

MONITOR

INNOVATION/ENERGIE & ROHSTOFFE

Der Wettlauf um physische Grundlagen der KI

Wie Strom, Wasser und kritische Rohstoffe über Technologieführerschaft bei Künstlicher Intelligenz entscheiden

Simon Engelkes & Alesia Makaj

- › Der durch KI und Cloud-Technologien vorangetriebene Ausbau von Rechenzentren lässt den Strombedarf deutlich schneller steigen als den Gesamtstromverbrauch.
- › In Europa hat sich der schleppende Ausbau der Stromnetze zu einem kritischen Engpass für KI-Investitionen und die digitale Wettbewerbsfähigkeit erwiesen.
- › KI-Infrastruktur dürfte sich zunehmend an der Verfügbarkeit von Strom orientieren („data moves to power“), insbesondere in Regionen mit einem hohen Angebot an erneuerbarer Stromerzeugung.
- › Große Rechenzentren benötigen erhebliche Mengen an Kühlwasser, weshalb Wasserverfügbarkeit zu einem wichtigen Kriterium für künftige Standorte von KI-Infrastruktur wird.
- › Kritische Rohstoffe sind für KI-Hardware unverzichtbar: Kupfer, Silizium, Gallium, Seltene Erden und Lithium sind für Chips, Stromversorgungssysteme, Kühltechnologien und Batterien essenziell.
- › Rechenzentren konkurrieren zunehmend mit der Energiewende, Elektrifizierungsbestreben, Elektromobilität, Wasserstoffproduktion und dem Verteidigungssektor um Strom, Netzkapazitäten und Rohstoffe.
- › Technologische Souveränität im KI-Bereich wird zunehmend vom sicheren Zugang zu günstigem Strom, dem zügigen Ausbau der Infrastruktur, einer zuverlässigen Rohstoffversorgung und ausreichend Wasserressourcen abhängen.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	2
Das wirtschaftliche Versprechen der KI.....	3
Rechenleistung als strategische Ressource.....	4
Die Maschinenräume der KI.....	4
Der Rechenzentrums-Boom in Deutschland	5
Die physischen Grundlagen der KI: Ressourcen und Infrastruktur.....	5
Energieversorgung von Rechenzentren	6
Der Verteilungskampf um Elektronen	6
Der Engpass im Stromnetz.....	7
Wasserverbrauch	8
Kritische Rohstoffe	10
Energie, Rohstoffe und Infrastruktur als neue Engpässe	12
Die neue „Geografie der KI-Macht“	12
Derzeitige Spitzenreiter weiterhin im Vorteil	13
Was das für Deutschland und Europa bedeutet	13
Politische Schlussfolgerungen.....	14
Digitale Souveränität ist eine Frage der Ressourcensicherheit	14
KI ist Teil industrieller Wertschöpfung.....	15
Europas „KI-Heimvorteil“ nutzen.....	15
Entwicklung „ressourcenbewusster“ KI-Infrastrukturzonen	15
Impressum	18

Einleitung

Wenn es um künstliche Intelligenz (KI) geht, ist häufig die Rede von Algorithmen, Modellen und hochqualifizierten Fachkräften. Die Frage nach KI-Führerschaft entscheidet sich jedoch nicht nur bei der Technologie und im digitalen Raum. Jedes neue KI-Modell und jeder beantworteter Prompt setzen „physische Grundlagen“ voraus: eine zuverlässige und kostengünstige Stromversorgung für die erforderliche Rechenleistung, ausreichend Wasser für die Kühlung der Rechenzentren, kritische Rohstoffe für die technischen Komponenten sowie eine ausreichend ausgebaute Netzinfrastruktur. Je stärker KI in Volkswirtschaften und der Gesellschaft zum Einsatz

kommt und verankert wird, desto weniger geht es darum, wer die fortschrittlichsten Systeme entwickeln, sondern auch, wer sich die für deren Betrieb erforderlichen Ressourcen sichern kann. Technologische Innovationskraft entscheidet nicht allein über Wettbewerbsfähigkeit. Damit wird KI-Politik immer enger mit Energiepolitik, Wassermanagement, Infrastrukturplanung und Versorgungsfragen bei kritischen Rohstoffen verknüpft.

Diese Voraussetzungen wiederum werden stark von geografischen und geopolitischen Faktoren geprägt. Der Zugang zu bezahlbarer Energie, klimaresilienten Wasserressourcen, ausreichenden Netzkapazitäten und sicheren Lieferketten ist weltweit ungleich verteilt. Länder wie die USA und China sind derzeit führend bei der Entwicklung großer Sprachmodelle und anderer innovativer KI-Systeme. In der nächsten Phase des globalen KI-Wettbewerbs könnten jedoch diejenigen im Vorteil sein, die Strom, Wasser, Land und Bodenschätze effektiver nutzen können als ihre Konkurrenten. Angesichts steigender Energiepreise, einer durch den Klimawandel verschärften Wasserknappheit in vielen Weltregionen und eines zunehmenden Wettbewerbs um kritische Rohstoffe – sowohl zwischen Staaten als auch zwischen und innerhalb der Industrie – entwickelt sich der Wettlauf um die Führungsrolle im Bereich der KI zunehmend gleichermaßen zu einem Wettstreit um physische Ressourcen wie um digitale Innovationsfähigkeit. Wer die physischen Anforderungen der KI am schnellsten und kostengünstigsten erfüllen oder KI-Modelle mit möglichst geringem Ressourcenverbrauch entwickeln und einsetzen kann, wird im künftigen globalen KI-Machtgefüge am besten positioniert sein.

Das wirtschaftliche Versprechen der KI

Künstliche Intelligenz ist zu einem der mestdiskutierten Themen in der wirtschaftspolitischen Debatte geworden. Befürworterinnen und Befürworter argumentieren, dass die Einführung Künstlicher Intelligenz eine neue Welle des Produktivitätswachstums auslösen, industrielle Strukturen neu gestalten und zu einem entscheidenden Faktor für die nationale Wettbewerbsfähigkeit werden könnte. Diese Erwartung hat wiederum Regierungen, Unternehmen und Investoren weltweit dazu veranlasst, die Entwicklung und den Einsatz Künstlicher Intelligenz stärker voranzutreiben.

Eine breitere Nutzung von KI sowie höhere Investitionen und Innovationen in diesem Bereich werden von Wirtschaftswissenschaftlern mit einer höheren Produktivität¹ und moderneren Industriestrukturen in Verbindung gebracht, da KI Ressourcen und Fachkräfte in technologieintensivere Bereiche verlagern und zugleich traditionelle Industriezweige durch intelligentere Produktionsprozesse modernisieren kann.² Zudem wird vermehrt erwartet, dass sich KI zu einer „Allzwecktechnologie“ entwickeln könnte, deren gesamtwirtschaftliche Auswirkungen mit denen früherer industrieller Revolutionen vergleichbar wären. Schätzungen zufolge könnte KI bis 2030 bis zu 13,5 Billionen Euro zum globalen Bruttoinlandsprodukt beitragen und damit in den nächsten zehn Jahren zu einer der größten Quellen wirtschaftlicher Wertschöpfung werden.³ Nach Angaben des Internationalen Währungsfonds (IWF) werden gleichzeitig fast 40 Prozent der Arbeitsplätze weltweit mit KI in Berührung kommen; in den Industrieländern dürfte dieser Anteil auf rund 60 Prozent steigen. Dies bedeutet, dass ein erheblicher Teil der künftigen Wirtschaftsleistung durch KI-gestützte Prozesse erzeugt, unterstützt oder verändert werden könnte.⁴ Obwohl diese Prognosen nach wie vor mit großer Unsicherheit behaftet sind, da sich das Tempo der Einführung von KI und die daraus resultierenden Produktivitätsgewinne nur schwer vorhersagen lassen, haben sie die Erwartung unter politischen Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern, Ökonomeninnen und Ökonomen sowie Investorinnen und Investoren bestärkt, dass KI eine zentrale Rolle für das Wirtschaftswachstum der Zukunft spielen wird.

