Einreichung zur Nationalen Rechenzentrumsstrategie

Absender:
Jürgen Tibes
Confluentes Consulting UG (haftungsbeschränkt)
Südallee 76
56068 Koblenz
Deutschland
Telefon: +49 (0) 176 37 222 144
E-Mail: tibes@confluentes.info

Version:
Version 1.0 - 31. August 2025

Einleitung

Mit der zunehmenden Durchdringung digitaler Dienste und Technologien wie Cloud-Computing, künstlicher Intelligenz (KI) und Industrie 4.0 steigt der Energiebedarf von Rechenzentren rasant. Prognosen der Internationalen Energieagentur (IEA) zeigen, dass der weltweite Stromverbrauch von Datenzentren sich bis 2026 nahezu verdoppeln könnte[i]. Gleichzeitig treiben rechenintensive Anwendungen - allen voran generative KI - die Leistungsdichte in den Rechenzentren hoch und lassen den Energieverbrauch weiter ansteigen[ii].

Auf EU-Ebene wurde im Rahmen des European Green Deal und der Digitalen Dekade bereits das Ziel formuliert, Rechenzentren bis spätestens 2030 klimaneutral zu betreiben[iii].
Vor diesem Hintergrund bedarf es einer umfassenden nationalen Rechenzentrumsstrategie, die den Weg zu energieeffizienten und klimaneutralen Rechenzentren ebnet. Zugleich gilt es, Resilienz sowie technologische Souveränität zu stärken, um diese kritische digitale Infrastruktur zukunftsfähig auszurichten.

Aus meiner Beratungspraxis für digitale Infrastrukturen und Rechenzentren - mit Spezialisierung auf KI-gestützte Überwachungs- und Optimierungslösungen - möchte ich eine fachliche Perspektive in den Konsultationsprozess einbringen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass durch die Verknüpfung von IoT-Sensorik, digitalen Zwillingen und maschinellem Lernen die thermischen und elektrischen Abläufe in Rechenzentren in **Echtzeit** überwacht und optimiert werden können.

Ein besonderes Potenzial liegt in der Nutzung intelligenter Systeme zur **dynamischen Steuerung von IT-Workloads**: Ein KI-gestütztes, energieoptimiertes Scheduling ermöglicht es, flexibel verschiebbare Rechenlasten so zu planen, dass Serverauslastung und Stromverbrauch besser mit der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien synchronisiert werden.

Diese Einreichung hat das Ziel, Impulse für eine **resiliente**, **klimaneutrale** und **technologisch souveräne** Rechenzentrumsstrategie zu geben. Im Folgenden werden die Leitfragen des Bundesministeriums systematisch beantwortet und mit konkreten Empfehlungen untersetzt. Die Schwerpunkte liegen dabei auf verbessertem **Monitoring** und **Daten-Transparency**, dem Einsatz **digitaler Zwillinge**, KI-gestütztem **energieoptimiertem Scheduling** von IT-Lasten sowie der verstärkten **Nutzung von Abwärme**. Darüber hinaus werden auch **regulatorische Vorschläge** unterbreitet, um einen geeigneten Rahmen für die Umsetzung dieser Maßnahmen zu schaffen.

Merkmale eines zukunftsfähigen Rechenzentrumsstandorts 2030

- **Energieeffizienz und Klimaneutralität:** Rechenzentren müssen die Stromversorgung zu 100 % aus erneuerbaren Energien decken (wie es das Energieeffizienzgesetz ab 2027 fordert)[iv]. Durch intelligente Kühlung, Waste-Heat-Nutzung und KI-gestützte Prozesssteuerung lässt sich der Energiebedarf deutlich reduzieren. Aus realen Projekten lässt sich ableiten, dass eine kontinuierliche Echtzeit-Optimierung thermischer Abläufe den Kühlenergiebedarf typischerweise um 10–30 % reduziert.

