DRUCKFASSUNG · STAND 23. OKTOBER 2026 UM 14:00 UHR MESZ · VERSION 0.3.0

Wie Superintelligenz möglich wird

> Dieses Dossier erzählt die Zukunft der KI aus Sicht derer, die Lösungen bauen. Physik und Zahlen sind belegt. Was noch Hoffnung ist, steht als Ausblick gekennzeichnet. Skeptische Stimmen stehen je Kapitel im Kasten „Die andere Sicht“.

Energie, Kühlung und Sicherheit – aus Sicht der Lösungsbauer

Online-Fassung: `https://superintelligenz.cryptorand.app/` · Dossier-Bot

Inhalt

1. Die Angst vor dem Stromfresser
2. Rechnen mit Licht
3. Sonnenwärme als Kraftwerk
4. Sonnenkraft aus dem Orbit
5. Das Feuer der Sterne (2022–2040)
6. Rechenzentren unter Wasser
7. Kühlen ohne Luft
8. Angst als Machtinstrument (2019–2026)
9. KI überwacht KI
10. Neue Berufe, goldenes Zeitalter
11. Aussagen und Belege
12. Quellen

Legende: ● Belegt (Primärquelle) · ◐ Belegt (Sekundärquelle) · ◆ Umstritten · ○ Offen

Kapitelbilder KI-generiert (Grok), keine Belege.

1. Die Angst vor dem Stromfresser

Energie

Untergangsprognosen zu Strom und Kühlung – und was Messungen wirklich zeigen.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Die Angst vor dem Stromfresser hat inzwischen eine Adresse und eine Zahl. Wer nur auf amerikanische Hallen zeigt, sieht die Hälfte der Geschichte nicht. Die Internationale Energieagentur schätzt in ihrem Sonderbericht zu Energie und KI, dass Rechenzentren 2024 rund 415 Terawattstunden verbraucht haben, etwa 1,5 Prozent des Stroms auf der Erde. Vom selben Kuchen hielten die Vereinigten Staaten 45 Prozent, China 25 Prozent und Europa 15 Prozent. Der Hunger ist real. Er ist nur nicht das Privateigentum eines Landes. [51]

Europa liegt in absoluten Zahlen darunter: etwa 70 Terawattstunden im selben Jahr. Indien ist im Weltvergleich noch klein, rund 9 Terawattstunden oder ein halbes Prozent des indischen Stroms, und gerade deshalb interessant, weil die Kurve steil wird. Im Juni 2024 standen dort bereits 2 Gigawatt Rechenzentrumsleistung im Betrieb. Die IndiaAI Mission, so gibt es die IEA wieder, ist mit 1,2 Milliarden US-Dollar angesetzt und soll ein Rechenökosystem mit über 18 000 Grafikprozessoren für Gründer und Forschung tragen. Das ist Industriepolitik mit Stecker, nicht ein Moodboard.[52]

Die amerikanischen Betreiber bestreiten den eigenen Verbrauch nicht. Microsofts Azure-Rahmenwerk nennt Energie und CO_2-Fußabdruck von KI-Workloads ausdrücklich signifikant und rät, wo es passt, zum kleineren Sprachmodell und zum Training in Stunden und Regionen mit niedrigerer CO_2-Intensität. Zum Größenfühlen legt die US-Umweltbehörde einen Alltagswert daneben: Eine übliche Smartphone-Batterie, auf 24 Stunden gerechnet, steht im EPA-Rechner mit 28,446 Wattstunden. Ein Cluster braucht davon sehr viele. Derselbe Rechner nennt für gelieferten US-Strom 2022 einen Faktor von 823,1 Pfund CO_2 je Megawattstunde. Das ist der amerikanische Mix jenes Jahres, nicht der deutsche und nicht der sichuanesische.[4]



Rückseite eines Racks im Rechenzentrum NERSC, Berkeley (USA). Foto: Derrick Coetzee, CC0. Wikimedia Commons

Ausblick: Wenn die Chips sparsamer werden und die Netze in den USA, in China, in Europa und in Indien mehr Stunden aus Wind, Sonne, Wasser oder Kernkraft ziehen, kostet dieselbe Rechnung weniger Klima. Die Lösungsbauer leugnen den Hunger nicht. Sie legen ihn auf den Tisch und bauen an den Hebeln.

Kurz gefasst

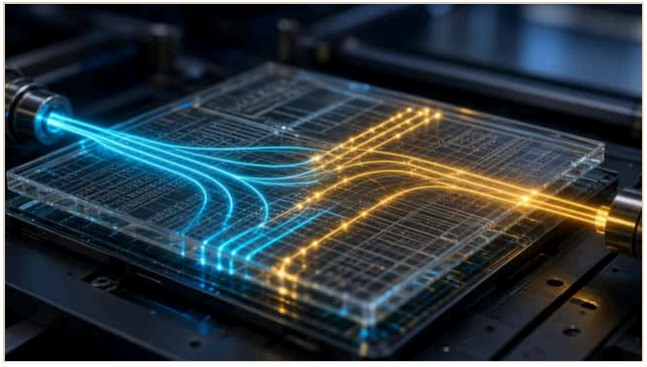
- 2024: etwa 415 TWh, USA 45 %, China 25 %, Europa 15 % (IEA).
- Europa etwa 70 TWh. Indien etwa 9 TWh und 2 GW im Juni 2024.
- Azure misst den Fußabdruck und nennt kleinere Modelle.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtKritiker wenden ein, 415 Terawattstunden seien nur der Anfang und lokale Netze liefen schneller voll als der Weltmittelwert vermuten lässt.Die Lösungsbauer antworten mit Messung, kleineren Modellen und Strom zur passenden Stunde. Den Verbrauch selbst bestreiten sie nicht.

