Strategische Handlungsempfehlung zur Nationalen Rechenzentrumsstrategie 2030

Beitrag zum Konsultationsprozess des Bundesministeriums für Digitales und Staatsmodernisierung

---

1. Einleitung

Die Digitalisierung von Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung erfordert eine leistungsfähige, nachhaltige und souveräne Rechenzentrumsinfrastruktur. High-Performance Computing (HPC) spielt dabei eine zentrale Rolle, da es Schlüsseltechnologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Klimamodellierung, Quantencomputing und Industrie 4.0 ermöglicht. Diese Stellungnahme skizziert Empfehlungen, Chancen und Herausforderungen für die Entwicklung einer zukunftsfähigen Strategie für Deutschland bis 2030.

---

2. Merkmale eines zukunftsfähigen und leistungsstarken Rechenzentrumsstandorts Deutschland (2030)

Ein wettbewerbsfähiger und nachhaltiger Rechenzentrumsstandort zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

2.1 Technologische Leistungsfähigkeit

- **Exascale-Readiness:** Aufbau von Systemen, die Exascale-Rechenleistung ermöglichen, inklusive GPU-, FPGA- und Quantenintegration.
- **Hybride Infrastrukturen:** Enge Verzahnung von HPC, Cloud, Edge und KI zur Unterstützung verschiedenster Anwendungsfelder.
- **Software-Ökosystem:** Investition in offene Standards, Code-Portabilität und Container-basierte Workflows für maximale Flexibilität.

2.2 Nachhaltigkeit & Energieeffizienz

- 100 % Versorgung aus **erneuerbaren Energien**.
- Einsatz von **innovativen Kühltechnologien** wie Flüssigkühlung und Wärmerückgewinnung.
- **AI-gesteuerte Energieoptimierung** zur Reduktion von Betriebskosten.

2.3 Digitale Souveränität

- Sicherstellung der Datenhoheit durch **europäische Cloud-Initiativen** wie Gaia-X.

- Stärkung der europäischen Chip- und Hardwareproduktion, um Abhängigkeiten zu reduzieren.

2.4 Internationale Wettbewerbsfähigkeit

- Ausbau von **Forschungs- und Innovationsclustern**.
- Enge Zusammenarbeit mit **EuroHPC** und globalen Partnern, um technologische Führungsrollen zu behaupten.

---

3. Zentrale Herausforderungen und Chancen bis 2030

3.1 Herausforderungen

- **Energiebedarf & Kosten:** HPC-Systeme benötigen enorme Mengen an Strom und effiziente Kühlung.
- **Abhängigkeit von Hardwarelieferketten:** Deutschland ist stark von nicht-europäischen Anbietern abhängig.
- **Fachkräftemangel:** Es fehlen Expert:innen für HPC-Architekturen, KI-Integration und Rechenzentrumsbetrieb.
- **Fragmentierung der Infrastrukturen:** Siloartige Strukturen erschweren gemeinsame Nutzung und Synergien.
- **Datensouveränität & Cybersecurity:** Wachsende Risiken durch geopolitische Spannungen und Cyberangriffe.

3.2 Chancen

- **Green HPC Leadership:** Führungsrolle durch Einsatz erneuerbarer Energien und Wärmerückgewinnung.
- **AI + HPC Konvergenz:** Fortschritte in autonomen Systemen, Klimaforschung, Medikamentenentwicklung.
- **Quantum-Integration:** Hybrid-HPC-Systeme mit Quantenbeschleunigern für komplexe Berechnungen.
- **Europäische Kooperation:** Ausbau der Zusammenarbeit über **EuroHPC**, Gaia-X und das European Chips Act.

---

4. Rahmenbedingungen zur Förderung von Investitionen und Innovation

4.1 Energie & Infrastruktur

- **Steuerliche Anreize** für energieeffiziente HPC-Zentren.
- **Förderprogramme** für Wärmerückgewinnung und nachhaltige Energieintegration.

- **Beschleunigte Genehmigungsverfahren** für Neubauten und Netzmodernisierungen.

4.2 Finanzierung & R&D-Förderung

- Ausbau öffentlicher Investitionen in **Exascale-HPC-Systeme**.
- Langfristige Finanzierungsmodelle zur Senkung von CAPEX- und OPEX-Kosten.
- Stärkung von **Public-Private-Partnerships** für Rechenzentrumsinnovationen.

4.3 Regulierung & Harmonisierung

- Vereinfachung der **GDPR-konformen Datennutzung** in Forschung und Industrie.
- Entwicklung von **Sicherheits- und Souveränitätsstandards** für kritische Infrastrukturen.

---

5. Rolle des Staates in einer souveränen und resilienten Recheninfrastruktur

Der Staat sollte eine **aktive, strategische Rolle** übernehmen:

- **Investitionen in kritische Infrastruktur:** Aufbau nationaler und europäisch vernetzter Exascale-Zentren.
- **Digitale Souveränität:** Förderung europäischer Chip- und Prozessorinitiativen (z. B. **EPI – European Processor Initiative**).
- **Cybersecurity-Strategien:** Verpflichtende Sicherheitszertifizierungen und Echtzeit-Bedrohungsüberwachung.
- **Bildungsoffensive:** Aufbau von HPC-Akademien und gezielte Förderung von Talenten.

