenzen</b> .....	<b>26</b>



“ Die Entwicklung von KI hängt von einer hoch integrierten digitalen Infrastruktur ab, die mit beispielloser Geschwindigkeit und Größe bereitgestellt wird. Die Rechenzentrumsbranche muss die Grenzen der Innovation immer weiter verschieben – Fortschritte von Netz zu Chip, von Chip zu Wärmewiederverwendung – und sich auf die nächste Welle von Durchbrüchen vorbereiten, von physischer KI zu Quanten-Computing.“

**Scott Armul**

Executive Vice President, Global Portfolio and Business Units, Vertiv



# Kurzfassung

## Die Rechenzentrumsbranche schreitet in eine neue Ära vor, die durch Innovation, Größe und Chancen definiert ist.

Nach zwei Jahrzehnten stetiger Entwicklung – als Cloud Computing Standort und Skalierung umgestaltete, aber die Kerninfrastruktur weitgehend konstant blieb – beschleunigt sich die nächste Transformationswelle mit beispielloser Geschwindigkeit.

Diese neue Ära, die auf KI und beschleunigter Rechenleistung basiert, definiert neu, wie digitale Infrastruktur entwickelt, bereitgestellt und skaliert wird. Das Tempo des Wandels ist unübertroffen und schafft neue Möglichkeiten, die Grenzen der Innovation zu überwinden.

**Vertiv Frontiers** bietet einen Blick in die Zukunft – eine Erkundung der Technologietrends und Makrokräfte, die die digitale Infrastruktur umgestalten. Es vereint das Know-How von Vertiv-Spezialisten in den Bereichen Stromversorgung, Wärmetechnik, IT-Systeme, vorgefertigte modulare Infrastruktur, fortschrittliche Services und KI-Infrastruktur und stärkt die Position von Vertiv als führender Experte, was die Zukunft kritischer digitaler Infrastrukturen angeht.

## Makrokräfte treiben Innovationen im Rechenzentrum voran

Die Rechenzentrumsbranche wird durch starke Makrokräfte, die durch den Anstieg von KI und beschleunigter Rechenleistung angetrieben werden, neu gestaltet. Diese Kräfte beeinflussen jede Ebene der digitalen Infrastruktur, die Technologien, Architekturen und Branchensegmente umfasst.

Im Mittelpunkt dieser Transformation steht die **extreme Verdichtung** – die definierende Makrokraft, deren Auswirkungen in der gesamten Rechenzentrums- und Technologielandschaft zu spüren sind. Die zusätzlichen makroökonomischen Kräfte stehen im Einklang mit diesem Wandel und repräsentieren weitreichende Veränderungen, die von der Chipebene bis zur Systemintegration und dem gesamten Anlagendesign reichen.

### Extreme Verdichtung

Die Verdichtung ist ein entscheidender Treiber moderner Rechenzentren, beschleunigt durch KI- und HPC-Workloads, die die Rack-Leistung weit über 25 kW und oft in den dreistelligen Bereich treiben. Systeme, die zuvor eine Datenhalle gefüllt haben, passen jetzt in eine Rack-ähnliche Einheit oder einen Pod. Diese Dichteerhöhung sorgt für zusätzliche Komplexität bei Leistung, Kühlung und Platz.

### Gigawatt-Skalierung in rasendem Tempo

Rechenzentren werden jetzt in einem beispiellosen Gigawatt-Maßstab gebaut. Werkseitig vorgefertigte, modulare Infrastrukturblocke – die Stromversorgung, Kühlung und IT kombinieren – sind so konzipiert, dass sie von einigen zehn Megawatt bis hin zu Multi-Gigawatt-Campussen skalierbar sind. Und all dies muss in kürzester Zeit geschehen, um den knappen Zeitvorgaben der Kapazitätsanforderungen im Zeitalter der KI gerecht zu werden.

### Rechenzentrum als Recheneinheit

Das Zeitalter der KI erfordert zunehmend, dass Rechenzentren als einheitliches System aufgebaut und betrieben werden. Die „Recheneinheit“ ist nicht mehr nur ein Chip, sondern das gesamte System. Stromversorgung, Kühlung und Rechenleistung müssen in eine einzige Architektur integriert werden – vom Rack über die Reihe bis zum Standort. Angebote auf Komponentenebene sind nicht mehr strategisch, und die steigende Leistungsdichte treibt den Bedarf an höherer Effizienz und engerer Integration voran.

### Silicon-Diversifizierung

Die Chips, die KI unterstützen, diversifizieren sich, um nicht nur GPUs, sondern auch TPUs, benutzerdefiniertes Silizium und andere Formfaktoren einzubeziehen. Eine gute Analogie ist, dass die Automobilindustrie von Benzinmotoren zu Hybrid-, Elektro- und sogar Wasserstoffenergie übergeht. Die zukünftige Rechenzentrumsinfrastruktur muss so konzipiert und optimiert werden, dass sie das gesamte Spektrum von Chips und Computing unterstützt.

## Die Technologietrends, die die Marktauswirkungen definieren

Als Reaktion auf diese makroökonomischen Kräfte hat Vertiv fünf wichtige Trends identifiziert, welche die Technologielandschaft des Rechenzentrums prägen. Jeder Trend wurde auf seine spezifischen Auswirkungen in kritischen Technologiebereichen und Marktsegmenten bewertet und nach seiner potenziellen Größenordnung, Wahrscheinlichkeit und dem erwarteten Zeitrahmen der Auswirkungen eingestuft.

