Sehr geehrte Damen und Herren,

hiermit reiche ich meinen Beitrag zur Konsultation der nationalen Rechenzentrumsstrategie ein. Meine Perspektive konzentriert sich auf die Integration fortschrittlicher Energiekonzepte und die Skalierbarkeit von High-Performance-Computing-Infrastrukturen (HPC).

1. Welche Merkmale und Rahmenbedingungen kennzeichnen aus Ihrer Sicht einen „zukunftsfähigen und leistungsstarken" Rechenzentrumsstandort Deutschland im Jahr 2030?

Ein zukunftsfähiger Standort zeichnet sich durch drei Kerneigenschaften aus:

- Energieautarkie und Nachhaltigkeit: Rechenzentren müssen als integraler Bestandteil der nationalen Energie- und Wärmeinfrastruktur gedacht werden. Dies bedeutet einen massiven Ausbau eigener, erneuerbarer Energieerzeugung (v. a. Photovoltaik) kombiniert mit großflächigen Batteriespeichern, um Lastspitzen im Netz zu vermeiden und Resilienz zu schaffen. Die Abwärme muss konsequent und planbar in lokale und regionale Wärmenetze eingespeist werden, was die Gesamtenergiebilanz positiv macht und die Akzeptanz in der Bevölkerung erhöht.

- Souveränität durch Skalierbarkeit: Die Infrastruktur muss darauf ausgelegt sein, jederzeit skalieren zu können, um den prognostizierten, exponentiell wachsenden Bedarf an KI- und HPC-Rechenleistung zu decken. Dies erfordert standardisierte, modulare Bauweisen (z. B. Containerlösungen) und vorbereitete Standorte mit garantierter Anschlussleistung im dreistelligen MW-Bereich.

- Vernetzung als Ökosystem: Ein Standort ist nicht nur ein Gebäude, sondern ein Knotenpunkt in einem Hochleistungsnetz. Die Anbindung an wissenschaftliche Einrichtungen, Industriezentren und andere RZ-Standorte über low-latency Glasfaserverbindungen (Forschungscampus-Modell) ist entscheidend für Innovation.

2. Welche zentralen Herausforderungen und Chancen sehen Sie für den Rechenzentrumsstandort Deutschland in den kommenden Jahren?

- Herausforderung Energie: Die größte Hürde ist die garantierte, bezahlbare und grüne Energieversorgung in ausreichender Menge. Der aktuelle Netzausbau hält mit dem Bedarf nicht Schritt. Ohne radikale Dezentralisierung und Eigenerzeugung werden Rechenzentren in direkte Konkurrenz zu anderen Industrien und privaten Haushalten treten.

- Chance Abwärme: Deutschland hat einen immensen Wärmebedarf. Rechenzentren können von einem Energieverbraucher zu einem proaktiven Lieferanten für kommunale Wärmenetze werden. Dies schafft neue Geschäftsmodelle und macht den Standort Deutschland insgesamt effizienter.

- Chance Souveränität: Die globale Nachfrage nach Rechenleistung übersteigt das Angebot bei weitem. Deutschland hat die Chance, durch zügige Genehmigungsverfahren, Flächenausweisung und Förderung erneuerbarer Energien einen der begehrtesten und technologisch führenden Standorte der Welt zu schaffen.

3. Welche Rahmenbedingungen sollten aus Ihrer Sicht wie verändert werden, um Rechenzentrumsinvestitionen zu fördern und Innovation zu ermöglichen?

- Energierecht: Schaffen Sie ein investitionsfreundliches Umfeld für Eigenerzeugung und Speicher. Vereinfachen Sie die Einspeisung von Abwärme in Wärmenetze rechtlich und fördern Sie diese finanziell (z. B. durch einen "Abwärme-Bonus"). Genehmigungsverfahren für PV-Freiflächenanlagen und Batteriespeicher im RZ-Umfeld müssen massiv beschleunigt werden.

- Planungs- und Baurecht: Weisen Sie explizit Gewerbe- oder Industrieflächen für Rechenzentren aus, die über ausreichend Erschließung (Strom, Glasfaser, Kühlwasser) verfügen. Implementieren Sie beschleunigte Sonderbauverfahren für modulare, standardisierte RZ-Bauweisen.

- Förderpolitik: Fördern Sie nicht nur den Bau von RZs, sondern speziell die Integration der drei Säulen: Rechenleistung, Eigenerzeugung (PV) und Speicher (Batterie) als eine Einheit. Öffentliche Fördermittel (z. B. von KfW) sollten an einen verpflichtenden Mindestwert für die Abwärmenutzung und einen hohen Eigenversorgungsgrad geknüpft werden.