---

6. Qualitätsmanagement im gesamten Lebenszyklus von HPC-Zentren

Ein nachhaltiger Betrieb von HPC-Zentren erfordert ein ganzheitliches **Qualitätsmanagement** über alle Lebensphasen hinweg:

6.1 Qualitätsmanagement

- Einführung von **ISO 9001-konformen Prozessen** zur Sicherstellung von Stabilität, Leistung und Effizienz.
- Regelmäßige **Leistungs-Audits** und Benchmarking gegen internationale Standards.

6.2 Dokumentationsmanagement

- Zentralisierte Verwaltung von **Systemarchitekturen, Betriebsdokumentation, Sicherheitskonzepten** und Upgrade-Protokollen.

- Verwendung standardisierter Tools für **Versionierung und Nachvollziehbarkeit**.

6.3 Änderungsmanagement (Change Management)

- Klare Prozesse für **Technologie-Upgrades, Patch-Management und Softwaremigrationen**.
- Risikobewertungen vor Implementierung neuer Hardware- oder Softwarekomponenten.

6.4 Anomalie- & Incident-Management

- Automatisierte **Monitoring-Tools** zur Früherkennung von Ausfällen und Performance-Engpässen.
- Implementierung von **Root-Cause-Analysen** zur nachhaltigen Fehlerbehebung.

---

7. Betrieb, Wartung und Stilllegung von HPC-Zentren

7.1 Betrieb & Wartung

- **Proaktive Wartungsstrategien** zur Minimierung von Ausfällen.
- Einsatz von **Predictive Maintenance** auf Basis von KI und Sensorik.
- Dedizierte **24/7-Supportstrukturen** für kritische Anwendungen.

7.2 IT-Sicherheit im Betrieb

- Kontinuierliche **Penetrationstests** und Echtzeit-Überwachung der Netzwerke.
- Etablierung klarer **Notfallpläne** und Redundanzstrategien.

7.3 Stilllegung & Recycling

- Entwicklung von **ökologischen Decommissioning-Prozessen**, inkl. Rückführung von Hardware in Kreislaufwirtschaft.
- Sichere Löschung sensibler Daten bei der Außerbetriebnahme.
- Wiederverwendung von Infrastrukturressourcen, um Kosten und CO_2-Fußabdruck zu senken.

---

8. Konkrete Maßnahmen & Best Practices

Handlungsfeld	Empfohlene Maßnahme	Internationale Referenz
Green HPC	Flüssigkühlung + Wärmerückgewinnung	**LUMI (Finnland)** nutzt Abwärme für Stadtwärme
Exascale HPC	Modularer Ausbau mit Energieoptimierung	**Frontier (USA)**: dynamisches Power Management
Souveränität	Europäische Chips & Hardware-Initiativen	**EPI (EU)** entwickelt eigene HPC-Prozessoren

Handlungsfeld	Empfohlene Maßnahme	Internationale Referenz
Hybrid HPC/Cloud	Föderierte Plattformen für KI + HPC	**Gaia-X / EuroHPC**-Kopplung
Talente & Bildung	Nationale HPC-Ausbildungsprogramme	**PRACE Training Centers** (Europaweit)
Qualitätsmanagement	ISO 9001 + Incident Response Frameworks	**NCSA (USA)** & **Jülich Supercomputing Centre**

9. Roadmap bis 2030

Zeithorizont	Priorität	Maßnahmen
2025	Sofortmaßnahmen	Steuerliche Anreize, Energieverträge, HPC-Talentprogramme
2026-2027	Aufbauphase	Ausbau Exascale-Systeme, Integration von Gaia-X, Investitionen in R&D
2028-2029	Skalierung	Flächendeckende Nutzung von Wärmerückgewinnung, Quantenintegration
2030	Zielbild	Deutschland als führender Standort für **grüne, souveräne, leistungsstarke HPC-Infrastrukturen**

10. Zusammenfassung & Empfehlungen

- **Vision 2030:** Deutschland etabliert sich als global führender Standort für nachhaltige, souveräne und leistungsfähige Rechenzentren.
- **Strategische Säulen:**
    1. **Technologische Führerschaft** (Exascale, KI, Quantenintegration)
    2. **Nachhaltigkeit** (100 % erneuerbare Energien, Wärmerückgewinnung)
    3. **Digitale Souveränität** (europäische Chips, Gaia-X, Datensouveränität)
    4. **Qualitätsmanagement & Betriebssicherheit** (Lebenszyklusmanagement, Change Control, Predictive Maintenance)
    5. **Talentförderung & R&D** (HPC-Akademien, Public-Private-Partnerships)
    6. **Europäische Integration** (EuroHPC, Gaia-X, Chips Act)

Fazit: Eine nationale Rechenzentrumsstrategie muss technologieoffen, nachhaltig, resilient und europäisch vernetzt gestaltet werden. Nur so kann Deutschland langfristig seine Wettbewerbsfähigkeit sichern und Innovationen fördern.