**Vertiv Frontiers** untersucht diese Trends eingehender.

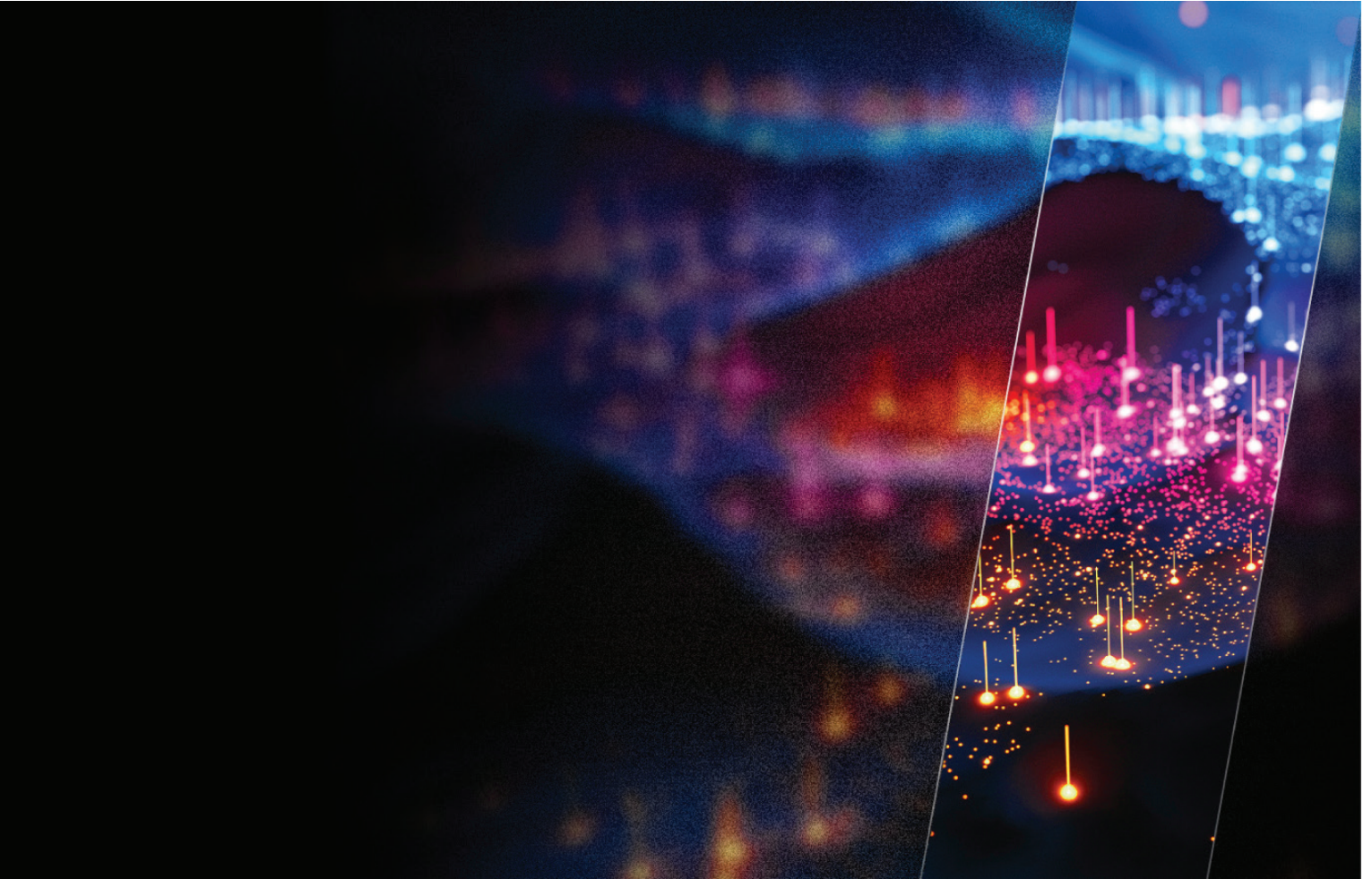
Dieser Bericht untersucht die fünf wichtigsten Trends, die Vertiv derzeit als die wirkungsvollsten für Rechenzentren identifiziert hat. Die von Vertiv identifizierten und eingestufteten Technologietrends sind:

# Trends

1	<b>Mehr Power für KI</b>	Hybridsysteme aus Wechsel- und Gleichstrom werden kurzfristig weit verbreitet sein, aber mit zunehmender Reife vollständiger Gleichstromstandards und -geräte dürfte Gleichstrom mit höherer Spannung.
2	<b>Verteilte KI</b>	KI wird für Unternehmen immer wichtiger, aber wie und von wo aus KI-Dienste bereitgestellt werden, hängt von den spezifischen Anforderungen und Bedingungen des Unternehmens ab.
3	<b>Beschleunigte Energieautonomie</b>	Betreiber erweitern die Vor-Ort-Generierung, obwohl das Netz für viele die bevorzugte Option ist. Die Investitionen in Vor-Ort-Anlagen werden voraussichtlich fortgesetzt, bis sich die Netzkapazität erweitert und verändert.
4	<b>Digitale Zwillinge für Design und Betrieb</b>	Rechenzentren können mithilfe digitaler Zwillinge virtuell zugeordnet und spezifiziert werden, und die IT und Infrastruktur werden als Recheneinheiten integriert und bereitgestellt. Dieser Ansatz wird der Schlüssel zum Erreichen der Gigawatt-Aufbauten sein, die für zukünftige KI-Fortschritte erforderlich sind.
5	<b>Adaptive, widerstandsfähige Flüssigkeitskühlung</b>	Im Laufe der Zeit könnten Flüssigkeitskühlssysteme analog zu Kreislaufsystemen mit der Fähigkeit zur Überwachung und Anpassung werden. Neue Formen der Flüssigkeitskühlung werden sich entwickeln, wenn die Technologie weiter reift.

# Die **Technologietrends** Definition der Marktauswirkungen

- 1 / Mehr Power für KI
- 2 / Verteilte KI
- 3 / Beschleunigte Energieautonomie
- 4 / Digitale Zwillinge für Design und Betrieb
- 5 / Adaptive, widerstandsfähige Flüssigkeitskühlung



Diese Trends wirken sich bereits auf Betreiber fortschrittlicher Rechenzentren aus und werden wahrscheinlich von der breiteren Branche übernommen, wenn die zugrunde liegenden Technologien und Treiber reifen.

# 1 / Mehr Power für KI

Hybridsysteme aus Wechsel- und Gleichstrom werden kurzfristig weit verbreitet sein, aber mit zunehmender Reife vollständiger Gleichstromstandards und -geräte dürfte Gleichstrom mit höherer Spannung in Hyperscale-Anlagen und KI-Fabriken immer mehr dominieren.

**Zugehöriger Trend:** Beschleunigte Energieautonomie.

Die Flüssigkeitskühlung (**Trend 5**) ist eng mit dem Wachstum von KI-Workloads und beschleunigter Rechenleistung verknüpft. Innovationen im Energiemanagement, die ebenso wichtig für die Weiterentwicklung der Rechenzentrumsleistung sind, haben jedoch weniger Aufmerksamkeit erregt. Ein wichtiger Bereich der Energieinnovation ist die Umstellung auf eine höhere Spannungsverteilung innerhalb der Anlage. Die meisten älteren Rechenzentren verlassen sich immer noch auf die hybride AC/DC-Stromverteilung vom Netz zu den IT-Racks, die drei bis vier Umwandlungsphasen umfasst und zu Ineffizienzen führt. Dieser traditionelle Ansatz gerät unter Druck, da die Dichte – vor allem bedingt durch KI-Workloads – zunimmt.

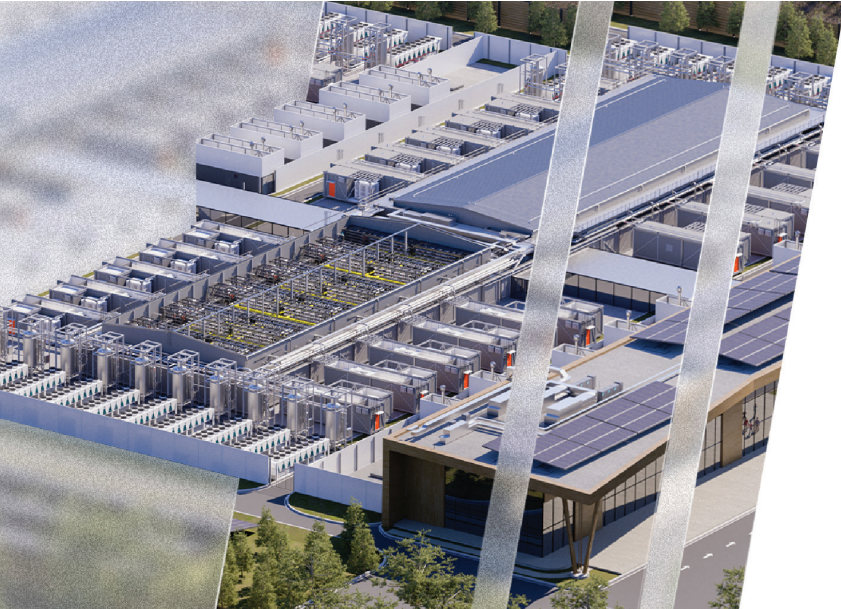
KI-Computing-Plattformen treiben Rack-Dichten schnell über 300 kW hinaus. In diesen Hochleistungsumgebungen sind herkömmliche 415-VAC- oder 480-VAC-Architekturen hinsichtlich Kupfervolumen, thermischem Verlust und Platzeffizienz eingeschränkt. Diese Einschränkungen stellen potenzielle Hindernisse für das Erreichen der notwendigen Leistungsdichten zur Unterstützung von Grafikprozessoren (GPUs) dar. Der Übergang zu Hochspannungs-Gleichstromarchitekturen ermöglicht eine signifikante Reduzierung von Stromstärke, Leitern und Umwandlungsstufen bei gleichzeitiger Zentralisierung der Leistungsumwandlung auf Raumebene.