Angesichts dieses Potenzials setzt bereits eine kritische Masse europäischer Unternehmen – überproportional häufig größere Unternehmen – KI im Arbeitsalltag ein. Laut Eurostat stieg der Anteil

der EU-Unternehmen mit zehn oder mehr Beschäftigten, die mindestens eine KI-Technologie einsetzen, von rund 13,5 Prozent im Jahr 2024 auf knapp 20 Prozent im Jahr 2025 – wobei nach wie vor überwiegend textbasierte Anwendungen zum Einsatz kommen.⁵ Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die zunehmende Integration von KI in Geschäftsprozesse die Nachfrage nach der für die Entwicklung und den Betrieb von KI-Systemen erforderlichen Recheninfrastruktur steigern wird.

Rechenleistung als strategische Ressource

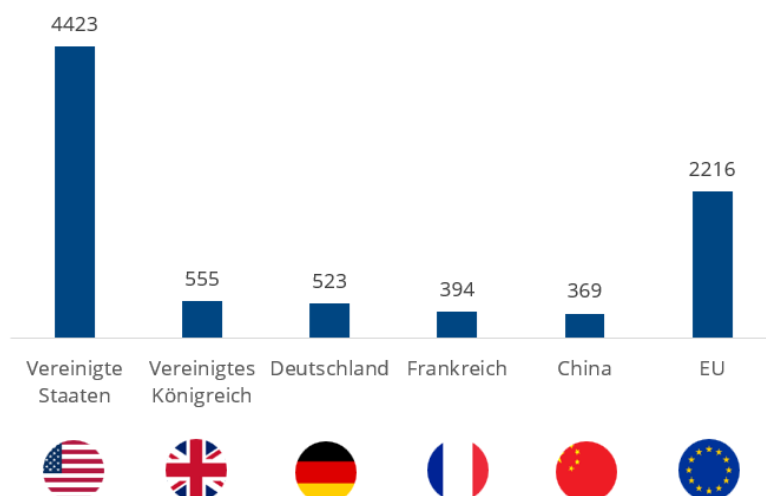
Rechenleistung ist zu einem entscheidenden Faktor im KI-Ökosystem geworden, da die Leistungsfähigkeit moderner KI-Systeme nicht nur von Daten und Algorithmen, sondern auch in hohem Maße vom Zugang zu umfangreichen Rechenressourcen abhängt. Mit zunehmender Komplexität der KI-Modelle steigt der Rechenleistungsbedarf sowohl für das Training als auch den Einsatz erheblich, sodass die verfügbare Recheninfrastruktur zu einem entscheidenden Faktor wird. Vor diesem Hintergrund haben Regierungen und Unternehmen weltweit damit begonnen, in Hochleistungsrechenzentren als strategische Schlüsselfaktoren im globalen KI-Wettlauf zu investieren.

Die Maschinenräume der KI

Der KI-Sektor ist in kurzer Zeit erheblich gewachsen. Marktprognosen zufolge wird der weltweite KI-Markt im Jahr 2025 ein Volumen von rund 219 Milliarden Euro erreichen. Bis 2030 soll er auf über eine Billion Euro anwachsen. Bei einer anhaltenden jährlichen Wachstumsrate könnte das Marktvolumen bis 2032 auf über 1,2 Billionen Euro steigen.⁶ Dieses Wachstum geht mit einem parallelen Ausbau der physischen Infrastruktur einher, die für das Training und den Betrieb von KI-Modellen erforderlich ist: unter anderem Rechenzentren.

Im April 2026 verfügten die USA mit Abstand über die meisten Rechenzentren weltweit (über 4.400), was ihre langjährige Führungsposition bei der Cloud-Infrastruktur und der Entwicklung von KI-Modellen widerspiegelt. Das Vereinigte Königreich belegte weltweit den zweiten Platz, Deutschland den dritten; Frankreich und China vervollständigten die Top 5. Damit ist Deutschland der wichtigste Rechenzentrumsstandort in der Europäischen Union – eine Position, die sowohl wirtschaftliche Chancen als auch Belastungen für die bestehende Infrastruktur mit sich bringt.⁷

Abbildung 1: Die fünf Länder mit den meisten Rechenzentren weltweit, Stand: April 2026



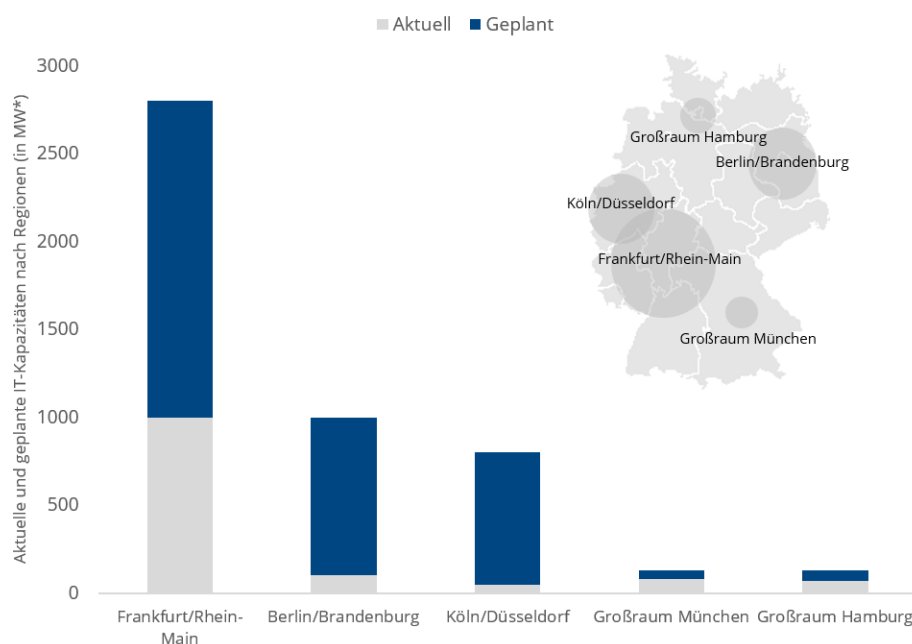
Quelle: Anzahl der Rechenzentren weltweit nach Ländern. Statista (2026)

Der Rechenzentrums-Boom in Deutschland

Einige der großen Technologieunternehmen haben umfangreiche neue Investitionen in Deutschland angekündigt. So hat Google 5,5 Milliarden Euro für den Ausbau seiner Cloud- und KI-Infrastruktur in Deutschland zugesagt, darunter für ein neues, eigens für KI-Anwendungen vorgesehenes Rechenzentrum in der Nähe von Frankfurt a.M. sowie für den Ausbau seiner Standorte in München und Berlin. Nvidia hat gemeinsam mit der Deutschen Telekom Investitionspläne in Höhe von rund einer Milliarde Euro für eine industrielle KI-Cloud in München vorgestellt, während der französische Betreiber Data4 seinen ersten Standort in Deutschland in Hanau errichten wird.⁸ Diese Ankündigungen sind Teil eines umfassenderen Trends zur regionalen Konzentration.

Allein auf die Region Frankfurt/Rhein-Main entfällt fast das Dreifache der aktuellen und geplanten Kapazität des nächstgrößten Standorts Berlin/Brandenburg. Dies ist auf die etablierte Positionierung der Region als bedeutender europäischer Internetknoten sowie auf die bestehende Stromnetz- und Glasfaserinfrastruktur zurückzuführen. Eine derartige Konzentration ist in mancher Hinsicht effizient, da sie auf bestehenden Stärken aufbaut, führt jedoch zugleich zu einer Bündelung von Risiken. Das Stromnetz und die Stromerzeugungskapazitäten der Region könnten zu einem potenziellen Schwachpunkt der deutschen KI-Ambitionen werden. Stromerzeugung und Netzinfrastruktur bilden daher die ersten beiden physischen Grundlagen der KI-Wirtschaft und setzen ihrer weiteren Expansion Grenzen.

Abbildung 2: Aktuelle und geplante Rechenzentrumskapazität nach Regionen in Deutschland (MW)



Quelle: Die Rechenzentrumslandschaft in Deutschland. Germany Trade & Invest (2025)

Die physischen Grundlagen der KI: Ressourcen und Infrastruktur

Die für KI erforderliche Rechenleistung entsteht nicht im luftleeren Raum. Ihr Ausbau hängt von einer Reihe physischer Voraussetzungen ab, die zunehmend zu strategischen Standort- und Wettbewerbsfaktoren werden. Wer die Grundlagen der KI verstehen will, muss sich daher mit den materiellen Ressourcen und Infrastrukturen befassen, auf denen sie beruht.