4. Welche Rolle sollte der Staat bei der Entwicklung einer souveränen und resilienten Recheninfrastruktur einnehmen?

- Enablement: Er schafft die oben genannten Rahmenbedingungen, agiert als neutraler Vermittler zwischen Kommunen, Netzbetreibern und RZ-Betreibern und stellt sicher, dass kritische Infrastrukturen (Strom, Daten) priorisiert ausgebaut werden.

- **Strategische Investition:** Der Staat sollte, ähnlich wie bei der Impfstoffentwicklung, als "Ankerkunde" für souveräne Rechenkapazitäten auftreten. Die Vergabe von öffentlichen Aufträgen im KI- und HPC-Bereich (z. B. für Forschung, Behörden) sollte an strenge Nachhaltigkeits- und Souveränitätskriterien gebunden werden, um private Investitionen in diese Richtung zu lenken.

5. Gibt es konkrete Maßnahmen oder Best Practices aus Ihrer Praxis/Erfahrung, die in die Strategie aufgenommen werden sollten?

- **Konkretes Praxisbeispiel: Skalierung eines energieautarken GPU-Clusters** In einer Modellrechnung wurde die Machbarkeit eines großen, nachhaltigen HPC-Clusters untersucht. Ausgangspunkt: Ein Cluster mit 200.000 GPUs benötigt eine elektrische Dauerlast von ca. 60 MW.

- **Lösungsansatz:** Vollständige Energieversorgung durch eine Photovoltaik-Freiflächenanlage. Für eine Grundlast von 60 MW (525,6 GWh/Jahr) wäre unter deutschen Bedingungen eine Fläche von ca. 3,5 - 4 km² nötig.

- **Resilienz:** Um den 24/7-Betrieb zu gewährleisten, ist ein Batteriespeicher mit ca. 800 MWh Kapazität erforderlich. Dies puffert die Energie für Nacht- und Wolkenphasen.

- **Nachhaltigkeit:** Die anfallende Abwärme von 60 MW wird nicht an die Umwelt abgegeben, sondern kann direkt in ein lokales Fernwärmenetz eingespeist werden und zehntausende Haushalte beheizen. –

Gesamtinvestition: Die geschätzten Gesamtkosten für ein derartiges, souveränes und nachhaltiges Gesamtsystem (Hardware, RZ-Bau, PV-Anlage, Speicher) liegen in der Größenordnung von 6,5 - 7,5 Mrd. Euro.

Empfehlung für die Strategie: Nehmen Sie dieses Modell eines "Energie- und Rechenparks" als Leitbild in die Strategie auf. Fördern Sie gezielt Pilotprojekte dieser Größenordnung, die Rechenleistung, Energieerzeugung, Speicherung und Wärmenutzung von Beginn an integrieren. Dies schafft nicht nur souveräne Kapazitäten, sondern auch einen globalen Technologiestandard, der exportfähig ist.

Hier ist die ausführliche Berechnung zur Energieversorgung, Flächenbedarf und Kosten für ein energieautarkes GPU-Cluster mit 60 MW Leistung:

Annahmen für Solarstrom in Deutschland
• Durchschnittliche jährliche Sonneneinstrahlung in Deutschland: ca. **1000 kWh/m² pro Jahr** (Realistisch für PV-Anlagen) • Wirkungsgrad moderner PV-Module: ca. **20 %**
• Daraus resultierende Stromproduktion: 1000 kWh/m/Jahr * 20% = 200kWh/m/Jahr
• Wir brauchen **60 MW kontinuierlich**.
Das entspricht: 60MW * 24 * 365 = 525.600 MWh/Jahr = 525,6 GWh/Jahr

Benötigte Fläche für PV
Strom pro m² pro Jahr: 0,2 MWh → Benötigte Fläche:
Fläche = 525.600MWh / 0,2MWh/m = 2.628.000m = 2,63 km²
Das wäre eine reine Idealfallrechnung ohne Verluste durch Verschattung, Wechselrichter etc. Realistisch kann man etwa 30–50 % mehr Fläche einplanen → ca. 3,5–4 km².

Batteriespeicher
Damit der Cluster 24/7 laufen kann, brauchen wir Speicher für Nacht und bewölkte Tage.
• Angenommen, **12 Stunden Autonomie** (typisch für Solar+GPU)
• Energiebedarf pro Stunde: 60 MW → 12 h × 60 MW = **720 MWh**
• Realistisch mit 90 % Effizienz des Speichers → Speichergröße ca. **800 MWh** Zum Vergleich: Das ist enorm groß, etwa das 16-fache der größten derzeit installierten Batteriespeicher in Deutschland.

Fazit
• PV-Fläche: ca. **3,5–4 km²**
• Batteriespeicher: ca. **800 MWh** Das ist machbar, aber ein sehr großes Projekt. Vorteil: Wenn wir die Abwärme der GPUs clever nutzt, kann man gleichzeitig z. B. Gebäude heizen oder ins Fernwärmenetz einspeisen, was die Wirtschaftlichkeit stark verbessert.