Innovationen sind bereits in der Hochspannungs-DC-Architektur im Gange, einschließlich der jüngsten Ankündigungen von NVIDIA, die von Vertiv und anderen unterstützt werden, etwa im Bereich der 800 VDC-Architektur. Die 800 VDC-Technologie ermöglicht eine effizientere Stromversorgung.

Analysten, einschließlich Uptime Institute Intelligence, sind sich einig, dass KI und insbesondere die Verdichtung die Einführung von DC-Architekturen mit höherer Spannung im Rechenzentrum vorantreiben werden. „Stromversorgungsketten und elektrische Geräte von Rechenzentren sind hocheffizient und können eine breite Palette von Kapazitäten unterstützen“, sagte Daniel Bizo, Senior Research Director des Uptime Institute Intelligence.<sup>1</sup> „Obwohl sie trotz aller Bemühungen von Anlagendesignern und Geräteherstellern zur Verbesserung von LV-Systemen für eine Zukunft mit hoher Dichte suboptimal bleiben.“

Mit Blick auf die Zukunft wird es wahrscheinlich sein, dass Wechselstrom selektiver verwendet wird, auch an der Netzschnittstelle, die in einigen Szenarien zur Sicherung delegiert werden kann, wobei Gleichstrom der optimale Ansatz für die interne Stromverteilung wird. Die Verwendung von höherspannungsbasierten DC-Architekturen ist auch auf das Wachstum der Energiespeicherung in Rechenzentren und auf Netzebene ausgerichtet. Diese Themen werden in **Trend 3** weiter diskutiert: **Die Energieautonomie beschleunigt sich**, wobei sich einige Rechenzentren zu DC-Mikronetzen entwickeln können, die die Erzeugung vor Ort und die Energiespeicherung integrieren.

<sup>1</sup> Bizo, D., 2024. Uptime Institute Intelligence.



“ DC-Architekturen mit höheren Spannungen werden bereits entwickelt, wobei Implementierungen geplant sind, die steigende GPU-Rack- und POD-Leistungsdichten unterstützen. Anlagenbetreiber und Entscheidungsträger können sofort Schritte zur Planung zukunftsfähiger KI-Fabriken unternehmen, die diese kommenden Generationen von KI-Servern unterstützen werden.“

**Kyle Keeper,**

Senior Vice President, Power Management, Vertiv

### Makro-Kräfte

- **Extreme Verdichtung:** Die herkömmliche Stromverteilung erreicht ihre Grenzen aufgrund der Dichte von KI-Computing.
- **Rechenzentrum als Recheneinheit:** Die Bereitstellung und Verwaltung von Strom, Wärme und Rechenleistung als ein einziges System verbessert Leistung, Ausfallsicherheit und Effizienz.

### Betroffenes Segment

- Hyperscale, Cloud und Colocation (veraltete Einrichtungen können mit Nachrüstungsherausforderungen konfrontiert sein).

### Beeinflussende Faktoren

- Weniger Umwandlungsverluste bedeuten eine höhere Effizienz. Herkömmliche AC-Stromversorgungssysteme müssen aufgrund mehrerer Umwandlungsschritte erhebliche Energieverluste hinnehmen.
- Baut auf Fachwissen auf, das für globale Telekommunikationsnetzwerke, integrierte Mikronetze und andere Anwendungen entwickelt wurde.
- Integration mit alternativer Energie. Alternative Energiequellen wie Solarpaneele oder Brennstoffzellen produzieren nativ Gleichstrom.

### Herausforderungen

- Eine höhere Spannungsverteilung kann strengere Sicherheitsverfahren und -protokolle erfordern.
- Einige Bediener könnten mit einem Mangel an qualifiziertem Personal für die Installation und Wartung konfrontiert werden.
- Höhere Vorlaufkosten können potenziell bis zur weiteren Reife der Technologie anfallen.

### Verwandte/beispielhafte Technologien

- USV-Systeme mit höherer Spannung, hocheffiziente DC-Stromschienen, DC/DC-Wandler auf Rack-Ebene und DC-kompatible Backup-Systeme.
- DC-Mikrogitter, Energiespeicherung.

### Vorgeschlagene Maßnahmen

- Hyperscale und andere Frühanwender von KI-Workloads und Hochleistungssystemen sollten aktiv die Vorteile von DC mit höherer Spannung untersuchen Einführung – insbesondere im Rahmen der Vor-Ort-Generierung oder Microgrid-Bereitstellung.
- Der frühzeitige Zugriff auf Referenzdesigns und Roadmaps ermöglicht es Kunden, die unterstützende Infrastruktur parallel zu aufkommenden GPU-Systemen zu validieren und bereitzustellen.
- Unternehmensbetreiber und kleinere Colocation-Anbieter sollten nach Möglichkeiten suchen, die Technologie zu testen, möglicherweise in Bereichen mit hoher Dichte in bestehenden Einrichtungen. DC-Architekturen mit höherer Spannung können in den heutigen herkömmlichen AC-Architekturen eingesetzt werden.

## 2 / Verteilte KI

KI wird für Unternehmen immer wichtiger, aber wie und von wo aus KI-Dienste bereitgestellt werden, hängt von den spezifischen Anforderungen und Bedingungen des Unternehmens ab.

**Zugehöriger Trend:** *Design und Betrieb digital und zweigleisig.*

Die Milliarden, die bisher in KI-Rechenzentren für große Sprachmodelle (LLMs) investiert wurden, werden von der Erwartung angetrieben, dass diese Technologien sowohl von Verbrauchern als auch von Unternehmen weit verbreitet eingesetzt werden. Anstatt eine experimentelle Technologie zu sein, die nur von einigen wenigen fortgeschrittenen Organisationen oder Mitarbeitern verwendet wird, wird KI zu einem unverzichtbaren Werkzeug werden. Die für diesen Wandel erforderliche Rechenzentrumskapazität für KI-Inferenz könnte die derzeitigen Kapazitäten für das Training großer Modelle um ein Vielfaches übertreffen.<sup>2</sup>

Jüngste Studien haben auf einige Herausforderungen bei der Einführung von Unternehmens-KI hingewiesen, aber es gibt auch Hinweise darauf, dass sich dies ändert. Eine Studie der Wharton School der University of Pennsylvania ergab, dass 74 % der Unternehmen, welche die Kapitalrendite (ROI) messen, durch ihre generative KI (GenAI)-Anwendung eine positive Rendite erzielen.<sup>3</sup>

Es ist jedoch wahrscheinlich, dass sich die Bereitstellung von geschäftskritischer KI zwischen Unternehmen, Geschäftseinheiten oder sogar bestimmten Anwendungen unterscheidet. Hochregulierte Branchen wie Finanzen, Verteidigung und Gesundheitswesen müssen aufgrund von Datenresidenz-, Sicherheits- oder Latenzanforderungen häufig private oder hybride KI-Umgebungen pflegen. Laut dem Analysten IDC wird der Finanzdienstleistungssektor bis 2028 am meisten für KI-Lösungen ausgeben und mehr als 20 % aller KI-Ausgaben ausmachen.<sup>4</sup> Unternehmen können auch in KI-optimierte private Rechenzentren investieren, um proprietäre Modelle zu

optimieren oder vertrauliche Daten in großem Maßstab zu verarbeiten. In solchen Fällen werden Unternehmen wahrscheinlich hybride oder föderale Architekturen einführen, die lokales Computing mit cloudbasierten KI-Diensten kombinieren.