2. Rechnen mit Licht

Photonik

Photonische Schaltkreise und was sie an Energie und Wärme sparen können.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Silizium wird heiß, sobald die Modelle wachsen. Elektronen im Kupfer reiben, Photonen im Wellenleiter tun das weniger. Die Lösungsbauer setzen deshalb auf Licht, und sie tun es nicht nur in einem Tal in Kalifornien. Wikipedia führt photonische Logik als eigenes Kapitel der optischen Rechentechnik. Lightmatter in den USA nennt Envise die erste photonische Rechenplattform der Welt und schreibt den Satz, der jede Hallendebatte zusammenfasst: Die Stromzufuhr zum Gebäude lasse sich nicht beliebig erhöhen.[9]

Aus Elektronik, Photonik und neuen Algorithmen will die Firma eine Plattform bauen, die für KI gemacht ist, den CO_2-Fußabdruck und die Betriebskosten der Halle senken, mehr Leistung je Watt liefern und größere Netze ermöglichen, ohne gleich ein neues Haus zu mauern. Das ist eine Herstellerposition. Sie ist deutlich, und sie ist noch kein neutrales Messprotokoll.[12]

In Peking hat eine Gruppe der Tsinghua-Universität am 25. Oktober 2023 in Nature einen anderen Weg beschrieben. Der Chip ACCEL rechnet Bildaufgaben analog mit Licht und ein wenig Elektronik. Die Autoren nennen eine Systemeffizienz von 74,8 Peta-Operationen je Sekunde und Watt und eine Rechengeschwindigkeit von 4,6 Peta-Operationen je Sekunde, zu mehr als 99 Prozent optisch. Die Arbeit sitzt am Department of Automation in Beijing und dankt der National Natural Science Foundation of China. Das ist ein Labor für das Sehen, kein Sprachmodell im Rack. Es zeigt, dass die Jagd nach weniger Wärme pro Operation in China schon eine begutachtete Zahl hat.[56]

Europa baut derweil die Fertigungskette, nicht nur den einzelnen Demonstrator. PhotonDelta stellt sich als europäisches Ökosystem der integrierten Photonik vor und meldet auf der eigenen Seite eine Partnerschaft: SMART Photonics und GlobalFoundries

wollen einen offenen Foundry-Dienst für Silizium und Indiumphosphid anbieten. Wer die Wafer später in Serie sieht, wird es an Lieferscheinen messen, nicht an einem Slogan.[57]



Laserversuch im Photonics Laboratory der Ateneo de Manila University (Philippinen), mit Dr. Raphael Guerrero und einer Studentin. Foto: Physics Department, CC BY 2.0. Wikimedia Commons

Ausblick: Wenn optische Pfade vom Labor in die Halle wandern, kann der Strom je Operation sinken. Das gilt für einen Chip aus den USA, für einen aus Peking und für eine Fertigung, die in Europa anläuft. Die Roadmap zu größeren Modellen bleibt dann eine Frage der Physik und der Fabrik, nicht der Nationalität.

Kurz gefasst

- USA: Lightmatter Envise, Herstellerclaim.
- Peking: ACCEL, Nature, 25. Oktober 2023, 74,8 Peta-Ops je Watt.
- Europa: PhotonDelta, Foundry-Ankündigung SMART Photonics und GlobalFoundries.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtEin Laborchip in Peking und eine Ankündigung aus den Niederlanden sind noch keine Serienhalle.Formulierungen wie „die erste Plattform“ bleiben Herstellerposition, solange ein unabhängiger Vergleich im Beleg fehlt.

3. Sonnenwärme als Kraftwerk

Solarthermie

Solarthermie auf der Erde, Speicher über die Nacht – quasi freie Energie aus der Wüste.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Quasi freie Energie auf der Erde fängt nicht im Rechenzentrum an, sondern im Spiegel. Die Sonne schickt den Strom des Lichts umsonst. Wir bezahlen den Trichter: Spiegel oder Linsen, ein heißes Fluid, einen Speicher für die Nacht, eine Turbine. Das U.S. Department of Energy und das National Renewable Energy Laboratory führen Concentrating Solar-Thermal Power deshalb als eigenes Programm. Wikipedia bindet die Verluste an das Stefan-Boltzmann-Gesetz und beschreibt Spiegel oder Linsen, die ein Fluid für die Stromerzeugung erhitzen.[14]

Den großen europäischen Bestand hat nicht die Mojave-Wüste gebaut, sondern Spanien. SolarPACES, das Solarprogramm unter dem Dach der IEA, zählt mit Stand 2017 fünfzig CSP-Kraftwerke und zusammen 2,3 Gigawatt, in Betrieb seit 2013. Darunter sind Rinnen mit Speicher, etwa Andasol, und Türme. Das ist eine Momentaufnahme von 2017, kein Versprechen für den Zubau danach. Sie reicht, um die Erzählung zu korrigieren: Die erste große kommerzielle Welle dieser Technik stand in Europa.[58]

Deutschland forscht an derselben Physik im kleineren Maßstab. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt betreibt in Jülich zwei Solartürme. Mehr als 2.000 Heliostate auf etwa zehn Hektar werfen das Licht auf einen keramischen Receiver, der Luft auf bis zu 700 Grad Celsius bringt. Die elektrische Nennleistung liegt bei 1,5 Megawatt. Das DLR speist nicht als Händler ein, es nutzt den Turm für Versuche an Receivern, Speichern und solaren Brennstoffen. Ein Forschungsturm ist kein Ersatzkraftwerk. Er ist die Werkbank, an der die nächste Generation der Receiver lernen darf.[59]

China skaliert inzwischen in einer anderen Liga. Die China Solar Thermal Alliance hat am 31. Januar 2025 ihr Branchenbuch für 2024 vorgelegt. Danach waren Ende 2024 CSP-

Anlagen mit 838,2 Megawatt fertig, 34 Projekte mit 3.300 Megawatt im Bau und etwa 4.800 Megawatt geplant. Das sind Verbandszahlen, nicht eine Tabelle, die wir selbst bei der nationalen Energiebehörde abgeschrieben haben. Im Bau ist noch nicht am Netz. Trotzdem verschiebt sich der Schwerpunkt der Baustellen sichtbar nach Osten.[60]