- **Transparente Daten und ESG-Reporting:** Betreiber sollten verpflichtend Energie- und CO_2-Daten erfassen und melden. Granulare Messungen mittels Sensorik ermöglichen aussagekräftige ESG-Berichte und erleichtern den Vergleich zwischen Standorten[v]. Nachhaltigkeit und Transparenz spielen eine immer zentralere Rolle - nicht zuletzt auf Druck der Finanzmärkte, Regulierungsbehörden und Gesellschaft. Der rechtliche Rahmen für ESG-Berichterstattung (Environment, Social, Governance)[vi] hat sich in den letzten Jahren deutlich verschärft - sowohl auf EU- als auch auf nationaler Ebene.

- **Digitale Zwillinge und KI-Optimierung:** Digitale Zwillinge ermöglichen Simulationen, sodass Änderungen an Kühlanlagen und IT-Lasten ohne Risiko getestet werden können. KI-Algorithmen erkennen Hot-Spots, Überkühlung oder Ausfälle frühzeitig und empfehlen Gegenmaßnahmen. Solche Systeme werden zum Standardwerkzeug, um Rechenzentren resilienter zu machen.

- **Energiebewusstes Prozess-Scheduling:** Zeitlich flexible Workloads - etwa KI-Training oder Batch-Verarbeitung - werden automatisch zu Perioden hoher erneuerbarer Stromerzeugung verlagert. Ein Forschungsprojekt des MIT zeigte, dass intelligente Scheduling-Software AI-Workloads so verschieben kann, dass der CO_2-Ausstoß um 80-90 % sinkt[vii]. Gleichzeitig lassen sich Lastspitzen im Netz glätten.

- **Integration in lokale Energienetze:** Rechenzentren agieren künftig als energiebewusste Knotenpunkte. Sie beziehen Strom aus nahegelegenen PV- oder Windanlagen und geben Abwärme an Fernwärmenetze ab.

Herausforderungen und Chancen für den Standort Deutschland

Herausforderungen:

- **Rasanter Strombedarf:** AI-getriebene Rechenzentren könnten den globalen Energiebedarf bis 2030 vervielfachen[viii]. Ohne Effizienzmaßnahmen drohen Netzengpässe[ix] und steigende Strompreise.

- **Hohe Leistungsdichten:** Aktuelle KI-Chips erfordern bis zu 100 kW Kühlleistung pro Rack[x]. Klassische Luftkühlung stößt an ihre Grenzen; der Ausbau von Flüssigkühlung ist kostspielig und technisch komplex.

- **Fachkräftemangel und Komplexität:** Der Betrieb hochdichter Anlagen erfordert Spezialwissen in Kühlung, Sensorik und AI. Gleichzeitig herrscht Personalmangel in technischen Berufen.

- **Regulatorische Unsicherheit:** In Deutschland existieren bislang nur sektorale Vorgaben (EnEfG[xi], IT-Sicherheitsgesetz[xii]). Es fehlt ein ganzheitlicher regulatorischer Rahmen, der Planungssicherheit bietet und Innovation belohnt.

Chancen:

- **Technologische Führerschaft:** Deutschland kann sich als Standort für nachhaltige Rechenzentren etablieren, indem es KI-basierte Monitoring- und Prozess-Scheduling-Lösungen fördert.

- **Kreislaufwirtschaft und Abwärmenutzung:** Die Nutzung von Abwärme zur Beheizung von Gebäuden oder Schwimmbädern bietet großes CO_2-Einsparpotenzial[xiii].

- **Edge-Computing und regionale Wertschöpfung:** Dezentralisierte Strukturen reduzieren Latenzen und verteilen Lasten. Dies stärkt regionale Wertschöpfung und entlastet Ballungsräume.