Laut dem Analysten Gartner wird es zu einer Abkehr von spezialisierten, von Dienstleistern entwickelten Modellen hin zu unternehmensinternen, domänenspezifischen Sprachmodellen (DSLMS) kommen, die von Softwareanbietern, aber auch von Unternehmen selbst entwickelt und betrieben werden.

Es ist noch nicht klar, wie sich diese KI-Modellsegmentierung in spezifische Rechenzentrumsaufbauten umsetzen lässt, aber ein Teil der DSLMS könnte eine dedizierte, eigene KI-Infrastruktur von Unternehmen erfordern, einschließlich Einrichtungen vor Ort und Colocation. Einige Organisationen werden, einschließlich durch den Einsatz modularer Technologie, neue On-Premise-Kapazitäten aufbauen oder versuchen, bestehende Einrichtungen nachzurüsten oder zu erweitern.

Die Investitionen in die KI-Infrastruktur sind auch auf Veränderungen in unternehmenseigenen Einrichtungen und Cloud-First-Strategien ausgerichtet. Genau wie bei Cloud-Diensten werden jedoch Kosten, Anbieterbindung, Datenübertragbarkeit und andere Probleme Entscheidungen darüber beeinflussen, wo und wie KI-Dienste bezogen werden. Auch die Verfügbarkeit von Strom ist ein Thema, wobei sich einige Unternehmen dafür entscheiden, bestehende Rechenzentrumsstandorte für KI auszubauen, um die vorhandenen Stromkapazitäten optimal zu nutzen. Die Frage der Daten und KI-Souveränität werden auch bei Entscheidungen über die eigene KI-Infrastruktur eine Rolle spielen.

<sup>2</sup> Noffsinger, J., Patel, M., und Sachdeva, S., 2025. McKinsey & Co.

<sup>3</sup> Korst, J., Puntoni, S., und Tambe, S., 2025. Universität Pennsylvania

<sup>4</sup> IDC, 2024.

<sup>5</sup> Gartner, 2025.



“ KI bietet die Grundlage, auf der Unternehmen Wert schaffen können. Wir erwarten, dass Faktoren wie Datenschwerkraft und Regulierung die Entscheidungsfindung darüber vorantreiben, ob diese Grundlage am besten über Dienstleister oder eigene Investitionen in Rechenzentren bereitgestellt wird.“

### Martin Olsen

Vice President, Segment Strategy & Deployment, Vertiv

### Makro-Kräfte

- **Silicon-Diversifizierung:** Die Inferenz wird wahrscheinlich um die am besten geeigneten Chips für die Anwendung und den Workload aufgebaut sein.
- **Extreme Verdichtung:** Unternehmen müssen wahrscheinlich Zonen mit hoher Dichte in ihren lokalen Rechenzentren berücksichtigen.

### Betroffenes Segment

- Unternehmenseigene Rechenzentren (gemischte Gebäude bis hin zu vollständigen Einrichtungen) und (unternehmensorientierten) Colocation-Anbietern.

### Beeinflussende Faktoren

- Datenhoheit und Datenschutz. Die Vorschriften können sensible Daten daran hindern, bestimmte Gerichtsbarkeiten oder vom Unternehmen kontrollierte Umgebungen zu verlassen, was zu mehr Investitionen vor Ort führt.
- Latenz- und Leistungsanforderungen. Anwendungen, die eine extrem niedrige Latenz erfordern (z. B. Echtzeitsteuerung, Finanzhandel, Edge-Analyse), erfordern möglicherweise lokale Inferenzfähigkeiten anstatt Remote-Cloud-Verarbeitung.
- Kostenvorhersehbarkeit. Für vorhersehbare, hochvolumige Workloads könnte die Infrastruktur immer noch niedrigere Gesamtbetriebskosten bieten.

### Herausforderungen

- Die Einführung von KI kann weiterhin von einzelnen Mitarbeitern und Abteilungen ohne die erforderliche Aufsicht durch die Führung und IT-Abteilung fragmentiert und gesteuert werden.
- Die Integration von KI in Unternehmensanwendungen muss weiter priorisiert werden.

### Verwandte/Beispieltechnologien

- Fortschrittliche Beschleuniger.
- Vorgefertigte modulare Rechenzentren.
- Hochdichte, flüssigkeitsgekühlte KI-Server.

### Vorgeschlagene Maßnahmen

- Viele Unternehmen nutzen KI bereits zu einem gewissen Grad, entweder durch eine absichtliche Bereitstellung oder durch die Nutzung durch die Mitarbeiter. Unternehmen mit dem höchsten Maß an Datenschutz, Sicherheit und verwandten Faktoren werden wahrscheinlich bereits KI-Dienste untersuchen oder sogar testen, die an Infrastruktur vor Ort gebunden ist.
- Für andere sollte die Entscheidung Teil einer fortlaufenden Bewertung des Werts bestehender Rechenzentren vor Ort sein, einschließlich des Zugangs zu Strom, und der Kosten und Komplexität der Aktualisierung dieser Standorte für eine höhere Dichte.

# 3 / Beschleunigte Energieautonomie

Betreiber erweitern die Vor-Ort-Generierung, obwohl das Netz für viele die bevorzugte Option ist. Die Investitionen in Vor-Ort-Anlagen werden voraussichtlich fortgesetzt, bis sich die Netzkapazität erweitert und verändert.

**Zugehöriger Trend:** Mehr Power für KI.

Energieerzeugung vor Ort (in Form von Dieselgeneratoren) ist seit Jahrzehnten für die meisten eigenständigen Rechenzentren unerlässlich. Allerdings machen die ständigen Herausforderungen bei der Stromverfügbarkeit die volle „Energieautonomie“ zu einer fast unvermeidlichen Anforderung für die Betreiber.

Bereits vor dem Aufkommen von KI waren Rechenzentren mit einer Energiekrise konfrontiert. Große Cloud-Betreiber haben ihren Stromverbrauch von 2017 bis 2021 mehr als verdoppelt,<sup>6</sup> im Jahr vor der Einführung von ChatGPT. Im Jahr 2018 verbrauchten Rechenzentren 1,9 % des gesamten Stroms, der in den USA produziert wurde.<sup>7</sup> Heute, drei Jahre in der KI-Ära, liegt diese Zahl bei 4,5 % und könnte 2026 auf 6 % steigen.<sup>8</sup>

Laut Deloitte könnte der Energiebedarf von KI-Rechenzentren in den USA bis 2035 um mehr als das 30-fache steigen – von vier Gigawatt im Jahr 2024 auf 123 Gigawatt in einem Jahrzehnt.<sup>9</sup>

Infolgedessen wird der Anteil der Branche am gesamten US-Energieverbrauch bis 2030 auf bis zu 9,1 % steigen.<sup>10</sup> In Virginia machen beispielsweise Rechenzentren 25 % des gesamten Stroms des Bundesstaates aus.<sup>11</sup>

Als Reaktion darauf gehen Rechenzentren in die Selbstgenerierung über, in der Regel um eine Lücke zu schließen, bevor neue Netzkapazitäten in Betrieb genommen werden können. Regionale Schwankungen sind auch ein Faktor, da Betreiber in einigen

Ländern – insbesondere in Entwicklungsregionen – aufgrund von Netzininstabilität gezwungen sind, in eine signifikante Vor-Ort-Generierung (oft über Dieselgeneratoren) zu investieren.