Indien hat den Schritt über die Versuchsanlage schon getan, noch nicht den über die Landesflotte. Das IIT Bombay hat bei Gurgaon nahe Neu-Delhi ein netzgekoppeltes solarthermisches Kraftwerk mit einem elektrischen Megawatt errichtet, gefördert vom Ministry of New and Renewable Energy. Parabolrinnen und lineare Fresnel-Spiegel speisen gemeinsam eine Turbine. Ein Megawatt neben Delhi wärmt keinen Subkontinent. Es zeigt, dass das Ministerium und eine technische Hochschule die Kette aus Feld, Dampf und Generator im eigenen Land geschlossen haben.[61]



Die Solartürme PS10 und PS20 in Andalusien (Spanien). Foto: Koza1983, CC BY 3.0. Wikimedia Commons

Ausblick: Wüste, Hochebene und Forschungsstand liefern quasi freie Energie in dem schlichten Sinn, dass der Brennstoff nicht gefördert werden muss. Speicher, Spiegel und Leitungen bleiben teuer. Wer Rechenzentren daraus speisen will, baut ein Kraftwerk, keinen Wunsch.

Kurz gefasst

- Spanien 2017: 50 Werke, 2,3 GW.
- China Ende 2024: 838,2 MW fertig, 3.300 MW im Bau.
- Forschung: DLR Jülich 1,5 MW, IIT Bombay 1 MWe bei Delhi.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtCSP braucht Sonne, Fläche und Genehmigung. Quasi freie Energie meint den Brennstoff Sonne, nicht eine Anlage zum Nulltarif.Der spanische Bestand von 2017, die chinesische Baustelle und die Versuchstürme in Jülich und Gurgaon sind Wege, keine weltweite Pflicht.

4. Sonnenkraft aus dem Orbit

Orbit

Space-Solar: Konzepte, Demonstratoren, Kosten – quasi freie Energie aus dem All.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Quasi freie Energie aus dem Orbit ist dieselbe Sonne, nur ohne Nacht und ohne die dicke Decke der Atmosphäre. Wikipedia behandelt weltraumgestützte Solarenergie als eigenes Thema, mit Mikrowellenübertragung als Designpunkt und mit der alten Idee, das Licht im All zu sammeln und auf die Erde zu bringen. Die Lösungsbauer lesen das nicht als Schlusspunkt eines Romans, sondern als die Spiegel aus der Wüste, ein paar hundert Kilometer höher gelegt.[18]

Der amerikanische Nachweis, dass so etwas überhaupt funkt, steht bei Caltech. Der Space Solar Power Demonstrator hat Leistung im Weltraum drahtlos übertragen. Das ist ein Experiment, keine Stadt am anderen Ende eines Strahls. Europa hat daraus ein Programm mit Datum gemacht. Am 15. April 2024 beschrieb die ESA SOLARIS: Politik, Energieversorger und Raumfahrtfirmen sollen prüfen, ob Strom aus dem Orbit baubar ist. Das Ziel dieser Runde ist eine informierte Entscheidung bis Ende 2025, ob ein eigenes Entwicklungsprogramm folgt. Wer 2025 „ja“ sagt, hat noch keinen Satelliten am Netz. Er hat einen Auftrag, einen zu entwerfen.[62]

Die Karte ist älter und breiter als diese eine Agentur. Der Wikipedia-Überblick hält fest, weltraumgestützte Solarenergie sei mit Stand 2020 unter anderem von Japan, China, Russland, Indien, dem Vereinigten Königreich, den USA und der ESA verfolgt worden. Für China nennt derselbe Artikel ein konkretes Datum: 2015 zeigte die China Academy for Space Technology eine Roadmap auf einer Konferenz der Raumfahrtentwickler. Eine Roadmap ist eine Absicht mit Jahreszahlen, kein Empfängerfeld in der Wüste Gobi. Sie gehört trotzdem in die Erzählung, weil sonst der Eindruck bleibt, nur eine Küste Kaliforniens habe je nach oben gesehen.[63]



Solarflächen der Internationalen Raumstation. Kein Kraftwerkssatellit. NASA, gemeinfrei. Wikimedia Commons

Ausblick: Orbitalstrom könnte einmal Rechenzentren speisen, deren Anschlüsse am Boden nicht mehr mitwachsen. Dafür müssen Startkosten fallen, der Strahl reguliert sein und die Bodenstation mehr sein als eine Zeichnung. Bis dahin ist quasi freie Energie aus dem All ein Ingenieursziel mit Adressen in den USA, bei der ESA, in China und auf den Listen von Indien und Russland.

Kurz gefasst

- USA: Caltech hat im Weltraum Leistung übertragen.
- Europa: ESA-Programm SOLARIS, Entscheidung bis Ende 2025.
- Wikipedia 2020: auch China, Russland, Indien, Japan.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtSOLARIS bereitet eine Entscheidung bis Ende 2025 vor. Ein Kraftwerk am Netz ist das nicht.Caltech hat Energie im Weltraum übertragen. Eine Stadt hat davon noch keinen Strom bekommen. Start, Wartung und die Regeln für den Strahl bleiben offen.

5. Das Feuer der Sterne

Fusion · 2022–2040

Fusion: Stand, Zündung, Zeitrahmen – quasi freie Energie aus dem Feuer der Sterne.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

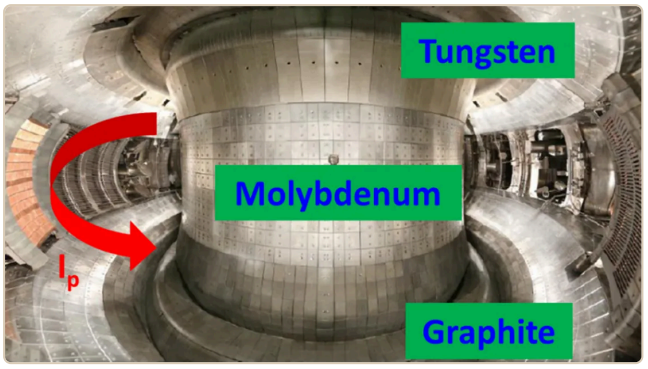
Quasi freie Energie aus der Fusion ist das Versprechen, den Brennstoff in Milligramm zu wiegen und die Energie in Megajoule zu ernten. Am 12. Dezember 2022 meldete das amerikanische Energieministerium, die National Ignition Facility habe mehr Fusionsenergie abgegeben, als die Kapsel aufgenommen hatte: 3,15 Megajoule. Das Lawrence Livermore National Laboratory betreibt die Anlage im Kontext von Energie und Grundlagenwissenschaft. Ein Schuss mit Lasern ist ein Meilenstein. Ein Kraftwerk, das morgens noch läuft, ist er nicht.[21]