Notwendige Änderungen der Rahmenbedingungen

Damit Deutschland im internationalen Wettbewerb als Standort für nachhaltige und souveräne Rechenzentren bestehen kann, müssen die nationalen Rahmenbedingungen enger mit den europäischen Zielen verknüpft werden. Der European Green Deal und die Digitale Dekade 2030 setzen klare Leitplanken: Bis 2030 sollen Rechenzentren klimaneutral, hoch effizient und in die Energiewende integriert sein. Die EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EED) verpflichtet Betreiber großer Rechenzentren bereits heute, jährliche Transparenzberichte zu Energieverbrauch, Abwärmenutzung und Power Usage Effectiveness (PUE)-Kennzahlen[xiv] zu veröffentlichen. Auch die EU-Taxonomie für nachhaltige Investitionen definiert Kriterien, nach denen „grüne“ Rechenzentren klassifiziert werden. Deutschland sollte diese Vorgaben nicht nur umsetzen, sondern aktiv ausgestalten und mit nationalen Innovationsprogrammen flankieren.

- **Einführung einer umfassenden Energie-Transparenzpflicht:** Betreiber sollten verpflichtet werden, ihren Energieverbrauch und CO_2-Ausstoß granular zu messen und zu veröffentlichen. Nur so lassen sich Benchmarks erstellen und Effizienzpotenziale identifizieren.

- **Förderung von Forschung und Entwicklung:** Der Staat sollte Forschung zu Digital-Twin-Modellen, KI-gesteuerter Lastverschiebung und fortschrittlicher Kühlung (z. B. Flüssigkühlung) unterstützen. Pilotprojekte sollten gefördert werden, um Technologien wie energiebewusster Prozess-Scheduling in der Praxis zu testen.

- **Infrastrukturausbau:** Der Ausbau von Stromnetzen und Erneuerbaren muss mit dem wachsenden Bedarf Schritt halten. Genehmigungsverfahren für Photovoltaik- und Windanlagen in der Nähe von Rechenzentren sind zu beschleunigen.

- **Standardisierung und Zertifizierung:** Es sollten klar definierte Effizienzstandards (z. B. PUE-Grenzwerte) und Zertifizierungen (z. B. „Green Data Center“) eingeführt werden, um Investoren und Nutzern Orientierung zu geben.

- **Flexibilitätsmärkte für Rechenzentren:** Der Zugang zu Demand-Response-Programmen und Strompreis-Signalen sollte erleichtert werden. Energie-bewusste Prozess-Scheduler können Lasten verschieben und so Netzstabilität unterstützen.

Rolle des Staates

Der Staat sollte die Rahmenbedingungen schaffen, damit Rechenzentren effizient, klimaneutral und innovativ betrieben werden können. Dazu gehören:

- **Regulatorischer Rahmen:** Verbindliche Vorgaben zu Energieeffizienz (z. B. Mindestanteil erneuerbarer Energie, PUE-Grenzwerte) und Sicherheitsstandards.

- **Finanzielle Anreize:** Steuervergünstigungen oder Investitionsprämien für den Einsatz von AI-gestützter Monitoring- und Scheduling-Software, energieeffizienter Hardware und erneuerbarer Energieversorgung.

- **Forschungsförderung:** Programme wie „Klimaneutrales Rechenzentrum“ könnten universitäre und industrielle Forschung in den Bereichen Digital Twin, Abwärmenutzung und KI-Prozessplanung unterstützen.

- **Koordination und Wissensaustausch:** Der Staat kann Plattformen für den Austausch von Best Practices und Monitoring-Daten schaffen. Eine öffentliche Wissensdatenbank, wie im Konsultationsprozess angekündigt, sollte erweitert und dauerhaft gepflegt werden.

- **Musterprojekte und Vorbildrolle:** Öffentliche IT-Infrastrukturen sollten als Pilotprojekte dienen, um die Machbarkeit von KI-basiertem Monitoring und Scheduling zu demonstrieren.

Konkrete Maßnahmen und Best Practices

- **Echtzeit-Überwachung und digitale Zwillinge:** Sensorbasierte Überwachung in Kombination mit 3-D-Visualisierung ermöglicht eine lückenlose Sicht auf Temperatur, Luftfeuchte und Energieflüsse. KI-Algorithmen identifizieren Hot-Spots, Überkühlung und Anomalien frühzeitig. In Studien konnten so 10-30 % Kühlenergie eingespart werden.