Zu den hybriden Ansätzen für die Vor-Ort-Stromversorgung gehören Mikronetze, die mit der Wind- und Solarerzeugung verbunden sind, in Kombination mit Dieselgeneratoren, USV sowie Batterieenergiespeicherungs- Systemen (BESS).

Zu den Technologien zur Erzeugung vor Ort, die von KI-Rechenzentren eingesetzt werden, gehören Erdgasturbinen und Hubkolbenmotoren, um skalierbare Leistung und thermische Energie für CCHP (kombinierte Kühlung, Wärme und Leistung) zu liefern. Diese Technologien können zusammen mit Energie- und Kühlungslösungen und -diensten eingesetzt werden, die als modulare, vorgefertigte Blöcke verpackt sind, um die Designzyklen zu verkürzen und die Bereitstellung zu standardisieren.

Weitere Technologien, die helfen könnten, die Herausforderungen bei der Stromverfügbarkeit zu meistern, sind Wasserstoffbrennstoffzellen und Kernenergie in Form von kleinen modularen Reaktoren (SMRs). In einigen Regionen könnte auch Geothermie eine Option sein. In den meisten Fällen wird die Wahl der Stromversorgungssysteme vor Ort eine Mix-and-Match-Übung sein, da Kosten, Sicherheit und Verfügbarkeit eine Trifecta darstellen.

<sup>6,10,11</sup> EPRI, 2024.

<sup>7</sup> Shehabi, A., Newkirk, A., Smith, S., et. Al., 2024. Lawrence Berkeley National Laboratory.

<sup>8,9</sup> Stansbury, M., Marchese, K., Hardin, K., und Amon, C., 2025. Deloitte.



“ Rechenzentrumsunternehmen haben es nicht eilig, in das Energiegeschäft einzusteigen, aber das unglaubliche Wachstum von KI und die damit verbundenen Leistungsanforderungen werden sie weiterhin dazu zwingen, kreative Lösungen zu finden. Letztendlich umfasst dies die Selbstgenerierung, auch wenn es sich effektiv um eine Überbrückungstechnologie handelt, während die zukünftige Netzkapazität ungewiss bleibt.“

### Peter Panfil

Leitender Ingenieur und Vice President,  
Technische Geschäftsentwicklung, Vertiv

### Makro-Kräfte

- **Rechenzentrum als Recheneinheit:** Die Verwaltung des gesamten Antriebsstrangs vom Netz bis zum Chip – als integriertes System – wird dabei helfen, die Herausforderungen bei der Stromverfügbarkeit und -effizienz zu meistern.
- **Rasante Gigawatt-Skalierung:** Die Energieerzeugung vor Ort ist zunehmend notwendig geworden, um die größten Standorte schnell mit Strom zu versorgen.

### Betroffenes Segment

- Hyperscale, große Colocator, werden die Größe und die Notwendigkeit haben, in die Generierung vor Ort zu investieren.
- Einige kleinere Edge-Anlagen können in der Nähe von Energieerzeugungsquellen entstehen.

### Beeinflussende Faktoren

- Vermehrung der KI und daraus resultierende Erhöhung des Energiebedarfs und der Kosten von Rechenzentren.
- Einschränkungen und Instabilität des Stromnetzes.
- Vorgaben um verantwortungsvolle Geschäftsziele zu erreichen.

### Herausforderungen

- Mangel an Vor-Ort-Erzeugungsgeräten und qualifizierte Arbeitskräfte.
- Resistenz/regulatorische Komplikationen im Zusammenhang mit nuklearen Bereitstellungen.

### Verwandte/Beispieltechnologien

- Gasturbinen und verwandte Technologien.
- DC-Mikrogitter mit Solarenergie, Batterien und Brennstoffzellen.
- Interesse an Atomerzeugung vor Ort. Kleine modulare Reaktoren (SMRs) haben eine durchschnittliche Kapazität von 300 MW und bieten flexible, skalierbare Lösungen für große Rechenzentren oder kleine Cluster.

### Vorgeschlagene Maßnahmen

- BYOP&C-Strategien (Bring Your Own Power and Cooling) können über das gesamte Spektrum von Rechenzentren hinweg angewendet werden, von Unternehmen bis hin zu Hyperscale. Sie können auch auf spezifische Bedürfnisse zugeschnitten werden, von Batterien mit längerer Lebensdauer und BESS-Systemen bis hin zu emissionsarmen Erdgasgeneratoren und -turbinen und sogar zu noch umweltfreundlicheren Brennstoffzellen auf Wasserstoffbasis. Beginnen Sie mit einem Pilotprojekt, das den bestehenden Leistungsschutz aufbaut und mit Backup-Infrastrukturen ergänzt.

# 4 Design und Betrieb basierend auf digitalen Zwillingen

Rechenzentren können mithilfe digitaler Zwillinge virtuell zugeordnet und spezifiziert werden, und die IT und Infrastruktur werden als Recheneinheiten integriert und bereitgestellt. Dieser Ansatz wird der Schlüssel zum Erreichen der Gigawatt-Aufbauten sein, die für zukünftige KI-Fortschritte erforderlich sind.

**Zugehöriger Trend:** Adaptive, widerstandsfähige Flüssigkeitskühlung.

Formen der Digital Twin-Technologie werden im Rechenzentrum seit mehr als einem Jahrzehnt selektiv eingesetzt, aber in der Regel, um Hotspots oder Kühlineffizienzen zu vermeiden, unter Verwendung von CFD (Computational Fluid Dynamics) und anderen Ansätzen. Es war ein taktisches Tool, aber selten ein strategisches.

KI-gestützte virtuelle Modelle werden jetzt für Engineering und Fertigung transformativ. Die Erweiterung von konventionellem CFD und computergestütztem Engineering (CAE) mit Technologien wie der physikalisch genauen Echtzeit-Simulationsplattform Omniverse von NVIDIA,<sup>12</sup> unterstützt durch die neuesten GPUs, kann eine Echtzeitvisualisierung ermöglichen und kürzere Entwicklungszyklen sowie höhere Präzision versprechen.