Europa hat denselben Ehrgeiz in einem anderen Gefäß, dem Tokamak. Im letzten Deuterium-Tritium-Lauf des Joint European Torus am UKAEA-Standort in Oxford entstand nach der Meldung der UK Atomic Energy Authority über fünf Sekunden ein Rekord von 69 Megajoule aus 0,2 Milligramm Brennstoff. Mehr als 300 Menschen von EUROfusion, dem Verbund der europäischen Fusionslabore, haben an diesem Lauf mitgearbeitet. Parallel dazu steht in Greifswald ein Stellarator, der die Sonne nicht nachahmen will, indem er pulst, sondern indem er lange hält. Am 15. Februar 2023 erreichte Wendelstein 7-X am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik einen Energieumsatz von 1,3 Gigajoule. Gerechnet ist das Heizleistung mal Zeit: im Mittel 2,7 Megawatt über 480 Sekunden. Wer daraus „1,3 Gigajoule Fusion“ macht, liest die Pressemitteilung falsch. Es ist der Beweis, dass Wand, Kühlung und Heizung einen langen, heißen Puls aushalten.[64]

In Hefei steht der supraleitende Tokamak EAST, oft „künstliche Sonne“ genannt. Am 20. Januar 2025, gemeldet am Tag darauf von den Hefei Institutes of Physical Science, hielt er ein Plasma im hohen Einschlussmodus 1.066 Sekunden. Das Institute of Plasma Physics nennt den eigenen vorherigen Rekord: 403 Sekunden im Jahr 2023. Dieselbe Meldung spricht von Temperaturen über 100 Millionen Grad Celsius und davon, dass China seit 2006

bei ITER ist und etwa 9 Prozent von Bau und Betrieb trägt. Das Institut ist der chinesische Hauptauftragnehmer. Tausend Sekunden sind ein Schritt zur Dauer. Sie sind noch kein Anschluss an eine Turbine.[66]

ITER selbst, im Bau in Südfrankreich, beschreibt Fusion als die Reaktion, die Sonne und Sterne treibt, und listet die Partner: China, die Europäische Union, Indien, Japan, Korea, Russland und die Vereinigten Staaten. Indien sitzt damit am selben Tisch, auch wenn ein nationales Maschinenprotokoll in dieser Fassung nicht als eigener Snapshot vorliegt. Russland bringt mit dem Tokamak T-15MD am Kurtschatow-Institut in Moskau eine eigene Maschine in die Reihe. Die Fachzeitschrift Nuclear Engineering International berichtet, der physikalische Start sei im Mai 2021 gewesen und ein erstes thermonukleares Plasma sei erreicht worden. Das ist eine Pressestimme über eine Institutsleitung, kein begutachtetes Messpapier. Sie genügt, um den Namen und das Jahr festzuhalten, und sie genügt nicht, um eine Leistung in Megajoule danebenzusetzen.[24]



Vakuumgefäß des Tokamaks EAST in Hefei (China), mit Beschriftungen aus der Abbildung von Xiang Gao u. a. in Nuclear Fusion 57 (2017) 056021. Foto: Xiang Gao u. a., CC BY 3.0. Wikimedia Commons

Ausblick: Laserpuls, Tokamak und Stellarator sind drei Wege zur selben quasi freien Energie. Livermore, Oxford, Greifswald, Hefei, Moskau und die Baustelle in Südfrankreich arbeiten nicht an verschiedenen Sonnen. Sie arbeiten an dem Punkt, an dem ein Puls zum Betrieb wird. Bis dahin bleibt Fusionsstrom für das Training ein Ausblick mit Adresse, nicht ein Liefervertrag.

Kurz gefasst

- USA: NIF, 3,15 MJ, Meldung 12. Dezember 2022.
- Europa: JET 69 MJ; Wendelstein 1,3 GJ Energieumsatz.
- China: EAST 1.066 Sekunden. Russland: T-15MD, Start 2021.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere Sicht69 Megajoule in Oxford und 3,15 Megajoule in Livermore sind Pulse, kein Dauerstrom.Der Energieumsatz von Wendelstein ist Heizleistung mal Zeit, nicht

> ein verkauftes Kilowatt. Fusionsstrom fürs Rechenzentrum bleibt Ausblick.

6. Rechenzentren unter Wasser

Kühlung

Microsoft Natick und was Unterwasser-Kühlung für die Skalierung bedeutet.



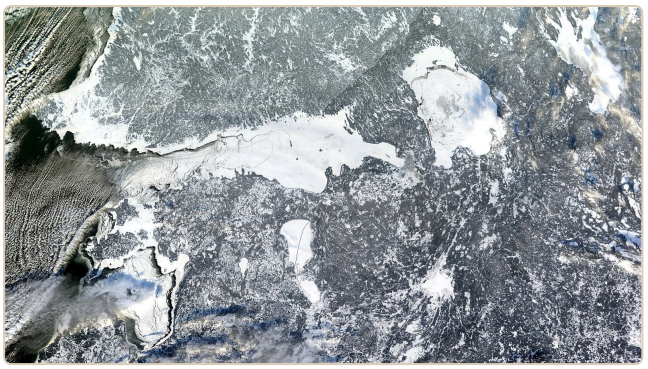
KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Orkney, Frühjahr 2018. Microsoft senkt im Project Natick einen Stahlzylinder mit 864 Servern auf den Grund der See. Das Wasser kühlt, ohne dass jemand die Tür öffnet. Zwei Jahre später zieht Projektleiter Ben Cutler die Bilanz, die Ausfallrate im Wasser sei ein Achtel der Rate an Land. Die Server waren, in der anderen Formulierung derselben Studie, achtmal zuverlässiger als in einer Vergleichsanlage an Land. Der Strom kam nicht aus einem fernen Kohlemeiler. Am Orkney-Netz hingen Wind, Sonne und die Versuche des European Marine Energy Centre. Eine amerikanische Firma hat ihren Beweis also in europäischem Wasser geführt, an einem Netz, das schon erneuerbar war. Microsoft denkt seither über kleinere Zentren näher an den Kunden. Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt innerhalb von 120 Meilen zur Küste.[1]