Energieversorgung von Rechenzentren

Die zunehmende Verbreitung von KI hat erhebliche Auswirkungen auf die Energiesysteme. Die weltweiten Investitionen in Rechenzentren haben sich seit 2022 verdoppelt; zugleich sind die einzelnen Rechenzentren immer größer geworden. Ein großes Rechenzentrum kann bereits heute so viel Strom verbrauchen wie 100.000 Haushalte. Die größten derzeit im Bau befindlichen Rechenzentren könnten sogar einen Stromverbrauch erreichen, der dem von zwei Millionen Haushalten entspricht.⁹

Rechenzentren waren 2024 für etwa 1,5 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich, was rund 415 Terawattstunden (TWh) entspricht. Auf die USA entfiel mit 45 Prozent der größte Anteil dieses Verbrauchs, gefolgt von China mit 25 Prozent und Europa mit 15 Prozent. Seit 2017 ist der weltweite Stromverbrauch von Rechenzentren jährlich um rund 12 Prozent gestiegen und damit mehr als viermal so schnell wie der gesamte Stromverbrauch. Auf KI spezialisierte Rechenzentren verbrauchen mittlerweile ähnlich viel Strom wie energieintensive Schwerindustrien – etwa die Aluminiumverhüttung – sind jedoch geografisch weitaus stärker konzentriert.¹⁰

Die Entwicklungskurve zeigt steil nach oben. Bis 2030 dürfte sich der weltweite Stromverbrauch von Rechenzentren auf rund 945 TWh mehr als verdoppeln – etwas mehr als der derzeitige Gesamtstromverbrauch Japans. Nach Schätzungen der IEA könnte der Verbrauch bis 2035 weiter auf 1.200 TWh steigen. Den größten Anteil an diesem Wachstum dürften die USA verzeichnen. Bis zum Ende des Jahrzehnts werden US-Rechenzentren voraussichtlich mehr Strom verbrauchen als die gesamte US-amerikanische Produktion von Aluminium, Stahl, Zement, Chemikalien und anderen energieintensiven Gütern zusammen.¹¹ Für Deutschland wird geschätzt, dass der mit KI verbundene Strombedarf von rund zwölf Milliarden kWh im Jahr 2015 auf etwa 21,3 Milliarden kWh im Jahr 2025 gestiegen ist. Dies entspricht bereits rund vier Prozent des nationalen Stromverbrauchs.¹² Die künftige Herausforderung besteht daher nicht nur darin, mehr Strom zu erzeugen, sondern auch sicherzustellen, dass an den zunehmend konzentrierten Verbrauchsschwerpunkten zur richtigen Zeit ausreichend Strom zur Verfügung steht.

Der Verteilungskampf um Elektronen

Während KI zu einem immer größeren Faktor für den Strombedarf wird, trifft sie auf eine bereits stark ausgelastete Energielandschaft. Neben der Notwendigkeit, mehr Strom zu erzeugen, steht die Entscheidung an, wie zunehmend knappe und umkämpfte Infrastrukturressourcen zwischen verschiedenen Abnehmern künftig verteilt werden sollen. Die KI-Infrastruktur steht dabei in direktem Wettbewerb mit der Elektrifizierung der Industrie, dem Ausbau von Elektromobilität und Wärmepumpen, den allgemeinen Bemühungen um Dekarbonisierung und zukünftig voraussichtlich auch der Wasserstoffproduktion. Jedes Gigawatt, das für neue Rechenzentrumskapazitäten vorgesehen ist, fehlt gleichzeitig bei der Unterstützung anderer strategischer Prioritäten.

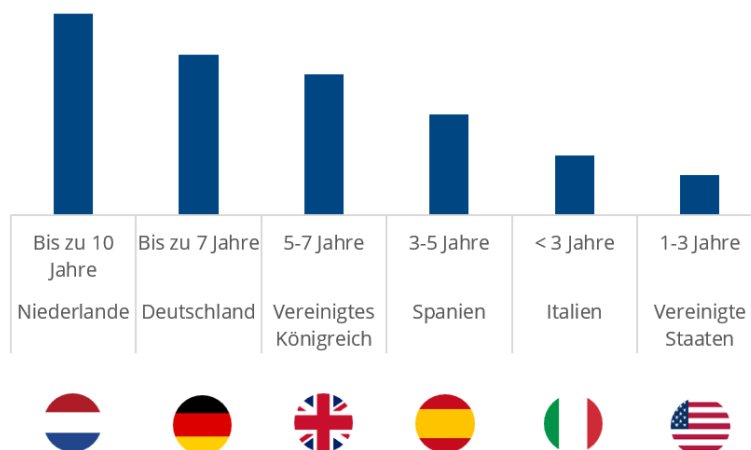
Daraus ergibt sich ein neues politisches Dilemma. Jahrzehntlang konzentrierte sich die Energiepolitik in erster Linie auf das Dreieck aus Bezahlbarkeit, Versorgungssicherheit und Nachhaltigkeit. Mit KI kommt ein viertes Ziel hinzu: die strategische Zuordnung. Regierungen und ihre nationalen Volkswirtschaften werden zunehmend entscheiden müssen, wie sie Strom, Netzkapazitäten und kritische Rohstoffe einsetzen wollen. Die Fähigkeit, diese Zielkonflikte zu bewältigen, könnte zu einem entscheidenden Faktor für die nationale Wettbewerbsfähigkeit im Bereich der KI werden. In föderalen Systemen wie Deutschland können solche Zielkonflikte auch zwischen verschiedenen staatlichen Ebenen auftreten, wenn nationale Bestrebungen zum Ausbau der KI-Kapazitäten auf Widerstand auf Landes- und Kommunalebene gegen die dafür erforderliche Infrastruktur stoßen.

Der Engpass im Stromnetz

Die reine Erzeugungskapazität allein wird die Herausforderung der Energieversorgung für KI in Europa nicht lösen. Um den Strom dorthin liefern zu können, wo KI-Infrastruktur aufgebaut wird, sind ausreichende Übertragungs- und Verteilungskapazitäten erforderlich – und genau hier liegt derzeit der größte Engpass. Die Wartezeiten für den Netzanschluss neuer Rechenzentren können sich in Deutschland auf bis zu sieben Jahre belaufen – eine Verzögerung, die die digitale Wettbewerbsfähigkeit des Landes unmittelbar gefährdet, da das in Rechenzentrumsprojekte investierte Kapital ohne rechtzeitigen Netzanschluss nur von begrenztem Wert ist. Nicht die Bauarbeiten selbst, sondern die Planungs- und Genehmigungsverfahren machen den größten Teil dieses Zeitraums aus und nehmen im Durchschnitt mehr als die Hälfte der gesamten Projektdauer in Anspruch.¹³

Hierbei handelt es sich um einen strukturellen und weitgehend selbstverschuldeten Engpass. Da das größte Hindernis nicht in einem Mangel an Technologie, Kapital oder technischem Know-how liegt, sondern in Verwaltungs- und Regulierungsverfahren, könnte es durch politische Reformen beseitigt werden. Um diese wachsenden Engpässe anzugehen, hat die Bundesregierung Reformen auf den Weg gebracht, die den Ausbau des Übertragungsnetzes beschleunigen und die Netzanschlüsse für Großverbraucher vereinfachen sollen, wie etwa durch das Bundesbedarfsplangesetz und das neue Netzanschlusspaket. Die vorgeschlagenen Änderungen, darunter mehr Transparenz bei freien Kapazitäten sowie der Übergang zu einem „First ready, first served“-Prinzip, könnten die Verzögerungen für KI-Rechenzentren verringern und Deutschlands Attraktivität als Standort für KI-Infrastruktur stärken. Zusammen mit der beschlossenen Rechenzentrumsstrategie signalisieren diese Reformen eine größere Anstrengung, die Rahmenbedingungen für KI- und Rechenzentrumsinvestitionen im Land zu verbessern.¹⁴