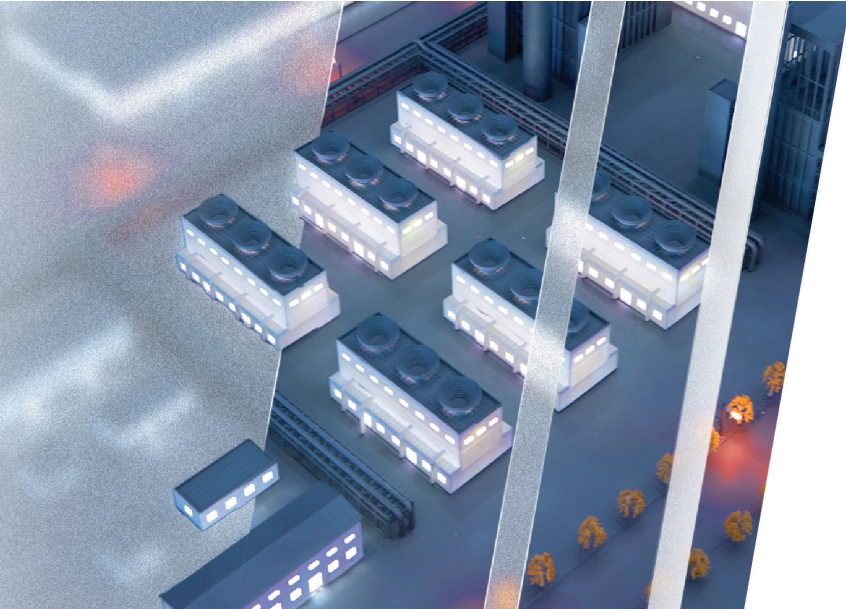
Digitale Zwillinge können verwendet werden, um physikbasierte, fotorealistische Modelle der Referenzarchitektur zu erstellen. Dies ermöglicht die Zusammenarbeit mit Architekten, Ingenieuren und Betreibern in Echtzeit und ermöglicht eine schnelle Iteration und Validierung des Designs vor der Bereitstellung. Der digitale Zwilling simuliert die Infrastrukturleistung, testet Variablen und Fehlerszenarien virtuell, was Zeit spart und Projekte risikofrei macht. Diese Funktion erstreckt sich auf den Betrieb und bietet Closed-Loop-Optimierung und Feed-Forward-Steuerungen, um die Systemleistung kontinuierlich zu verbessern, was sie zu einem dynamischen Tool für intelligentere Infrastrukturentscheidungen über den gesamten Lebenszyklus macht.

Einer der größten potenziellen Vorteile der digitalen Zwillingstechnologie im Rechenzentrum ist, dass sie es ermöglicht, Design- oder Bereitstellungsentscheidungen in einem virtuellen Raum zu simulieren, bevor sie in der physischen Welt durchgeführt werden. Dies hat das Potenzial, die Kosten oder negative Auswirkungen auf die Ausfallsicherheit oder Effizienz zu reduzieren.

Digital Twins müssen auch auf der Grundlage von Echtzeitdaten auf dem neuesten Stand gehalten werden, sodass die Integration mit Rechenzentrumsmanagementsoftware und digitalen Dienstleistungen auch Teil der laufenden Entwicklungen ist.

Durch die Kombination eines Unit of Compute Design-Ansatzes mit digitaler Zwillingstechnologie können Rechenzentrumsbetreiber Anlagen mit zunehmender Effizienz und Belastbarkeit entwerfen, bereitstellen und betreiben. Rechenzentren werden nicht mehr manuell gestaltete Gebäude sein, die mit IT bestückt sind, sondern digital gestaltete und betriebene Recheneinheiten.

<sup>12</sup> Vertiv, 2025.



“ Die digitale Zwillingstechnologie ermöglicht die Simulation, Überwachung und Optimierung der gesamten Infrastruktur in Echtzeit vor und nach dem Bau. Infrastruktur arbeitet nicht mehr unabhängig von Rechnerplattformen; ein Rechenzentrum muss als ein System, das sich kontinuierlich an veränderte Rechenlasten anpasst, betrieben werden.“

### Steve Blackwell

Vice President, Engineering, Vertiv

### Makro-Kräfte

- **Rechenzentrum als Recheneinheit:** Digitale Zwillingstechnologie kann verwendet werden, um die Komplexität der Bereitstellung von hochintegrierten Systemen zu bewältigen.
- **Diversifizierung von Silizium:** Die Rechenzentrumsinfrastruktur muss auf eine zunehmende Bandbreite von Chips ausgelegt und optimiert werden, die durch digitale Zwillingssimulationen unterstützt werden können.

### Betroffenes Segment

- Hyperscale, KI-Fabriken und große Colocation. Einige spezifische unternehmenseigene Standorte, wie z. B. akademische und forschende Labore für High-Performance-Computing (HPC).

### Beeinflussende Faktoren

- Eine präzisere Kapazitätsplanung, weil geplante Neubauten und Änderungen zunächst virtuell modelliert werden können, bevor sie real umgesetzt werden.
- Echtzeit-Visualisierung, die kürzere Entwicklungszyklen und höhere Präzision verspricht.

### Herausforderungen

- Die Einführung digitaler Zwillingstechnologie beschleunigt sich, ist aber noch immer im Entstehen.
- Rechenzentren, die immer noch entlang traditioneller Produkte, Technologielinien und IT-/Einrichtungsteilungen entwickelt und bereitgestellt werden, können ganzheitliche Ansätze behindern.

### Verwandte/Beispieltechnologien

- Die Omniverse-Plattform von NVIDIA.
- Vorgefertigte modulare Technologien, die auf den Ansatz der Recheneinheit abgestimmt sind.

### Vorgeschlagene Maßnahmen

- Organisationen sollten den Einsatz von Digital-Twin-Technologie für Rechenzentren prüfen, um deren Potenzial zur Verbesserung sowohl von Design als auch Betrieb zu verstehen. Das Konzept des Rechenzentrums als nächste Recheneinheit, obwohl abstrakter, sollte verwendet werden, um Möglichkeiten zu identifizieren, um die Effizienz durch eine engere Integration der Energie-, Wärme- und IT-Schichten in der gesamten Einrichtung zu steigern.

# 5 / Adaptive, widerstandsfähige Flüssigkeitskühlung

Im Laufe der Zeit könnten Flüssigkeitskühlsysteme analog zu Kreislaufsystemen mit der Fähigkeit zur Überwachung und Anpassung werden. Neue Formen der Flüssigkeitskühlung werden sich entwickeln, wenn die Technologie weiter reift.

**Zugehöriger Trend:** Design und Betrieb basierend auf digitalen Zwillingen.

KI hat die Einführung von Flüssigkeitskühlung beschleunigt. Es hat sich von einer einmaligen Nischentechnologie, die hauptsächlich in HPC-Laboren eingesetzt wird, zu einem wichtigen thermischen System für KI-Fabriken verlagert. Laut einer kürzlich durchgeführten Studie des Branchenanalysten Dell'Oro wird die Flüssigkeitskühlung mit zunehmender Rackdichte deutlich wachsen und Flüssigkeit wird zur dominanten Technologie für die Wärmeableitung. „Flüssigkeit bewegt sich von Nische zu notwendig“, sagte Alex Cordovil, Forschungsdirektor von Dell'Oro.<sup>13</sup>

Während sich jedoch viel auf KI als Treiber für die Einführung von Flüssigkeitskühlung konzentriert hat, kann KI auch zur Optimierung des Designs und Betriebs von Flüssigkeitskühlungssystemen verwendet werden. Da die Flüssigkeitskühlung zunehmend geschäftskritisch wird, könnte KI das Entstehen von „adaptiven“ Fähigkeiten ermöglichen, wie z. B. das Erkennen von Fehlern (vorhergesehene Wartung), bevor sie auftreten, oder das Umleiten von Flüssigkeit um Leckagequellen. Fortschrittliche adaptive Fähigkeiten werden Innovationen wie das Einbetten von Sensoren in Kühlschleifen zur Überwachung von Temperatur, Druck, Kühlmittelqualität und Durchflussraten erfordern. Spezialisierte Rechenzentrumsmanagementsoftware und damit verbundene digitale Dienste werden auch für die Bereitstellung von vorausschauenden Wartungsfunktionen wichtig sein.