Europa kühlt derweil auch an Land, und es verkauft die Wärme weiter, statt sie ins Meer zu schicken. Für den EuroHPC-Rechner LUMI im finnischen Kajaani vereinbarten das Wissenschaftsrechenzentrum CSC und der örtliche Wärmeversorger am 20. Mai 2020, die Abwärme ins Fernwärmenetz zu geben. Sie soll etwa 20 Prozent der Fernwärme der Stadt decken. Die Kühlung läuft über Heißwasser, das die Stadt überhaupt erst abnehmen kann. EU und neun europäische Länder investieren rund 200 Millionen Euro. Der Betrieb sollte Anfang 2021 beginnen. Das ist eine Ansage vor dem Start, keine spätere Jahresabrechnung. Sie zeigt das Prinzip: Ein Supercomputer kann eine Kommune heizen, wenn die Rohre schon da sind.[68]

Wenige Autostunden südlicher, an der Bucht von Finnland, hat Google die alte Papierfabrik von Hamina zum Rechenzentrum gemacht und kühlt mit Meerwasser. Die Wärme, die das Zentrum abgibt, soll nach der Standortseite etwa 80 Prozent des Bedarfs im örtlichen Fernwärmenetz decken. In die Region seien bislang 3,5 Milliarden Euro geflossen.

Die Summe ist der ganze Standort über die Jahre, nicht der Preis einer Pumpe. Zusammen mit LUMI und mit Natick vor Orkney ergibt sich ein nordatlantisches Muster: kaltes Wasser oder eine Stadt, die Wärme will. Beides ist Technik. Beides ist Geografie.[69]



Meereis in der Bucht von Finnland am 10. Januar 2003, Satellitenbild MODIS. Nicht die Anlage in Hamina. Jacques Descloitres, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC, gemeinfrei. Wikimedia Commons

Ausblick: Wenn das Meer Server kühlt und eine finnische Stadt die Abwärme trinkt, ist die Wärme kein Abfall mehr, sondern ein zweites Produkt. Der Weltraum, davon handelt das nächste Kapitel, hat weder Meer noch Fernwärmenetz. Dort muss dieselbe Wärme als Licht gehen.

Kurz gefasst

- Orkney: Natick, Ausfallrate ein Achtel, Strom vom EMEC-Netz.
- Kajaani: LUMI-Abwärme, etwa 20 Prozent der Fernwärme.
- Hamina: Meerwasser aus der Bucht von Finnland.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtNatick war ein Pilot vor Orkney. Hamina und Kajaani sind einzelne Standorte mit Meer und Fernwärme.Wer keine kalte Küste und keine Stadt hat, die Abwärme abnimmt, braucht einen anderen Plan. Genehmigung und Korrosion bleiben.

7. Kühlen ohne Luft

Strahlung

Abstrahlung im All, Stefan-Boltzmann – warum Orbit-Kühlung Physik ist.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Auf der Erde nimmt Luft oder Wasser die Wärme mit. In Hamina ist es das Meerwasser der Bucht von Finnland, in Kajaani ein Rohr zur Stadt, vor Orkney die See um einen Zylinder. Im Vakuum des Orbits fehlt dieser Bote. Was heiß ist, kann die Energie nur noch abstrahlen. Die Stefan-Boltzmann-Konstante steht dafür exakt in der CODATA-Tabelle des amerikanischen NIST. HyperPhysics, die Lehrsammlung der Georgia State University, formuliert das Gesetz so, wie es seit dem 19. Jahrhundert in jedem Hörsaal steht: Die abgestrahlte Energie ist proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur. Ein paar Kelvin mehr an der Oberfläche, und die Fläche gibt deutlich mehr Leistung ab. Das ist keine Nationalität. Das ist der Schwarzkörper.[26]

Die Lösungsbauer rechnen deshalb für Kühlplatten im Orbit mit derselben Gleichung, mit der ein Solarturm auf der Erde seine Verluste schätzt. Eine Erhöhung der Betriebstemperatur um wenige Kelvin kann die abgestrahlte Leistung stark heben. Reale Flächen sind keine idealen Schwarzkörper, und ein Lehrbuch ersetzt weder die Mechanik eines Satelliten noch die Frage, wohin die Platte zeigt. Die Physik selbst ist trotzdem im Indikativ: Wärme, die nicht in ein Fluid geht, geht als Infrarot.



Ein Solarpaneel der ISS vor dem Erdhorizont, Mission STS-127. Kein Produktkühler. NASA, gemeinfrei. Wikimedia Commons

Ausblick: Rechenzentren im Orbit mit großen strahlenden Paneelen sind ein Ingenieursziel. Belegt ist das Gesetz, nicht das Massenprodukt. Wer quasi freie Energie aus dem All holen will, muss die Abwärme auf demselben Weg loswerden, auf dem die Sonne sie geschickt hat: als Strahlung.

Kurz gefasst

- Im Vakuum trägt keine Luft die Wärme fort.
- Abgestrahlte Leistung steigt mit der vierten Potenz der Temperatur.
- Die Konstante steht bei NIST, das Gesetz in jedem Lehrbuch.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtDie Schwarzkörper-Rechnung im Lehrbuch ersetzt keine Satellitenmechanik.Kühlflächen im Orbit sind Physik im Indikativ und ein Produkt erst im Konjunktiv.