Abbildung 3: Voraussichtliche Verzögerung beim Netzanschluss für Rechenzentren



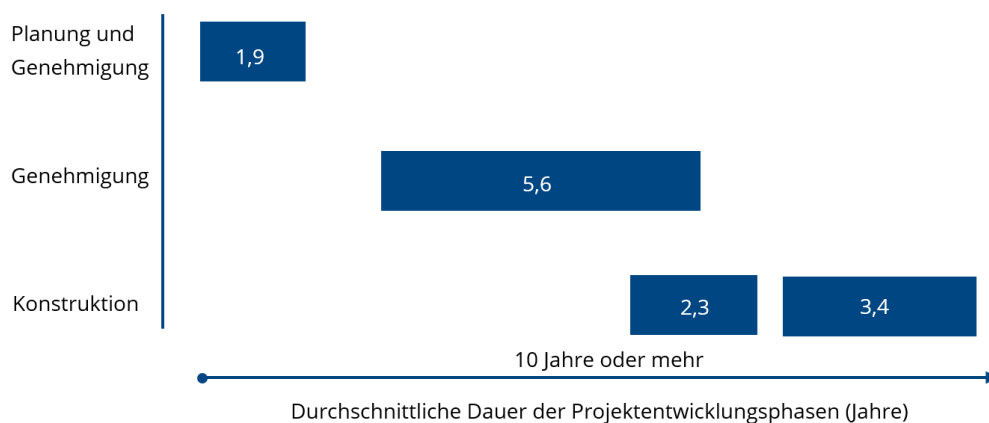
Quelle: Energy and AI. IEA (2025)

Der Ausbau des Stromnetzes ist jedoch nicht das einzige verfügbare Instrument. Ein stärker digital ausgerichteter Ansatz gewinnt derzeit unter dem Schlagwort „*data follows power*“ an Bedeutung. Anstatt große Strommengen über weite Strecken dorthin zu transportieren, wo sich der Rechenbedarf für KI konzentriert, könnten sich energieintensive KI-Prozesse in Rechenzentrumscluster verlagern, die sich in der Nähe insbesondere erneuerbarer Energieerzeugung befinden. Nicht alle KI-bezogenen Rechenprozesse müssen in unmittelbarer Nähe städtischer Nachfrageschwerpunkte stattfinden. KI-Training, groß angelegte Datenanalysen, Simulationen und

Datensicherungen könnten flexibel dort durchgeführt werden, wo gerade viel und günstiger Strom verfügbar ist. Dadurch könnte sich die Rolle von Rechenzentren wandeln: Statt das Stromnetz zusätzlich zu belasten, würden sie zu netzdienlichen Anlagen werden, die Überschüsse aus der Erzeugung erneuerbarer Energien aufnehmen können. Dies ist zwar kein Ersatz für den Netzausbau, kann jedoch die Übertragungsinfrastruktur entlasten, während neue Kapazitäten geschaffen werden.

Die derzeitige Bundesregierung trägt zwar ihren Teil zur Verbesserung dieser Rahmenbedingungen bei, weitere Verzögerungen beim Ausbau könnten jedoch dazu führen, dass sich ein erheblicher Teil der geplanten Erweiterung der europäischen KI-Infrastruktur bis in die 2030er Jahre verschiebt. Konkurrenten wie die USA, die Golfstaaten und China würden dadurch ihren Vorsprung dank schnellerer Genehmigungs- und Netzanschlussverfahren weiter ausbauen.

Abbildung 4: Durchschnittliche Projektdauer für Netzinfrastrukturprojekte in der EU



Quelle: EU electricity grids. European Parliamentary Research Service (2025)

Wasserverbrauch

Wasser ist ein oft übersehener, für die KI-Wertschöpfungskette jedoch unverzichtbarer Faktor. Selbst mit effizienten Kühlsystemen kann ein einzelnes Hyperscale-Rechenzentrum mit einer Leistung von rund 130 Megawatt (MW) jährlich etwa 171 Millionen Liter Wasser verbrauchen.¹⁵ Doch auch Rechenzentren sind nur der sichtbarste Teil des gesamten Wasserfußabdrucks von KI, denn auch die Halbleiterfertigung sowie die Stromerzeugung für den Sektor tragen zum Wasserbedarf der „KI-Wirtschaft“ bei.

Aktuellen Schätzungen zufolge beläuft sich der gesamte Wasserverbrauch der KI-Wirtschaft auf rund 23 Milliarden Kubikmeter pro Jahr. Prognosen zufolge könnte sich dieser Wert bis 2050 auf über 54 Milliarden Kubikmeter mehr als verdoppeln.¹⁶ Dies entspräche etwa 18 Litern pro Tag für die gesamte heutige Weltbevölkerung. Die Sorge gilt jedoch nicht nur der benötigten Wassermenge, sondern auch dem Ort und dem Zeitpunkt der Entnahme. Rund 40 Prozent der weltweiten Rechenzentren befinden sich in Gebieten, die bereits unter hohem oder extrem hohem Wasserstress leiden – im Südwesten der USA, im Nahen Osten, im europäischen Mittelmeerraum sowie in dürrgefährdeten Regionen Lateinamerikas. Gleichzeitig erreicht der Kühlbedarf in der Regel in den Sommermonaten seinen Höhepunkt, also genau dann, wenn auch die lokale Bevölkerung und die Landwirtschaft mit den größten Engpässen konfrontiert sind.¹⁷

Doch Wasserknappheit ist längst nicht mehr auf die trockenen Wüstenregionen der Welt beschränkt. Die schweren Hitzewellen und Dürreperioden, von denen im Sommer 2026 weite Teile Europas betroffen waren, führten zu außergewöhnlich niedrigen Wasserständen in großen Flüssen wie Rhein und Donau. Dies beeinträchtigt die Binnenschifffahrt und setzt die europäischen Energiesysteme unter Druck, die bei Stromerzeugung, Kühlung und Transport auf Flusswasser angewiesen sind.

Strom- und Wasserverfügbarkeiten sind nicht immer geografisch vereinbar. Regionen mit großem Potenzial erneuerbaren Energien stehen unter Umständen vor starker Wasserknappheit, während Standorte mit verlässlichen Wasserressourcen womöglich keinen kostengünstigeren Strom erzeugen können. Daraus folgt, dass bei der Planung künftiger KI-Infrastrukturen mehrere Ressourcenbeschränkungen gleichzeitig mitbedacht werden müssen.

Europa weist hinsichtlich Wasserverfügbarkeit und klimatischer Bedingungen erhebliche regionale Unterschiede auf, sodass auch die Betriebsbedingungen für KI-bezogene Infrastruktur entsprechend variieren. Insbesondere die nordischen Länder und die Niederlande bilden das eine Extrem: Zuverlässige Niederschläge, reichliche Süßwasserreserven und ein kühles Klima ermöglichen „Free Cooling“-Verfahren, die die lokalen Grundwasservorkommen kaum beanspruchen. Genau aus diesem Grund haben Hyperscaler – große Cloud- und KI-Anbieter wie Google, Microsoft, Amazon und Meta – dort bereits vor der Verschärfung der EU-Umweltvorschriften zahlreiche Rechenzentren angesiedelt. In Frankreich ergibt sich ein komplexeres Bild. Günstiger, CO₂-armer Strom aus den eigenen Kernkraftwerken macht das Land zu einem naheliegenden Standort für energieintensive KI-Cluster. Allerdings sind diese Kernkraftwerke ihrerseits zur Kühlung auf Flusswasser angewiesen, und der öffentliche Widerstand gegen Wasserentnahmen hat mit jedem weiteren von Hitzewellen geprägten Sommer zugenommen.¹⁸

Der dringlichste Brennpunkt liegt weiter südlich. Spanien, Italien, Griechenland und die französische Mittelmeerregion haben bereits mit schweren saisonalen Dürren und Grundwasserneubildungsraten zu kämpfen, die auf weniger als ein Fünftel des Normalwerts sinken können – und dies in Regionen, in denen häufig allein die Bewässerung den größten Teil des Wasserverbrauchs ausmacht. Zusätzliche große, wasserintensive Anlagen verschärfen diese Problematik. Selbst ein mittelgroßes Rechenzentrum kann jährlich Hunderttausende Kubikmeter Wasser verbrauchen – mehr, als die örtlichen Flüsse und Grundwasservorkommen verkraften können. Für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger ist Südeuropa damit die Region, in der es am ehesten zu direkten Nutzungskonflikten zwischen KI-Infrastruktur und bestehenden Wassernutzern kommen dürfte.