Es könnte in Zukunft sogar Fortschritte bei etwaigen Formen von „Selbstheilungs“-Fähigkeiten geben, aber dies wird zusätzliche Fortschritte in intelligenten Materialien erfordern – potenziell flüssige

Metalle<sup>14</sup> – um eine tatsächliche Selbstreparatur (wahrscheinlich nicht bei größeren Störungen oder Schäden) zu ermöglichen. KI könnte sich auch in Form von physischer KI manifestieren, wie z. B. autonome Roboter für die Wartung und Inspektion von thermischen Kettenausrüstungen, insbesondere in schwer zugänglichen Bereichen der Einrichtung.

Trotz potenzieller Fortschritte in der adaptiven und automatisierten Wartung kann die Installation der Flüssigkeitskühlung jedoch ein komplexer Prozess sein. Rechenzentrumsteams werden weiterhin von qualifizierten Servicepartnern verlangen, dass sie Schlüsselprobleme angehen, wie z. B. Rohrleitungsinstallation, Kühlverteilung, kundenspezifische Designelemente, Risikominderungsstrategien und die Lösungsarchitektur der integrierten Systeme innerhalb des Flüssigkeitskreislaufs.

Wenn man sich vor Augen führt, wie sich die Flüssigkeitskühltechnologie in den nächsten fünf Jahren und darüber hinaus weiter entwickeln wird, könnte sie Ansätze wie Phasenwechsel, verschiedene Kühlmitteltypen sowie das Potenzial des vollständigen Eintauchens umfassen.<sup>15</sup> Aufgrund einiger der Komplexitäten und Kosten gab es bisher nur eine begrenzte Aufnahme des Eintauchens. Wie der Name schon sagt, müssen Server in eine leitfähige Flüssigkeit getaucht werden, sodass keine Luftkühlung und keine Lüfter erforderlich sind. Immersion bleibt die reinste Form der Flüssigkeitskühlung in Bezug auf die Physik, aber ihre langfristige Übernahme wird davon abhängen, praktische Herausforderungen und Kosten zu überwinden.

<sup>13</sup> Dell'Oro Group, 2025.

<sup>14</sup> Yu, M., Zhang, C., Feng, J., et. Al., 2025. Werkstoffkunde und Ingenieurwesen.

<sup>15</sup> Ebermann, H., 2024. Vertiv.



“ Die Flüssigkeitskühlungstechnologie gibt es seit der Mainframe-Ära und hat sich in dieser Zeit weiterentwickelt. Wir werden in Zukunft eine noch breitere Einführung der Flüssigkeitskühlung sehen, begleitet von Innovationen, einschließlich adaptiver Fähigkeiten und Ansätze wie vollständiges Eintauchen.“

### **Nigel Gore**

Vice President,  
High Density & Liquid Cooling, Vertiv

### **Makro-Kräfte**

- **Diversifizierung von Silizium:** Flüssigkühlsysteme müssen für eine Vielzahl von Chips und Rechensystemen optimiert werden.
- **Extreme Verdichtung:** Steigende Rackdichten sind einer der Hauptfaktoren für die Einführung von Flüssigkeitskühlung im Vergleich zur herkömmlichen Luftkühlung.

### **Betroffenes Segment**

- Hyperscale, KI-Fabriken und große Colocation. Einige spezifische unternehmenseigene Standorte, wie z. B. akademische und forschende HPC-Labore.

### **Beeinflussende Faktoren**

- Adaptive Funktionen könnten die Effizienz steigern und Ausfallzeiten durch vorausschauendes und proaktives Management reduzieren.
- Verbesserte Wärmeableitung. Die Flüssigkeitskühlung nutzt die höheren Wärmeübertragungsfähigkeiten von Wasser oder anderen Flüssigkeiten, die um ein Großes effektiver sind als die Verwendung von Luft, um Racks mit hoher Dichte effizient zu kühlen.
- Geringere Stellfläche. Die Flüssigkeitskühlung maximiert auch die Raumnutzung, indem sie eine höhere Dichte innerhalb derselben physischen Fläche ermöglicht.

### **Herausforderungen**

- Adaptive und selbstheilende Fähigkeiten und Materialien sind immer noch sehr neu.
- Einige Formen der Flüssigkeitskühlung, wie z. B. das Eintauchen in zwei Phasen, bleibt eine Nische außerhalb von HPC.
- Herkömmliche Luftkühlung oder Hybridansätze können für einige KI-beschleunigte Rechenanforderungen (KI-Inferenz) von Unternehmen kurz- bis mittelfristig geeignet sein.

### **Verwandte/Beispieltechnologien**

- Intelligente integrierte Sensoren zur Überwachung und Fehlererkennung.
- Erweiterte Management- und Steuerungssoftware.
- Intelligente Materialien für die Selbstreparatur.
- Autonome Roboter für Wartung und Reparatur.

### **Vorgeschlagene Maßnahmen**

- Betreiber, die bereits Flüssigkeitskühlung einsetzen, sollten die Weiterentwicklung neuer Technologien weiter beobachten – insbesondere aber auch die Entwicklung von Standards in Bereichen wie Kühlflüssigkeiten sowie Rack- und Systemarchitekturen. Betreiber – vor allem Unternehmensbetreiber –, die die Technologie nicht eingesetzt haben, sollten die kontinuierlichen Fortschritte bei der luftbasierten Kühlung, aber auch das zunehmende Angebot an verfügbaren Hybrid-Luft- und Flüssigkeitskühlungstechnologien verfolgen. Eine gründliche Analyse der Gesamtbetriebskosten von Flüssigkeitskühlungssystemen ist ebenfalls entscheidend.



# Zusammenfassung



Die Auswirkungen von KI werden immer greifbarer: schnelle Transformation durch erhöhte Verdichtung, schnelle Gigawatt-Erweiterung, Siliziumdiversifizierung und das Aufkommen von Rechenzentren als Recheneinheiten. Die Auswirkungen für Rechenzentren sind in den Bereichen Design, Energie, Wärmemanagement, IT-Systeme, Dienstleistungen und Software uneinheitlich.

Vertiv geht davon aus, dass Unternehmen diesen Herausforderungen durch die Einführung von Technologien wie digitalen Zwillingen, Stromerzeugung vor Ort, Hochspannungs-Gleichstromverteilung, fortschrittlicher Flüssigkeitskühlung und neuen Formfaktoren für die KI-Bereitstellung begegnen werden. Darüber hinaus hat sich Vertiv dazu verpflichtet, Stakeholdern dabei zu helfen, zukünftige Entwicklungen frühzeitig zu erkennen – indem wir Einblicke in neue Technologien bieten, fundiertere Investitionsentscheidungen unterstützen und die Entwicklung widerstandsfähiger, zukunftsfähiger Infrastrukturen fördern.

**Vertiv Frontiers** zielt darauf ab, die Rechenzentrums-Community mit dem Wissen und den Perspektiven auszustatten, um in einer Welt zu navigieren, die durch KI, erweiterte Rechenleistung und beispiellose Innovation definiert ist.