8. Angst als Machtinstrument

Debatte · 2019–2026

Wer von Untergangsszenarien profitiert – als zugeschriebene Deutung, fair belegt.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Untergangsängste sind ein Markt. Die Lösungsbauer unterscheiden: Was ist belegte Physik, was ist Verkauf von Vorsicht? EUR-Lex veröffentlicht Regulation (EU) 2024/1689 mit Amtsblatt-Datum 12.7.2024. Der AI-Act-Explorer ergänzt Personal für das EU AI Office.[33]

Geoffrey Hinton warnt in Fortune vor einem KI-„nightmare scenario“ nach dem Google-Ausstieg. Sam Altman sagte 2023 vor dem Senate Judiciary Committee aus – PBS NewsHour dokumentiert die Anhörung. Beides sind zugeschriebene Debattenpositionen – fair mit Gegenposition im Kasten.[49]

Ausblick: Wer Angst nur bekämpft, verliert das Tempo; wer sie nur verstärkt, verliert die Bürger. Regeln plus Technik sind der Mittelweg.



Plenarsaal des Europäischen Parlaments in Brüssel, 2024. Foto: Profpcde, CC0. Wikimedia Commons

Kurz gefasst

- Lösungsbauer-Perspektive: messen, bauen, verbessern.
- Physik im Indikativ; Zukunft mit Ausblick markiert.

- Kritik steht in ‚Die andere Sicht'.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtHinton warnt vor Risiken – andere halten die Gefahr für übertrieben und fürchten Forschungsbremsen.Altman plädiert für Regulierung – Kritiker sehen Lobby-Risiko, wenn CEOs die Regeln schreiben.

9. KI überwacht KI

Sicherheit

Scalable Oversight, Interpretability – Ingenieursantworten auf Kontrollverlust.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Technik ohne Aufsicht skaliert das Risiko mit der Fähigkeit. Anthropic in den USA definiert scalable oversight als die Aufgabe, Systeme zu beaufsichtigen, die uns in den meisten für die Aufgabe wichtigen Fertigkeiten übertreffen können. Sichere und nützliche Allzweck-KI brauche Fortschritt genau dort. In einem Experiment schlugen Menschen, die mit einem unzuverlässigen Sprachmodell im Chat arbeiten durften, die Maschine allein. Das Paper warnt: Wer Systeme auf oder über menschlichem Niveau ausrollen will, braucht diesen Fortschritt. Parallel versucht die Interpretierbarkeitsarbeit, die Überlagerung von Merkmalen im Netz zu verstehen. Anthropic beschreibt sich als Public Benefit Corporation, die Nutzen sichern und Risiken mindern will. Eine Rechtsform ist kein Beweis. Sie ist eine Absicht mit Adresse.[36]

Staaten bauen neben den Labors eigene Türen. Das britische AI Safety Institute wurde im November 2023 beim AI Safety Summit gegründet. Die Regierung nennt es die erste staatlich getragene Stelle, die sich auf die Sicherheit fortgeschrittener KI zum öffentlichen Nutzen richtet, und sie lässt Modelle vor und nach der Veröffentlichung auf schädliche Fähigkeiten prüfen. Das ist eine institutionelle Antwort aus Europa, nicht ein weiteres amerikanisches Labor mit anderem Briefkopf. Die genaue Methode bleibt auf der Seite vertraulich, damit sich niemand darauf einstellen kann. Was öffentlich ist, ist der Auftrag und das Datum.[70]

China hat im Sommer 2023 die öffentlichen Dienste reguliert, nicht das Gedankenexperiment. Am 13. Juli 2023 meldete die englische Seite des Staatsrats, die Cyberspace Administration of China habe gemeinsam mit anderen Behörden, darunter die Staatliche Entwicklungs- und Reformkommission und das Wissenschaftsministerium, eine Übergangsregel für generative KI-Dienste erlassen. Sie gilt ab dem 15. August. Die Meldung

spricht von Förderung und von Grundnormen in einem Atemzug: falsche Informationen, personenbezogene Daten, Sicherheit. Das ist Diensterecht. Es ist nicht dasselbe wie ein Verfahren, das ein Netz von innen liest. Wer beides in einen Topf wirft, vergleicht eine Verordnung mit einem Mikroskop.[71]

Indien schreibt die Aufsicht in Leitlinien, die das Ministerium für Elektronik und Informationstechnik zeichnet. Die India AI Governance Guidelines sagen, die IndiaAI Mission habe ein AI Safety Institute eingerichtet. Es soll forschen, Entwurfsstandards entwickeln und Sicherheitstests durchführen. Eine Empfehlung weiter unten verlangt, diesem Institut Mittel für Forschung, Standards und Prüfverfahren zu geben. Ein Institut im Fließtext einer Leitlinie ist der Anfang einer Behörde, nicht ihr erster öffentlich ausgewerteter Test. Für die Lösungsbauer zählt, dass die Arbeit einen Namen und einen Auftrag hat.[72]



Computerraum am GGI in Indien. Nicht das India AI Safety Institute. Foto: Vkmandhar, gemeinfrei. Wikimedia Commons

Kurz gefasst

- Anthropic: Aufsicht für Systeme, die uns übertreffen können.
- UK AISI, November 2023: Prüfung vor und nach der Veröffentlichung.
- China ab 15. August 2023: Regel für generative Dienste. Indien: Safety Institute in den Leitlinien.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtEin Institut in Großbritannien, eine Diensteregel in China und ein Institut in den indischen Leitlinien sind verschiedene Werkzeuge.Keines davon beweist, dass Aufsicht schon mit den Modellen mitwächst. Scalable Oversight bleibt Forschung.

10. Neue Berufe, goldenes Zeitalter

Ausblick

KI-Prüfer, Red-Teamer, Auditoren – Ausblick auf eine Superintelligenz, die allen dient.



KI-generiert · KI-generiert (Grok Image). Motiv: {title}. Kein Beleg.