- **KI-gestützte Prozess-Planung:** Software sollte die Kohlenstoffintensität des Stroms und die Verfügbarkeit erneuerbarer Quellen berücksichtigen. Eine MIT-Studie zeigte, dass sich AI-Workloads, die nicht zeitkritisch sind, durch intelligentes Scheduling in andere Zeitfenster oder Regionen verschieben lassen, um den CO_2-Ausstoß, um bis zu 90 % zu reduzieren.

- **Abwärme nutzbar machen:** In Frankfurt kann der Stromverbrauch großer Rechenzentren genug Wärme liefern, um zehntausende Wohnungen zu heizen[xv]. Projekte wie DC2HEAT zeigen, wie KI-basierte Steuerung die Wärmeauskopplung optimiert[xvi].

- **Energieeffiziente Hardware und Kühlung:** Die Umstellung auf Flüssigkühlung ermöglicht höhere Leistungsdichten und spart Energie. Gleichzeitig sollten Betreiber kontinuierlich effizientere Server und KI-Hardware einsetzen.

- **Ausbildung und Qualifizierung:** Die Komplexität moderner Rechenzentren erfordert Fachkräfte, die Sensorik, Thermodynamik und KI-Methoden verstehen. Weiterbildungsprogramme und Partnerschaften mit Hochschulen sind essenziell.