Diese durch Wasserstress geprägte Geografie geht mit einer weiteren räumlichen Dynamik einher: Die Rechenzentrumskapazitäten in Europa konzentrieren sich stark auf dicht besiedelte Ballungsräume wie Frankfurt, London, Amsterdam, Paris und Dublin. Diese unter dem Kürzel FLAP-D zusammengefassten städtischen Zentren vereinten allein im Jahr 2024 85 Prozent der neu geschaffenen Rechenzentrumskapazitäten in Europa auf sich.¹⁹ Anders als bei den im Südwesten der USA verbreiteten Rechenzentrumstandorten in Wüstengebieten außerhalb der Städte konzentrieren sich die europäischen Standorte auf diese Ballungsräume, da die Nähe zur Internetinfrastruktur, zu Finanzzentren und zur Unternehmensnachfrage bisher eine größere Rolle spielte als die Miet-, Pacht- und Grundstückskosten. Infolgedessen konzentriert sich der Bedarf an Wasser, Strom und Flächen auf Orte, die bereits eine hohe Bevölkerungsdichte und einen entsprechend hohen kommunalen Ressourcenbedarf aufweisen, anstatt sich auf dünn besiedelte Regionen zu verteilen.

Die Halbleiterfertigung steht vor einer ähnlichen Herausforderung. Fast ein Drittel der weltweiten Halbleiterfertigungsanlagen befindet sich in Gebieten mit Wasserstress. Für jeden Liter Reinstwasser, der für die Chip-Produktion benötigt wird, können bei der Aufbereitung bis zu vier Liter Süßwasser verbraucht werden. Der Wasserbedarf der Halbleiterindustrie wird bis 2050 voraussichtlich um mehr als 600 Prozent steigen, da die Komplexität der Chips zunimmt – und dies noch bevor der Wasserverbrauch bei der Gewinnung von Rohstoffen wie Lithium und Kupfer berücksichtigt wird.²⁰

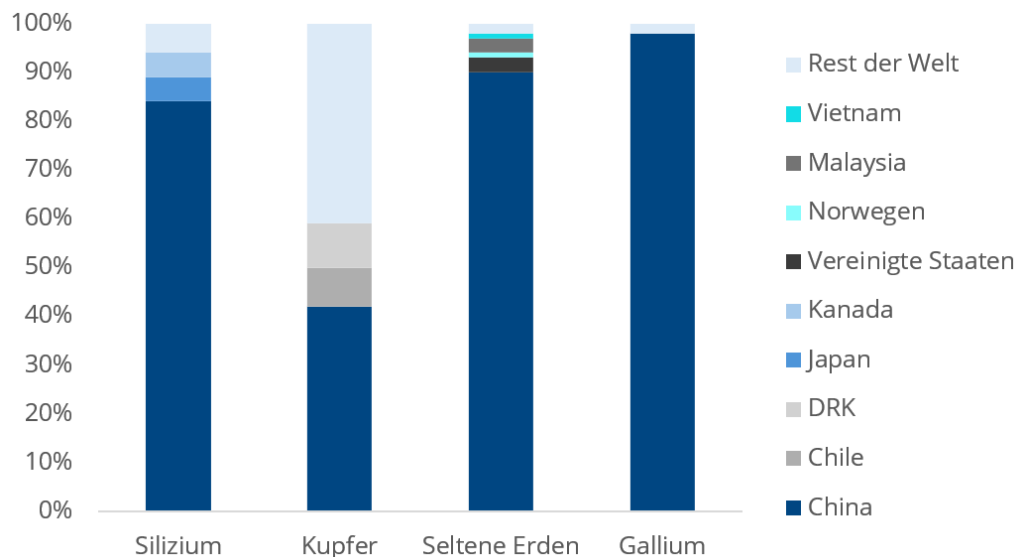
In absoluten Zahlen ist der Wasserfußabdruck von KI nach wie vor geringer als der vieler Schwerindustrien oder der Landwirtschaft. Was diesen Sektor jedoch von anderen unterscheidet, ist das Zusammenspiel verschiedener Faktoren: Die Nachfrage entsteht punktuell an Orten, an denen Wasser bereits knapp ist; der Wettbewerb um Wasserressourcen verschärft sich, da extreme Wetterereignisse die Versorgung zunehmend unvorhersehbar machen; und in vielen Regionen sind die bestehenden Wasserversorgungssysteme infolge jahrzehntelanger Unterinvestitionen bereits stark belastet. Für deutsche und europäische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger bedeutet dies, dass die Standortwahl für Rechenzentren nicht allein unter dem Gesichtspunkt der Energieversorgung und Konnektivität betrachtet werden darf, sondern auch die Wasserverfügbarkeit von Anfang an in die Genehmigungskriterien miteinbezogen werden sollte.

Kritische Rohstoffe

Hinter der Software und noch bevor Rechenleistung überhaupt zum Einsatz kommen kann, ist die für KI benötigte Hardware auf eine komplexe und geografisch stark konzentrierte Lieferkette angewiesen. Neben großen Mengen an Baustoffen wie Stahl und Beton benötigen Rechenzentren erhebliche Mengen an Kupfer, Aluminium, Silizium, Gallium, Seltenen Erden und Batterierohstoffen. Dabei konkurriert die KI-Infrastruktur zunehmend mit Technologien für grüne Energie, der Rüstungsindustrie, und der Elektrifizierung von Industrie und Mobilität um dieselben begrenzten Vorkommen, Erze und verarbeitete Rohstoffprodukte.

Jeder dieser Rohstoffe erfüllt in der KI-Infrastruktur eine bestimmte Funktion. Kupfer bildet die Grundlage für die Stromverteilung, Hochleistungsnetzwerke und die Kühlinfrastruktur. Hochreines Silizium ist nach wie vor der wichtigste Halbleiterwerkstoff für Prozessoren und Speicher. Gallium, in der Regel in Form von Galliumnitrid oder Galliumarsenid, wird zunehmend in hocheffizienten Leistungskomponenten eingesetzt. Aluminium findet breite Anwendung in Bauteilen und Kühlsystemen, während Seltene Erden – insbesondere Neodym, Praseodym, Dysprosium und Terbium – für die Hochleistungsmagnete unverzichtbar sind, die in Lüftern und Präzisionsbauteilen zum Einsatz kommen. Batteriematerialien wie Lithium wiederum werden für Speicher und Notstromsysteme benötigt, die den Betrieb von Rechenzentren auch bei Stromausfällen aufrechterhalten.²¹

Abbildung 5: Geografische Konzentration des Angebots an raffinierten Rohstoffen ausgewählter Mineralien, die für den Bau von Rechenzentren von entscheidender Bedeutung sind, 2024



Quelle: Global Critical Minerals Outlook. IEA (2024)

Zwar stellen Rechenzentren derzeit nicht die größte Nachfragequelle für diese Rohstoffe dar, doch könnten die bis 2030 prognostizierten Kapazitätserweiterungen einen erheblichen Anteil am gesamten Nachfragewachstum ausmachen. Schätzungen zufolge könnten Rechenzentren dann für rund zwei Prozent der Gesamtnachfrage nach Kupfer und Silizium, mehr als drei Prozent der Nachfrage nach Seltenen Erden und bis zu elf Prozent der Nachfrage nach Gallium verantwortlich sein. In absoluten Zahlen entspricht dies bis 2030 einem Bedarf von mehreren Hundert Kilotonnen Kupfer und mehreren Zehn Kilotonnen Silizium – und dies zu einer Zeit, in der Rechenzentren mit vielen anderen Sektoren um genau diese Rohstoffe konkurrieren werden.²²