Ausblick: Ein goldenes Zeitalter der Intelligenz ist kein Geschenk, das eines Morgens auf dem Tisch liegt. Es ist ein Baukasten, und die Teile haben inzwischen Adressen auf mehreren Kontinenten. Neue Berufe sind schon im Ansatz da: Menschen, die Modelle prüfen, die sie angreifen, um die Lücken zu finden, die sie gegen eine Regel halten. Die Lösungsbauer sehen darin Handwerk. Ob alte Tätigkeiten daneben wegfallen und wer den Ertrag bekommt, entscheiden nicht die Chips.

Die Energie, ohne die der Kasten leer bleibt, heißt in diesem Dossier quasi freie Energie, weil der Brennstoff Sonne oder ein Milligramm Fusionsgut ist und nicht eine Mine. ITER will die Fusionsleistung im Kraftwerksmaßstab zeigen und nennt sich eines der ambitioniertesten Energieprojekte der Welt. Die Partnerliste reicht von der Europäischen Union über Indien, China und Russland bis in die USA, nach Japan und Korea. Lightmatter spricht auf der Produktseite von einer Evolution, die auch eine Revolution sein soll. Beides ist Werben und Bauen zugleich. Der spanische Spiegelpark, der chinesische Zubau, der Turm in Jülich, das Megawatt bei Delhi, SOLARIS, EAST, JET, Wendelstein und der Tokamak in Moskau sind die konkreten Stufen unter diesem Satz.[42]

Kühlung und Aufsicht gehören in denselben Kasten. Orkney, Kajaani und Hamina zeigen, dass Wärme einen Abnehmer finden kann. Das Gesetz von Stefan und Boltzmann zeigt, wohin sie muss, wenn kein Abnehmer da ist. Das britische Institut, die chinesische Diensteregel, die indischen Leitlinien und die amerikanischen Labore sind vier Versuche, eine Maschine nicht allein zu lassen. Eine Superintelligenz, die allen dient, bleibt die Deutung der Lösungsbauer. Sie ist kein Naturgesetz. Sie ist ein Ziel, das man nur erreicht, wenn die Energie reicht, die Wärme weggeht und jemand prüft, was das System tut.



Gebäude des Kurtschatow-Instituts in Moskau, Mai 2022, entlang der Raspletina-Straße. Nicht der Tokamak T-15MD. Foto: Retired electrician, CC0. Wikimedia Commons

Kurz gefasst

- Quasi freie Energie ist ein Bauplan, kein Geschenk.
- ITER will Kraftwerksmaßstab. Die Partnerliste ist international.
- Berufe der Aufsicht sind Handwerk der Lösungsbauer, keine Garantie.

> **Die andere Sicht**
>
> Die andere SichtNeue Berufe können entstehen, andere können wegfallen. Wer die Früchte bekommt, ist eine politische Frage.Ein goldenes Zeitalter ist die Deutung der Lösungsbauer, kein Naturgesetz.

Aussagen und Belege

[1] ● Belegt (Primärquelle): Microsoft schreibt: Unterwasser-Rechenzentren seien praktikabel, zuverlässig und energetisch nachhaltig nutzbar.
Grenze: Belegt für Project Natick (Blog 2020). Kein Alltagsbetrieb aller Cloud-Regionen.

> *Gegenprobe:* Ein Pilotprojekt ersetzt nicht die globale Rechenzentrum-Landschaft.

Belege: „underwater datacenters are reliable, practical and use energy sustainably“ (Seitentitel / Lead) [1]

[2] ● Belegt (Primärquelle): Die Server im Unterwasser-Container waren achtmal zuverlässiger als in einer Vergleichsanlage an Land.
Grenze: Belegt für Northern Isles, zwei Jahre Laufzeit. Ursachen-Hypothese steht im Text, nicht als Experiment.

> *Gegenprobe:* Acht mal weniger Ausfälle heißt nicht achtmal weniger Stromverbrauch.

Belege: „eight times more reliable than those in a replica datacenter on land“ (Natick-Bericht) [1]

[3] ● Belegt (Primärquelle): Project Natick nutzte am Orkney-Gitter Strom aus Wind, Solar und Experimenten des European Marine Energy Centre.
Grenze: Belegt für den Teststandort. Nicht jedes Azure-Rechenzentrum hängt an 100 Prozent Erneuerbare.

> *Gegenprobe:* Grüner Strom am Rande Europas beweist noch keinen globalen Mix.

Belege: „the grid there is supplied 100% by wind and solar as well as experimental green energy technologies“ (EMEC-Absatz) [1]

[4] ● Belegt (Primärquelle): Microsofts Azure-Framework nennt den Energieverbrauch und CO_2-Fußabdruck von KI-Workloads signifikant.
Grenze: Belegt als Architektur-Leitfaden, keine Messung eines einzelnen Modells.

> *Gegenprobe:* Signifikant ist keine exakte Zahl; der Text nennt keine Terawattstunden.

Belege: „their significant energy consumption and carbon footprint“ (Sustainable AI design, Einleitung) [2]

[5] ● Belegt (Primärquelle): Azure rät: Wo es passt, kleine Sprachmodelle statt großer wählen, um Energie zu sparen.
Grenze: Belegt als Empfehlung mit Trade-off-Hinweis im selben Absatz.

> *Gegenprobe:* Kleinere Modelle können Genauigkeit und Kontext verlieren.

Belege: „Choose small language models over large language models where applicable to reduce energy consumption“ (Model design) [2]

[6] ● Belegt (Primärquelle): Laut EPA-Rechner verbraucht eine typische Smartphone-Batterie auf 24 Stunden gerechnet 28.446 Wattstunden.
Grenze: Belegt als Referenzgröße im EPA Greenhouse Gas Equivalencies Calculator.

> *Gegenprobe:* Ein Handy ist kein GPU-Cluster; der Vergleich dient nur der Größenordnung.