# Referenzen

1. Bizo, D. (2024). Uptime Institute Intelligence. *AI to trigger radical overhaul of data center electrification* <https://www.scribd.com/document/932099216/AI-to-Trigger-Radical-Overhaul-of-Data-Center-Electrification/>.
2. Butler, G. (2024). Data Center Dynamics Google testet Roboter für die Verwaltung von Festplatten und Geräten im Rechenzentrum. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-tests-robots-for-managing-data-center-hard-drives-and-equipment/>.
3. Davis, S. (2025). Semiconductor Digest Wafer-Beschleuniger könnten KI neu definieren. <https://www.semiconductor-digest.com/wafer-scale-accelerators-could-define-ai/>.
4. Dell'Oro Group. (2025). Wachstum von Wärmemanagement- und Schrank-PDUs und Busbahnleitungen; Flüssigkühlung wird bis 2029 vervierfacht, KI-Build-out, um den Markt für physische Infrastruktur im Rechenzentrum bis 2029 auf 63,1 Milliarden USD anzutreiben, so Dell'Oro Group. <https://www.delloro.com/news/ai-build-out-to-propel-data-center-physical-infrastructure-market-to-63-1-billion-by-2029/>.
5. Ebermann, H. (2024). Vertiv. *Tauchkühlsysteme: Vorteile und Bereitstellungsstrategien für KI- und HPC-Rechenzentren*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/blog-posts/advancing-data-center-performance-with-immersion-cooling/>.
6. EPRI. (2024). *Powering intelligence: Analyse von künstlicher Intelligenz und Energieverbrauch von Rechenzentren*. <https://www.epri.com/research/products/000000003002028905>.
7. Gartner. (2025). *Gartner prognostiziert, dass die weltweiten IT-Ausgaben 2026 um 9,8 % wachsen und zum ersten Mal 6 Billionen USD übersteigen werden*. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-10-22-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-9-point-8-percent-in-2026-exceeding-6-trillion-dollars-for-the-first-time>.
8. Gupta, G. (2024). Gartner. *Was ist Quanten-Computing? Und warum Führungskräfte sich darüber informieren sollten*. <https://www.gartner.com/en/articles/quantum-computing>.
9. IDC. (2024). *Laut einem neuen IDC-Ausgabenleitfaden werden die weltweiten Ausgaben für künstliche Intelligenz 2028 voraussichtlich 632 Milliarden US-Dollar erreichen*. <https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52530724>.
10. Jyoti, R., Lava, S., Murat, M., Gens, A., Iisaka, N., Schubmehl, D., Ward-Dutton, N., Hamel, J., Arcaro, M., Kuppaswamy, R., Sutherland, H., Cooke, J., Giri, D. und Lange, K. (2023). IDC. *IDC FutureScape: Weltweite Prognosen für künstliche Intelligenz und Automatisierung 2024*. [https://www.idc.com/wp-content/uploads/2025/03/IDC\\_FutureScape\\_Worldwide\\_Artificial\\_Intelligence\\_and\\_Automation\\_2024\\_Predictions\\_-\\_2023\\_Oct.pdf](https://www.idc.com/wp-content/uploads/2025/03/IDC_FutureScape_Worldwide_Artificial_Intelligence_and_Automation_2024_Predictions_-_2023_Oct.pdf).

11. Kelkar, A., und Jansen, C. (2025). McKinsey & Co. *A leap in automation: Die neue Technologie hinter Allzweckrobotern*. <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/a-leap-in-automation-the-new-technology-behind-general-purpose-robots>.
12. Korst, J., Puntoni, S., und Tambe, P. (2025). Wharton Human AI Research, Universität von Pennsylvania. *2025 AI adoption report: Gen AI fast-tracks into the enterprise*. [https://ai.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2025/10/2025-Wharton-GBK-AI-Adoption-Report\\_Full-Report.pdf](https://ai.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2025/10/2025-Wharton-GBK-AI-Adoption-Report_Full-Report.pdf).
13. Microsoft. (n.d.). *Projekt Natick Phase 2*. <https://natick.research.microsoft.com/>.
14. Noffsinger, J., Patel, M., und Sachdeva, P. (2025). McKinsey & Co. *The cost of compute: Ein 7 Billionen US-Dollar teures Rennen zur Skalierung von Rechenzentren*. <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-cost-of-compute-a-7-trillion-dollar-race-to-scale-data-centers>.
15. Pollina, E., und Piovaccari, G. (2025). Reuters. *Rechenzentren im Weltraum? Jeff Bezos sagt, es sei möglich*. <https://www.reuters.com/business/energy/data-centres-space-jeff-bezos-thinks-its-possible-2025-10-03/>.
16. Samsung. (2025). *Samsung und OpenAI geben strategische Partnerschaften bekannt, um Fortschritte in der globalen KI-Infrastruktur zu beschleunigen*. <https://news.samsung.com/global/samsung-and-openai-announce-strategic-partnership-to-accelerate-advancements-in-global-ai-infrastructure>.
17. Shehabi, A., Newkirk, A., Smith, S., Hubbard, A., Lei, N., Siddik, M., Holecek, B., Koomey, J., Masanet, E. und Sartor, D. (2024). Lawrence Berkeley National Laboratory. *Bericht zum Energieverbrauch des Rechenzentrums in den USA 2024*. <https://doi.org/10.71468/P1WC7Q>.
18. Smith, M. (2025). Vertiv. *Vorbereitung auf die nächste Energieentwicklung mit HVDC*. <https://www.vertiv.com/en-us/about/news-and-insights/articles/blog-posts/preparing-for-the-next-energy-evolution-with-hvdc/>.
19. Stansbury, M., Marchese, K., Hardin, K., und Amon, C. (2025). Deloitte. *Kann die US-Infrastruktur mit der KI-Wirtschaft Schritt halten?* <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/data-center-infrastructure-artificial-intelligence.html>.
20. Vertiv. (2025). *Von der Simulation zur Realität: KI-gesteuerte digitale Zwillinge definieren Design neu*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/blog-posts/from-simulation-to-reality-ai-driven-digital-twins-define-design/>.
21. Vertiv. (2025). *Der Rand der Intelligenz: Wie neuromorphes Computing die KI verändert*. <https://www.vertiv.com/en-emea/about/news-and-insights/articles/educational-articles/the-edge-of-intelligence-how-neuromorphic-computing-is-changing-ai/>.
22. Yu, M., Zhang, C., Feng, J., Sun, Q., Yang, C., Zeng, X., Chu, P. und Tian, Y. (2025). *Werkstoffkunde und Ingenieurwesen. Flüssige Metallalchemie: Selbstheilende Materialien auf Galliumbasis für Elektronik der nächsten Generation*. <https://doi.org/10.1016/j.msar.2025.101073>.



# *Frontiers*

**Vertiv.com** | Vertiv Hauptsitz, 505 N Cleveland Ave, Westerville, OH 43082, USA

© 2025 Vertiv Group Corp. Alle Rechte vorbehalten. Vertiv™ und das Vertiv-Logo sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der Vertiv Group Corp. Alle anderen erwähnten Namen und Logos sind Handelsnamen, Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen ihrer jeweiligen Eigentümer. Trotz größter Sorgfalt hinsichtlich Richtigkeit und Vollständigkeit dieses Dokumentes übernimmt Vertiv Group Corp. keine Verantwortung für den Inhalt und schließt jegliche Haftung für Schadensersatz aus, der aus der Verwendung dieser Informationen, aus Fehlern oder Auslassungen entsteht. Spezifikationen, Rückvergütungen und sonstige Promotionsangebote können nach alleinigem Ermessen von Vertiv nach vorheriger Ankündigung geändert werden.