Eine Hauptherausforderung ist in diesem Zusammenhang die geografische Konzentration des Angebots. Im Jahr 2024 stammten fast 60 Prozent des Angebots an verarbeitetem Kupfer sowie mehr als 90 Prozent des Angebots an verarbeitetem Aluminium, Silizium, Seltenen Erden für Magnete und Gallium aus den jeweils drei führenden Erzeugerländern, wobei China in fast allen Kategorien eine dominierende Rolle spielte. Diese De-facto-Monopolstellung birgt bereits erhebliche geopolitische Risiken. Im Dezember 2024 beschränkte China die Ausfuhr von Gallium, Germanium und Antimon in die Vereinigten Staaten. Dies wurde weithin als Vergeltungsmaßnahme für die Ausweitung der US-Exportkontrollen für hochentwickelte Chips und Anlagen zur Chipherstellung angesehen. Peking nahm daraufhin Graphit in die Liste der von Beschränkungen betroffenen Güter auf und weitete die Kontrollen im Februar 2025 erneut aus, sodass auch Wolfram, Tellur, Wismut, Indium und Molybdän darunter fielen. Einige dieser Materialien werden direkt in Mikroprozessoren und Dioden eingesetzt, die für den Betrieb von Rechenzentren benötigt werden. Die Beschränkungen sind daher nicht nur für die ursprünglich ins Visier genommenen Halbleiter- und Verteidigungssektoren relevant, sondern wirken sich auch unmittelbar auf die KI-Infrastruktur aus. Für europäische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger hat dies deutlich gemacht, dass die Versorgungssicherheit bei Rohstoffen inzwischen ein reales und kein hypothetisches Risiko darstellt, das sich auch auf die Kosten und die Geschwindigkeit des Ausbaus der KI-Infrastruktur auswirkt.

Energie, Rohstoffe und Infrastruktur als neue Engpässe

Wenn Strom, Wasser und Rohstoffe die materiellen Grundlagen von KI bilden, ist die Frage, wer diese Ressourcen kontrolliert und sichert, inzwischen zu einem geopolitischen Faktor geworden. Die zentralen Akteure verfolgen im globalen KI-Wettbewerb unterschiedliche Modelle: In China ist das Vorgehen staatlich gelenkt, in den Vereinigten Staaten wird es vor allem vom Privatsektor und Big Tech getragen, in der Europäischen Union beruht es auf einem gemischten öffentlich-privaten Ansatz und in den Golfstaaten wird es vor allem durch Kapital vorangetrieben. In allen Fällen sind Engpässe bei Strom, Wasser und Rohstoffen nicht nur technische Probleme, die es zu lösen gilt. Sie bestimmen vielmehr mit, wie sich die Staaten im globalen Wettlauf um KI-Kapazitäten positionieren (können).

Länder mit reichhaltigen und diversifizierten Energieressourcen, einer leistungsfähigen Netzinfrastruktur und einem gesicherten Zugang zu kritischen Rohstoffen verfügen über die besten Voraussetzungen, ihre KI-Ambitionen in konkrete Kapazitäten umzusetzen. Länder hingegen, die zwar über reichlich Kapital oder Fachkräfte verfügen, jedoch Einschränkungen bei der Energieversorgung, der Geschwindigkeit von Netzanschlüssen, der Wasserverfügbarkeit oder dem Zugang zu Bodenschätzen unterliegen, werden Schwierigkeiten haben, ihre KI-Infrastruktur in dem von ihren Strategien vorgesehenen Tempo auszubauen.

Dies führt zu einer Neuausrichtung verschiedener politischer Debatten. Exportkontrollen für kritische Rohstoffe, die bislang vor allem im Zusammenhang mit Verteidigung und Lieferketten für grüne Energie diskutiert wurden, sind auch für die Planung der KI-Infrastruktur von unmittelbarer Bedeutung. Der Ausbau der Stromnetze und Verwaltungsreformen, die traditionell als zentrale Themen der Energiewende betrachtet werden, sind gleichermaßen zu Fragen der künftigen digitalen Wettbewerbsfähigkeit und der nationalen Sicherheit geworden. Entscheidungen über die Standorte von Rechenzentren, die bislang vor allem als Frage der lokalen Wirtschaftsentwicklung betrachtet wurden, haben auch Auswirkungen auf Wasserversorgungssicherheit und den regionalen Wettbewerb um Ressourcen.

Die neue „Geografie der KI-Macht“

Die erste Ära der KI-Revolution wurde in erster Linie durch Daten und Softwarekompetenzen geprägt. Eine führende Position hing vom Zugang zu Fachkräften, Risikokapital, Forschungseinrichtungen und fortschrittlicher Halbleitertechnologie ab. Länder wie die Vereinigten Staaten, China und Taiwan erlangten eine beherrschende Stellung, weil sie Schlüsselbereiche des digitalen Ökosystems kontrollierten – von der Modellentwicklung über die Cloud-Infrastruktur bis hin zur Halbleiterfertigung.

Die nächste Phase der KI-Entwicklung könnte von anderen Rahmenbedingungen geprägt sein. Da KI-Systeme immer umfangreicher und rechenintensiver werden, entwickelt sich der Zugang zu den dafür erforderlichen Ressourcen zu einem strategischen Vorteil. Die Fähigkeit, KI-Infrastruktur in großem Maßstab aufzubauen und zu betreiben, hängt zunehmend von Faktoren ab, die traditionell eher mit Energiepolitik und Versorgungssicherheit in Verbindung gebracht werden, und nicht mehr allein von digitaler Innovation. Dies wirft sowohl für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger als auch für Investorinnen und Investoren eine wichtige Frage auf: Wird sich die künftige Führungsrolle im Bereich der KI weiterhin auf die heutigen „Technologiemächte“ konzentrieren, oder erleben wir die Entstehung einer neuen Geografie der KI-Macht, die auf Ressourcenreichtum und Infrastrukturkapazitäten beruht?

Derzeitige Spitzenreiter weiterhin im Vorteil

Die USA sind nach wie vor die dominierende Kraft im globalen KI-Ökosystem. Sie verbinden ihre führende Rolle in der Modellentwicklung mit einem beispiellosen Zugang zu Risikokapital, den weltweit größten Hyperscale-Cloud-Anbietern und einem umfassenden Halbleiter-Ökosystem. Zudem zieht das Land weiterhin einen überproportional hohen Anteil der weltweiten Investitionen in KI und den Bau von Rechenzentren an.

China hat einen anderen Ansatz verfolgt. Durch groß angelegte staatliche Maßnahmen, eine strategische Industriepolitik und eine enge Zusammenarbeit zwischen Behörden und privaten Unternehmen hat Peking bedeutende eigene KI-Kapazitäten aufgebaut. China verfügt zudem über einen entscheidenden Vorteil: seine führende Stellung bei der Aufbereitung und Veredelung vieler kritischer Rohstoffe, die für die digitale Infrastruktur, Technologien für saubere Energie und die fortschrittliche Fertigung benötigt werden.

Auch Taiwan nimmt innerhalb des globalen KI-Ökosystems eine besondere Stellung ein. Die Halbleiterindustrie des Landes ist nach wie vor unverzichtbar für die Herstellung hochmoderner Chips. Taiwan zeigt jedoch, dass technologische Führungsstärke allein keine Garantie für Resilienz ist. Obwohl die Insel einen zentralen Baustein der globalen KI-Wertschöpfungskette kontrolliert, bleibt sie durch Energieengpässe und geopolitische Spannungen verwundbar. Damit verdeutlicht Taiwan, dass Wettbewerbsvorteile in der digitalen Wirtschaft zunehmend auch von der Verfügbarkeit und Sicherheit physischer Infrastruktur abhängen.

Was das für Deutschland und Europa bedeutet

Deutschland und die Europäische Union verfügen in diesem globalen Wettbewerb über erhebliche Stärken: eine große und hoch entwickelte Wirtschaft, eine Unternehmenslandschaft mit zunehmender KI-Kompetenz, Forschungseinrichtungen von Weltrang und eine starke Dynamik bei den Investitionen in Rechenzentren. Insbesondere Deutschland nimmt hier eine Schlüsselposition ein. Die Region Frankfurt/Rhein-Main hat sich zu einem der größten Rechenzentrumsstandorte Europas entwickelt und stellt einen erheblichen Teil der digitalen Infrastruktur bereit, die für Cloud-Dienste und KI-Anwendungen benötigt wird.