Annahmen für die GPUs
• Nehmen wir an, wir verwenden **moderne Hochleistungs-GPUs**, z. B. Nvidia H100 oder ähnlich:
• **Leistung pro GPU:** ca. 0,5 kW (unter Volllast)
• **Rack mit 8 GPUs**: ca. 4 kW
• Cluster-Leistung: **60 MW** → Anzahl GPUs: 60.000kW0,5/GPU = 120.000GPUs
• Anzahl Racks: 120.000 ÷ 8 = 15.000 Racks

Platzbedarf
• Standardrack: 0,6 m × 1 m Grundfläche → ca. 0,6 m² pro Rack
• 15.000 Racks × 0,6 m² = **9.000 m²** reine Rackfläche
• Mit Gängen, Serviceflächen, Kühlung: Faktor 2–3 → **ca. 20.000–30.000 m²**, also **2–3 ha** Das ist erstaunlich klein im Vergleich zur Solaranlage (3,5–4 km²). GPU-Racks brauchen also wenig Platz, die Fläche wird vor allem durch die PV-Anlage bestimmt.

Kühlleistung
• Jede GPU gibt fast die gesamte Energie als Wärme ab → 60 MW elektrische Leistung = **ca. 60 MW Abwärme**
• Kühlbedarf: Wir brauchen also ein Kühlsystem, das **60 MW Wärme** abführen kann.
• Möglichkeiten:
• **Wassergekühlte Racks** → hohe Effizienz, direkt nutzbare Abwärme
• **Luftkühlung** → extrem großer Luftstrom nötig, kaum nutzbar für Wärmeverwertung • Temperatur der GPU-Abwärme: 60–70 °C wassergekühlt → ideal für Gebäudeheizung oder Nahwärmenetz

Zusammenfassung
• **Physische Größe:** 2–3 ha für den Cluster selbst
• **Kühlleistung:** ca. 60 MW, ideal wassergekühlt
• **PV-Anlage:** 3,5–4 km² für 24/7 Betrieb mit Batteriespeicher
• **Speicherbedarf:** ca. 800 MWh

Gesamtkostenübersicht

Photovoltaikanlage (PV)
• **Fläche:** 3,5–4 km²
• **Kosten:** 1,12 €/kWh
• **Gesamtkosten:** 52–60 Millionen €

2. Batteriespeicher
• **Kapazität:** 800 MWh
• **Kosten:** 245 €/kWh
• **Gesamtkosten:** 196 Millionen €

3. GPU-Cluster
• **Anzahl GPUs:** 200.000
• **Kosten pro GPU:** 30.000–35.000 €
• **Gesamtkosten:** 6–7 Milliarden €

4. Rackmount-Server
• **Anzahl Racks:** 15.000
• **Kosten pro Rack:** 5.792,93–11.573,73 €
• **Gesamtkosten:** 87–174 Millionen €

5. Kühlungssystem
• **Leistung:** 60 MW
• **Kosten:** 1–2 Millionen €
• **Gesamtkosten:** 1–2 Millionen €

6. Abwärmenutzung (Heizsystem)
• **Leistung:** 60 MW
• **Kosten:** 1–2 Millionen €
• **Gesamtkosten:** 1–2 Millionen €

7. Bau- und Infrastrukturkosten
• **Kosten:** 100–200 Millionen €
• **Gesamtkosten:** 100–200 Millionen €

8. Netzanschluss & Infrastruktur
• **Kosten:** 50–100 Millionen €
• **Gesamtkosten:** 50–100 Millionen €

Die Gesamtkosten für ein solches Projekt liegen zwischen **6,5 und 7,5 Milliarden €**. Dies umfasst die komplette Infrastruktur, von der Energieerzeugung über die Speicherung bis hin zur Nutzung der Abwärme.

200.000 modernste GPUs, betrieben vollständig mit **Solarstrom** auf einer Fläche von rund **4 km²** und abgesichert durch einen **800-MWh-Batteriespeicher**. Die **Abwärme der GPUs** wird clever zur Gebäudeheizung genutzt, wodurch Energie doppelt effizient eingesetzt wird. Allein die GPU-Hardware kostet mehrere **Milliarden Euro**, ergänzt durch Kosten für PV-Anlage, Speicher, Kühlung und Infrastruktur, sodass das Projekt insgesamt etwa **6,5–7,5 Milliarden Euro** verschlingt. Trotz des riesigen Energiebedarfs bleibt das Konzept **nachhaltig** und klimafreundlich. Ein visionäres Beispiel, wie High-Performance-Computing und erneuerbare Energien verschmelzen können.

Mit freundlichen Grüßen

Stefan Rohringer
22.08.2025

Stefan.rohringer@web.de