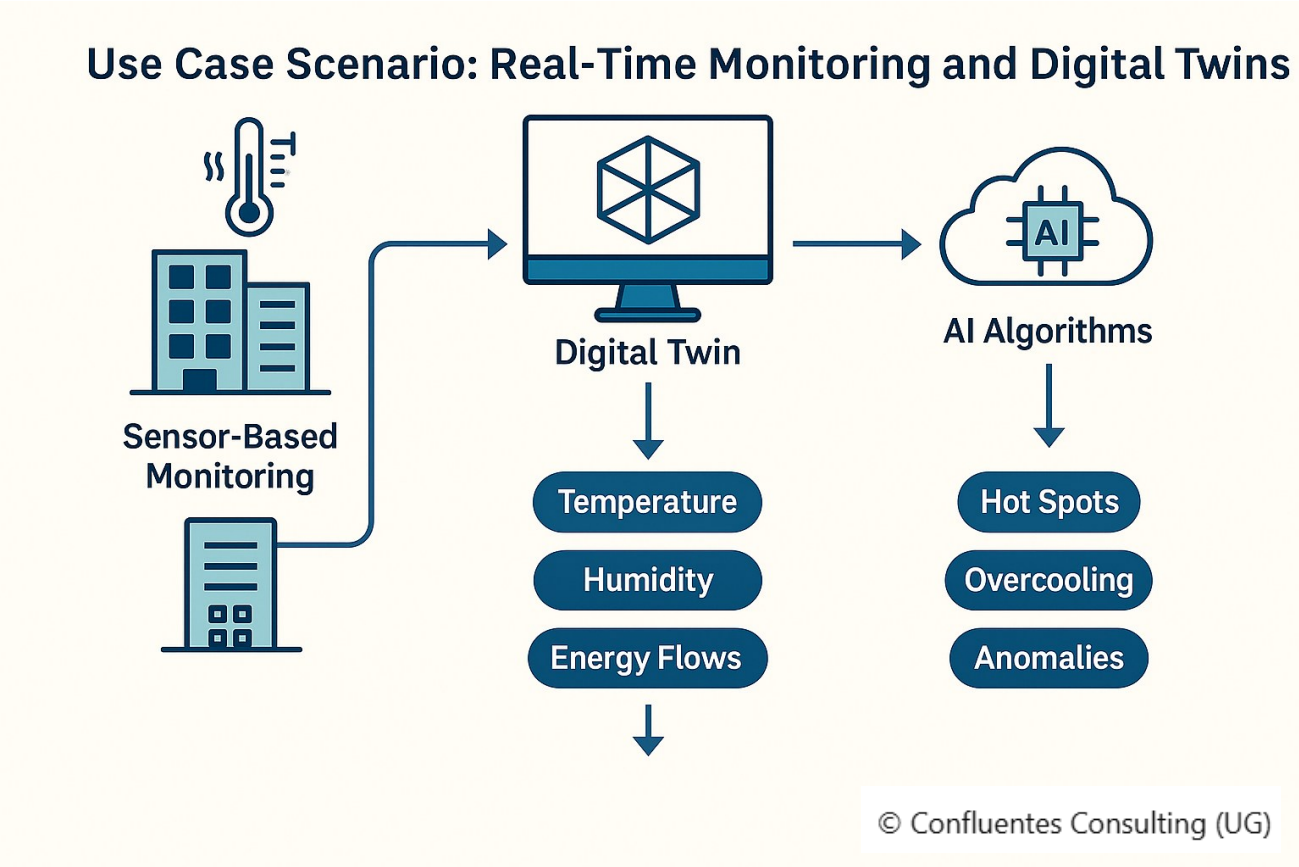
Schlussfolgerung

Der geplante Konsultationsprozess bietet die Chance, Deutschland als Standort für nachhaltige und leistungsstarke Rechenzentren zu positionieren. KI-gestützte Überwachung und proaktives Prozess-Scheduling sind zentrale Bausteine einer solchen Strategie. Sie ermöglichen es, den Energieverbrauch zu senken, erneuerbare Energien besser zu nutzen und gleichzeitig die steigenden Anforderungen von KI-Workloads zu erfüllen. Wir stehen bereit, unsere Expertise aus der Praxis in den weiteren Prozess einzubringen und Pilotprojekte zu unterstützen.
Darüber hinaus ist es entscheidend, dass die nationale Rechenzentrumsstrategie eng mit den aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen für ESG-Reporting verzahnt wird. Nachhaltigkeit und Transparenz sind nicht mehr freiwillige Zielsetzungen, sondern durch EU-Richtlinien und deutsche Gesetze verbindlich vorgeschrieben:

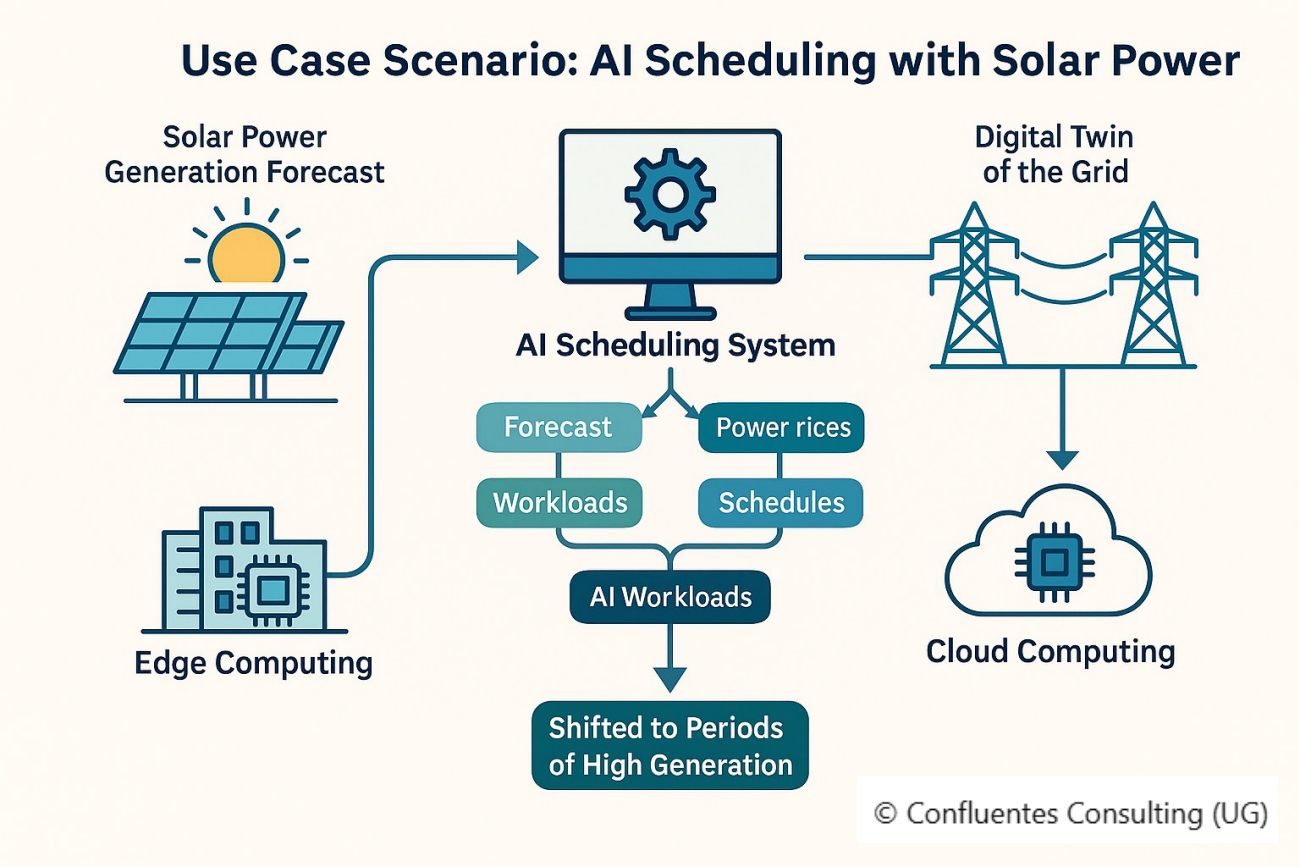
- Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD): Ab 2024 verpflichtet sie große Unternehmen zu detaillierten Nachhaltigkeitsberichten nach den Europäischen Standards (ESRS), mit verpflichtender externer Prüfung.
- Sustainable Finance Disclosure Regulation (SFDR): Sie betrifft zwar primär Finanzmarktakteure, wirkt aber indirekt auf Rechenzentrumsinvestitionen, da Kapitalströme zunehmend an Nachhaltigkeitskriterien gebunden werden.
- EU-Taxonomie: Sie definiert, welche wirtschaftlichen Aktivitäten als nachhaltig gelten. Rechenzentren profitieren, wenn sie Kriterien wie Energieeffizienz, PUE-Optimierung und Nutzung erneuerbarer Energien erfüllen.
- Energy Efficiency Act (EnEfG, Deutschland): Rechenzentren ab 300 kW müssen detaillierte Energiekennzahlen wie Stromverbrauch, Anteil erneuerbarer Energien, PUE und Abwärmenutzung öffentlich berichten und an zentrale Stellen übermitteln.
- Deutscher Nachhaltigkeitskodex (DNK): Als freiwilliger Transparenzstandard unterstützt er insbesondere KMU, ihre Berichtspflichten strukturiert zu erfüllen.

Diese Vorgaben schaffen Verbindlichkeit und Vergleichbarkeit. Rechenzentrumsbetreiber müssen sich darauf einstellen, dass Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und Transparenz zentrale Investitionskriterien werden. Wer die gesetzlichen Anforderungen erfüllt und gleichzeitig Innovation in Monitoring, Scheduling und Abwärmenutzung einsetzt, sichert sich Wettbewerbsvorteile im europäischen und globalen Markt.

Deutschland kann so nicht nur nationale Klimaziele erreichen, sondern auch einen maßgeblichen Beitrag zur Umsetzung der Digitalstrategie und Klimaneutralitätsziele der Europäischen Union bis 2030 leisten.