Gleichzeitig wird Europas Position zunehmend durch eine fragmentierte Infrastrukturplanung und langwierige Genehmigungsverfahren beeinträchtigt. Zwar ist Europa nach wie vor ein wichtiger Entwickler, Nutzer und Anwender von KI-Technologien, doch hängt seine Fähigkeit, groß angelegte KI-Infrastrukturen zu betreiben, zunehmend davon ab, inwieweit es gelingt, den Ausbau der physischen Infrastruktur zu beschleunigen.

Im Gegensatz zu den Vereinigten Staaten oder China können Deutschland und die Europäische Union nicht in erster Linie über das Mobilisieren von Kapital oder die Geschwindigkeit staatlich gelenkter industrieller Entwicklung konkurrieren. Ihr Vorteil wird vielmehr davon abhängen, ob es ihnen gelingt, ihre bestehenden wirtschaftlichen und technologischen Stärken in einen schnelleren Infrastrukturausbau umzusetzen.

Der Energiesektor dürfte dabei zur wichtigsten Bewährungsprobe für diese Fähigkeit werden. Deutschland hat bereits mit sehr hohen Strompreisen, Netzengpässen und einem infolge der Elektrifizierung und des industriellen Wandels steigenden Strombedarf zu kämpfen. Für energieintensive Großrechenzentren sind Stromkosten und Versorgungssicherheit entscheidende Standortfaktoren. Im Bereich der KI hängen die digitalen Ambitionen Europas und seine künftige Wettbewerbsfähigkeit somit direkt vom Erfolg der Energiewende ab, die eine groß angelegte Versorgung mit erschwinglichem Strom gewährleistet.

Fachleute schlagen zudem die Einrichtung von „Prioritätszonen für KI-Infrastruktur“ vor, die Netzanschluss, Erzeugung erneuerbarer Energien, Glasfaseranbindung, ausreichende Wasserversorgung und geeignete Flächen miteinander verbinden. Ein solcher Ansatz würde es ermöglichen, die Rechenkapazitäten an die verfügbare Stromversorgung anzupassen, bestehende Knotenpunkte zu entlasten und die Resilienz der digitalen Infrastruktur in Deutschland zu stärken.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger diese Herausforderungen künftig aus einer breiteren Perspektive betrachten müssten. Energiepreise, Stromnetze, Genehmigungsverfahren, Wasserverfügbarkeit und kritische Rohstoffe sind nicht mehr nur Fragen der Energie-, Umwelt- oder Industriepolitik. Sie bestimmen zunehmend mit, wo künftig KI-Kapazitäten aufgebaut werden und wer von der dadurch entstehenden wirtschaftlichen Wertschöpfung profitieren kann.

Im Endeffekt dreht sich die Debatte auch nicht nur um Wettbewerbsfähigkeit, sondern um Souveränität. Selbst ein erfolgreicher Ausbau der Rechenzentrumskapazitäten in ganz Europa könnte den Kontinent verwundbar machen, wenn die zugrunde liegenden KI-Modelle, Cloud-Dienste und Schlüsseltechnologien weiterhin überwiegend von Akteuren außerhalb Europas kontrolliert werden. Auch wenn die Ansiedlung kritischer IT-Infrastrukturen in Europa zu einem immer wichtigeren politischen Ziel werden dürfte, erfordert echte technologische Souveränität mehr als lediglich das Hosting von Servern. Europa muss zudem eigene Kapazitäten für die Entwicklung, das Training und den Einsatz fortschrittlicher KI-Systeme aufbauen und erhalten. Andernfalls läuft der Kontinent Gefahr, lediglich zum physischen Standort für KI-Infrastruktur zu werden, ohne eine führende Rolle bei der Schaffung wirtschaftlicher Wertschöpfung durch KI und strategischen Einfluss einzunehmen.

Politische Schlussfolgerungen

Dieser Monitor bekräftigt eine Reihe etablierter energie- und wirtschaftspolitischer Prioritäten – nicht nur, aber auch im Zusammenhang mit der Frage der künftigen Entwicklung von Kapazitäten im Bereich Künstlicher Intelligenz, darunter die Beschleunigung von Infrastrukturplanung, Genehmigungsverfahren und Netzanschlüssen; die Sicherstellung einer erschwinglichen und zuverlässigen Energieversorgung; die Sicherung der Wasserversorgung; sowie die Stärkung der Widerstandsfähigkeit in kritischen Rohstoffversorgungsketten. Zwar sind diese Prioritäten an sich keine neuen Entwicklungen, doch werden sie in der KI-Debatte oft außer Acht gelassen, obgleich sie nicht länger als separate Politikbereiche behandelt werden können. Über diese grundlegenden Prioritäten hinaus weist dieser Monitor auch auf mehrere weiterreichende strategische Implikationen hin, die in der politischen Debatte in Deutschland mehr Beachtung verdienen.

Digitale Souveränität ist eine Frage der Ressourcensicherheit

Digitale Souveränität wird häufig im Zusammenhang mit Cloud-Infrastruktur, Halbleitern, Cybersicherheit und technologischen Fähigkeiten diskutiert. Eben diese Fähigkeiten hängen jedoch letztlich vom Zugang zu Energie, Wasser, Land und kritischen Rohstoffen ab. Deutschland sollte daher ein umfassenderes Verständnis von digitaler Souveränität fördern, das Energiesicherheit, Wassersicherheit und Ressourcensicherheit ausdrücklich einbezieht. Dies würde die Debatte über technologische und Nachhaltigkeitsaspekte hinausführen und sie zunehmend in den Kontext der wirtschaftlichen und nationalen Resilienz stellen. Bei wahrer digitaler Souveränität geht es nicht allein darum, digitale Technologien zu besitzen oder zu kontrollieren. Die diskutierten „physischen Dimensionen“ sollten daher integraler Bestandteil künftiger Diskussionen über technologische Souveränität und industrielle Wettbewerbsfähigkeit sein.

KI ist Teil industrieller Wertschöpfung

In der politischen Kommunikation sollte betont werden, dass KI das Potenzial hat, zu einer kritischen Infrastruktur für die künftige wirtschaftliche Sicherheit und Wertschöpfung zu werden, insbesondere auf kommunaler Ebene. Die Verfügbarkeit von Ressourcen und Infrastruktur wird zunehmend darüber entscheiden, wo Unternehmen investieren, Steuern und Abgaben zahlen und möglicherweise neue Arbeitsplätze geschaffen werden. Eine Darstellung des Themas unter dem Gesichtspunkt wirtschaftlicher Chancen und der Sicherung unseres Wohlstands dürfte bei Bürgerinnen und Bürgern auf größere Resonanz stoßen als Debatten, die sich ausschließlich auf Regulierung, Innovationen und Softwareentwicklung konzentrieren.

Europas „KI-Heimvorteil“ nutzen

Deutschland sollte eine KI-Infrastrukturstrategie verfolgen, die auf den eigenen Stärken – insbesondere der Erzeugung erneuerbarer Energien – aufbaut und gleichzeitig kritische Teile der KI-Wertschöpfungskette in Europa verankert. Dazu gehört der Ausbau der europäischen Kapazitäten bei der Aufbereitung, Veredelung und dem Recycling strategischer Rohstoffe. Auch wenn Deutschland bei kritischen Rohstoffen niemals vollständig autark sein wird, sollte es die verfügbaren heimischen Ressourcen wie Lithium, Kupfer und Nickel landesweit stärker in den Blick nehmen. Ziel sollte dabei strategische Widerstandsfähigkeit sein, indem kritische Abhängigkeiten reduziert und eine höhere Eigenversorgung angestrebt werden.

Entwicklung „ressourcenbewusster“ KI-Infrastrukturzonen

Zwar zielt die nationale Rechenzentrumsstrategie bereits darauf ab, die Standortverfügbarkeit und den Zugang zu Energie für neue Initiativen zu verbessern, doch sollte Deutschland Standorte identifizieren und aktiv fördern, an denen wichtige Ressourcen bereits vorhanden oder zumindest leicht verfügbar sind. Ein solcher integrierter Ansatz zur Ressourcenplanung würde dazu beitragen, künftige Engpässe zu vermeiden, die Planungssicherheit zu verbessern, das Netz bestenfalls entlasten und sicherstellen, dass sich KI-Infrastruktur in Regionen mit günstigen physischen Bedingungen entwickelt.