Use Case 1: Real Time Monitoring and Digital Twins



Use Case 2: AI Scheduling with Solar Power

Quellen

[i] Sonnenseite (2024). *Wie Rechenzentren Europas Stromnetz und Klimaschutz belasten.* Verfügbar unter: https://www.sonnenseite.com/de/energie/wie-rechenzentren-europas-stromnetz-und-klimaschutz-belasten (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[ii] MIT Sustainability (2024). *Explained: Generative AI's environmental impact.* Verfügbar unter: https://sustainability.mit.edu/article/explained-generative-ais-environmental-impact (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[iii] DataCenterDynamics (2023). *EU wants data centers be carbon neutral 2030.* Verfügbar unter: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/eu-wants-data-centers-be-carbon-neutral-2030 (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[iv] Mazur, K. & Kreuzer, S. (2025). *Energieversorgung für Rechenzentren – Ausblick 2025.* JLL. Verfügbar unter: https://www.jll.com/de-de/insights/energie-sicherheit-und-anpassungsfahigkeit-im-fokus (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[v] Billson, C. (2025). *Everest Digital's Tier III data center becomes a benchmark for sustainability, energy efficiency, and operational intelligence using EkkoSense.* EkkoSense, 7. Juli. Verfügbar unter: https://www.ekkosense.com/resources/case-studies/everest-digitals-tier-iii-data-center-becomes-a-benchmark-for-sustainability-energy-efficiency-and-operational-intelligence-using-ekkosense (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[vi] PwC Deutschland (2024). *ESG-Reporting im Property- und Facility-Management.* Verfügbar unter: https://www.pwc.de/de/nachhaltigkeit/nachhaltigkeit-in-der-immobilienbranche/esg-reporting-im-property-und-facility-management.html (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[vii] Gadepally, V. (2025). *AI has high data center energy costs — but there are solutions.* MIT Sloan, 7. Januar. Verfügbar unter: https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/ai-has-high-data-center-energy-costs-there-are-solutions (Zugriff: 30. Aug. 2025).

[viii] International Energy Agency (IEA) (2025). *AI is set to drive surging electricity demand from data centres while offering the potential to transform how the energy sector works.* 10. April. Verfügbar unter: https://www.iea.org/news/ai-is-set-to-drive-surging-electricity-demand-from-data-centres-while-offering-the-potential-to-transform-how-the-energy-sector-works (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[ix] Schlüter, S. (2025, 21. August). *Strompreis: Land wehrt sich gegen Aufteilung*. Staatsanzeiger. Abgerufen am 30. August 2025, von https://www.staatsanzeiger.de/nachrichten/politik-und-verwaltung/strompreis-land-wehrt-sich-gegen-aufteilung/

[x] von der Heydt, T. (2025). *Rechenzentrum-Trends 2025: Innovationen zwischen KI-Power, grüner Energie und modularer Flexibilität.* Prior1, 13. Januar. Verfügbar unter: https://prior1.com/blog/rechenzentrum-trends-2025-innovationen-zwischen-ki-power-gruener-energie-und-modularer-flexibilitaet (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xi] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2023). *Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz – EnEfG).* 18. November. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enefg/BJNR1350B0023.html (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xii] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) (o. D.). *IT-Sicherheitsgesetz 2.0.* Verfügbar unter: https://www.bsi.bund.de/DE/Das-BSI/Auftrag/Gesetze-und-Verordnungen/IT-SiG/2-0/it_sig-2-0_node.html (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xiii] Reset.org (2024). *Wiederverwendung von Abwärme aus Rechenzentren – wie unser digitales Leben uns warmhalten könnte.* Verfügbar unter: https://reset.org/wiederverwendung-von-abwaerme-aus-rechenzentren-wie-unser-digitales-leben-uns-warm-halten-koennte (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xiv] Digital Realty (2024). *What is Power Usage Effectiveness (PUE)?* Verfügbar unter: https://www.digitalrealty.ch/resources/articles/what-is-power-usage-effectiveness (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xv] MIT Sloan Management Review (2024). *AI has high data center energy costs — but there are solutions.* MIT Sloan School of Management. Verfügbar unter: https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/ai-has-high-data-center-energy-costs-there-are-solutions (Zugriff: 31. Aug. 2025).

[xvi] Borderstep Institut (2024). *DC2HEAT – Rechenzentrumsabwärme für die Wärmewende nutzbar machen.* Verfügbar unter: https://www.borderstep.de/projekte/dc2heat (Zugriff: 31. Aug. 2025).