¹ Athari, S. A., Sassine, M. E., Agyemang, E. T., & Saliba, C. (2026). Nonlinear dynamics of AI investment and economic growth in Germany: Evidence from an NARDL approach. *Economies*, 14(1), Article 31. <https://doi.org/10.3390/economies14010031> (letzter Abruf: 28.8.2026).

Gonzales, J. T. (2023). Implications of AI innovation on economic growth: A panel data study. *Journal of Economic Structures*, 12(1), Article 13. <https://doi.org/10.1186/s40008-023-00307-w> (letzter Abruf: 28.8.2026).

Einige Studien gehen jedoch nur von einem moderaten Produktivitätsanstieg statt von einem umfassenderen Wandel aus; siehe Acemoglu, D. (2024). The simple macroeconomics of AI. *Economic Policy*, 40(121), 13–58. <https://doi.org/10.1093/epolic/eiae042> (letzter Abruf: 28.8.2026).

² Fan, D. & Liu, K. (2021). The relationship between artificial intelligence and China's sustainable economic growth: Focused on the mediating effects of industrial structural change. *Sustainability*, 13(20), Article 11542. <https://doi.org/10.3390/su132011542> (letzter Abruf: 28.8.2026).

³ PwC (2023). Global Artificial Intelligence Study: Sizing the price. <https://www.pwc.co.nz/insights-and-publications/2023-publications/artificial-intelligence-study.html> (letzter Abruf: 28.8.2026).

- ⁴ Georgieva, K. (2024). AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity. <https://www.imf.org/en/blogs/articles/2024/01/14/ai-will-transform-the-global-economy-lets-make-sure-it-benefits-humanity> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ⁵ Eurostat (2025). Einsatz künstlicher Intelligenz in Unternehmen. European Commission. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Use_of_artificial_intelligence_in_enterprises (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ⁶ Statista (2026). Artificial Intelligence, Worldwide market outlook and key indicators. [statista.com/outlook/tmo/artificial-intelligence/worldwide](https://www.statista.com/outlook/tmo/artificial-intelligence/worldwide) (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ⁷ Statista (2026). Number of data centers worldwide by country. www.statista.com/statistics/1228433 (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ⁸ Data Center Dynamics (2025). Google to invest €5.5bn in data centers and offices in Germany. <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-to-invest-55bn-in-data-centers-and-offices-in-germany/> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- Reuters (2025). Deutsche Telekom, Nvidia to launch \$1.2 billion AI cloud for industrial clients. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/business/media-telecom/deutsche-telekom-partners-with-nvidia-ai-cloud-q1-2026-2025-11-04/> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ⁹ International Energy Agency (2025). Die zunehmenden geopolitischen Spannungen unterstreichen die Notwendigkeit entschlossenerer Maßnahmen zur Sicherung der Versorgung mit kritischen Mineralien. IEA-Commentary. <https://www.iea.org/commentaries/growing-geopolitical-tensions-underscore-the-need-for-stronger-action-on-critical-minerals-security> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹⁰ Ibid.
- ¹¹ International Energy Agency (IEA) (2025). Energy and AI. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/de9dea13-b07d-42c5-a398-d1b3ae17d866/EnergyandAI.pdf> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹² Paulsen, N. & Wagner, K. (2025). Rechenzentren in Deutschland: KI treibt das Wachstum Bitkom. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Rechenzentren-Deutschland-KI-treibt-Wachstum> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹³ European Parliamentary Research Service (2025). EU electricity grids. European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772854/EPRS_BRI\(2025\)772854_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2025/772854/EPRS_BRI(2025)772854_EN.pdf) (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹⁴ Federal Ministry for Digital Transformation and Government Modernisation (2026). Rechenzentrumsstrategie. https://bmfs.bund.de/fileadmin/BMDS/Dokumente/Publikationen/260312_BMDS_Template-RZ-Strategie_V2_barrierefrei_final.pdf (accessed 11 September 2026).
- ¹⁵ World Economic Forum (2026). "Why AI's water problem might actually be an opportunity." Januar 2026. <https://www.weforum.org/stories/2026/01/ai-water-data-centres-opportunity-am26-wef-xylem/> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹⁶ Global Water Intelligence, Xylem (2026). Watering the New Economy. Managing the Impacts of the AI Revolution. <https://amp.xylem.com/m/aa10f8022757c5e/original/Watering-the-New-Economy-DIGITAL-final.pdf> (letzter Abruf: 28.8.2026).
- ¹⁷ Laws, J. & Orton, D. (2026) Map Shows Where Data Centers Are Being Built in Drought-Hit Areas. Newsweek. <https://www.newsweek.com/map-data-centers-built-drought-hit-areas-11997520> (letzter Abruf: 28.8.2026).

Pine, M. (2026) Why AI's water problem might actually be an opportunity, World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/artificial-intelligence/ai-water-data-centres-opportunity-am26-wef-xylem/> (letzter Abruf: 28.8.2026).

¹⁸ Bassias, Y. (2026) The New Geopolitics of AI: Water, Energy, and the Battle for Computational Power, Modern Diplomacy. <https://moderndiplomacy.eu/2026/06/18/the-new-geopolitics-of-ai-water-energy-and-the-battle-for-computational-power/> (letzter Abruf: 28.8.2026).

¹⁹ Mordor Intelligence (2026), "Europe Data Center Water Consumption Market Size & Forecast Report 2031." <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-data-center-water-consumption-market> (letzter Abruf: 28.8.2026).

²⁰ Pine, M. (2026) Why AI's water problem might actually be an opportunity, World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/artificial-intelligence/ai-water-data-centres-opportunity-am26-wef-xylem/> (letzter Abruf 28.8.2026).

²¹ International Energy Agency (2024). Global Critical Minerals Outlook 2024. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024> (letzter Abruf: 28.8.2026).

²² IEA (2025) Energy and AI.

Impressum

Simon Engelkes

Simon Engelkes ist Referent für Energie und Rohstoffe in der Abteilung Analyse und Beratung der Konrad-Adenauer-Stiftung (KAS) in Berlin. Von 2017 bis 2026 war er in der Abteilung Naher Osten und Nordafrika der KAS tätig, zuletzt als Leiter des Auslandsbüros der Stiftung in den Palästinensischen Gebieten mit Sitz in Ramallah. Er studierte Politikwissenschaft an der Freien Universität Berlin, der American University of Beirut und am King's College London.

Alesia Makaj

Alesia Makaj war im Rahmen des Forschungsstipendienprogramms der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) als Research Fellow für Energie- und Geopolitik bei der KAS tätig. Derzeit promoviert sie in Wirtschaftswissenschaften. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt auf den Auswirkungen geopolitischer Risiken auf die Energie- und Wirtschaftssicherheit. Während ihres Masterstudiums erhielt sie ein Stipendium der KAS Albanien.

Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.

Simon Engelkes

Referent für Energie und Rohstoffe
Hauptabteilung Analyse und Beratung

T +49 30 / 26 996-3249
Simon.Engelkes@kas.de

Herausgegeben von: Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.
Gestaltung und Satz: yellow too Pasiek & Horntrich GbR
Gestaltung der Grafiken: Lisa-Marie Meyer

Diese Veröffentlichung wurde mit finanzieller Unterstützung der Bundesrepublik Deutschland herausgegeben.

Diese Veröffentlichung der Konrad-Adenauer-Stiftung e. V. dient ausschließlich Informationszwecken. Eine Nutzung durch Parteien, Wahlwerberinnen und Wahlwerber oder Wahlhelferinnen und Wahlhelfer zum Zwecke der Wahlwerbung ist nicht gestattet. Dies gilt für Bundestags-, Landes- und Kommunalwahlen sowie für die Wahlen zum Europäischen Parlament.



Der Text dieser Veröffentlichung wird unter einer Creative-Commons-Lizenz veröffentlicht: "Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 international" (CC BY-SA 4.0), <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>.