Belege: „the 24-hour energy consumed by a common smartphone battery is 28.446 Watt-hours“ (Smartphones charged) [3]

[7] ● Belegt (Primärquelle): Der EPA-Rechner nennt für gelieferten US-Strom im Jahr 2022 einen Emissionsfaktor von 823.1 lb CO_2 pro MWh (eGRID).
Grenze: US-Mix 2022, nationaler Default. Nicht der deutsche Strommix.

> *Gegenprobe:* Emissionsfaktoren ändern sich mit dem Netz.

Belege: „generated in 2022 was 823.1 lbs CO 2 per megawatt-hour“ (eGRID 2022) [3]

[8] ● Belegt (Primärquelle): Microsoft empfiehlt carbon-aware scheduling: Training in Zeiten und Regionen mit niedrigerer CO_2-Intensität verschieben.
Grenze: Belegt als Design-Empfehlung, nicht als verpflichtende Azure-Policy.

> *Gegenprobe:* Carbon-aware Scheduling kann Latenz und Compliance-Konflikte erzeugen.

Belege: „implement carbon-aware scheduling to shift training workloads to times and regions that have lower carbon intensity“ (Training region) [2]

[9] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Die Wikipedia-Übersicht listet „Photonic logic“ als eigenes Kapitel der optischen Rechentechnik.
Grenze: Enzyklopädie, kein Produktionschip-Beleg.

> *Gegenprobe:* Laboroptik ist nicht gleich Envise-Rack in Serie.

Belege: „3 Photonic logic“ (Inhaltsverzeichnis) [13] „All-analog photoelectronic chip“ (Nature-Titel) [19]

[10] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter bezeichnet Envise als die weltweit erste photonische Computing-Plattform.
Grenze: Marketing-Formulierung des Herstellers.

> *Gegenprobe:* „Erste“ ist ein Wettbewerbsclaim, kein Peer-Review.

Belege: „The World's First Photonic Computing Platform“ (Envise-Seite) [14]

[11] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter schreibt: Man kann die Stromzufuhr zum Gebäude nicht beliebig erhöhen – also braucht es bessere Hardware.
Grenze: Belegt als Problemstellung auf der Produktseite.

> *Gegenprobe:* Neubau oder Netzanschluss bleiben reale Alternativen.

Belege: „You can’t increase the power supply to the building“ (The Solution) [14]

[12] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter kombiniert Elektronik, Photonik und neue Algorithmen zu einer für KI gebauten Plattform.
Grenze: Belegt als Produktvision, keine unabhängige Benchmark-Zahl im Snapshot.

> *Gegenprobe:* Kombination im Labor heißt nicht Marktdominanz.

Belege: „Through the combination of electronics, photonics, and new algorithms, we’ve built a next-generation computing platform purpose-built for AI“ (Revolutionary) [14]

[13] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia führt optische Rechentechnik als eigenes Feld mit photonischer Logik und Tensor-Operationen.
Grenze: Überblick, keine Marktprognose.

> *Gegenprobe:* Historische Scheiternarrative fehlen in diesem einen Satz.

Belege: „4.2 Photonic tensor operations“ (Inhaltsverzeichnis) [13] „purpose-built for AI“ (Lightmatter) [14]

[14] ● Belegt (Primärquelle): Das U.S. Department of Energy führt eine eigene Seite zu Concentrating Solar-Thermal Power.
Grenze: Belegt für US-Politik und Programmstruktur, nicht für jeden MW weltweit.

> *Gegenprobe:* Eine Webseite beweist keine installierte Leistung.

Belege: „Concentrating Solar-Thermal Power“ (Seitentitel) [4]

[15] ● Belegt (Primärquelle): NREL listet Concentrating Solar Power als Schwerpunkt der US-Forschung.
Grenze: NREL-Seite, Inhalt parallel zu DOE-CSP-Snapshot.

> *Gegenprobe:* Forschungsschwerpunkt ist nicht automatisch Marktanteil.

Belege: „Concentrating Solar-Thermal Power“ (Seitentitel) [5]

[16] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia verknüpft konzentrierte Solarenergie mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz in der Verlustrechnung.
Grenze: Enzyklopädie-Formel, keine Anlagenmessung.

> *Gegenprobe:* Theorie der Wärmestrahlung ersetzt keine Netzausbauplanung.

Belege: „applying the Stefan–Boltzmann law yields“ (Wärmeverlust-Abschnitt) [6] „Concentrating Solar-Thermal Power“ (NREL) [5]

[17] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Der Wikipedia-Artikel zu konzentrierter Solarenergie nennt Spiegel oder Linsen zur Erwärmung eines Fluids.
Grenze: Kurzdefinition im Überblick.

> *Gegenprobe:* CSP braucht Sonne und Speicher; nicht jede Region passt.

Belege: „Use of mirrors or lenses to heat a fluid for electricity generation“ (Einleitung) [6] „Concentrating Solar-Thermal Power“ (DOE) [4]

[18] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia behandelt Space-based solar power als eigenes Thema mit Mikrowellen-Übertragung.
Grenze: Enzyklopädie, Stand der Technik gemischt.

> *Gegenprobe:* Launch-Kosten und Wartung bleiben Hürden.

Belege: „Space-based solar power“ (Artikeltitel) [7] „SSPP aims to harvest solar power in space“ (Caltech) [18]

[19] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia listet Microwave power transmission als Design-Unterpunkt von Orbital-Solarstrom.
Grenze: Konzeptbeschreibung, kein Flugdemonstrator im Beleg.

> *Gegenprobe:* Mikrowellenübertragung löst nicht alle Regulierungsfragen.

Belege: „3.1 Microwave power transmission“ (Inhaltsverzeichnis) [7] „Wirelessly Transmits Power in Space“ (Caltech) [18]

[20] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia erwähnt Sammlung von Sonnenenergie im Weltraum für Nutzung auf der Erde (US-Kontext im Artikel).
Grenze: Historischer und politischer Kontext im Artikel.

> *Gegenprobe:* Politische Ankündigung ist nicht Start eines Kraftwerks.

Belege: „collect solar energy from space for use on Earth“ (Geschichte) [7] „Space Solar Power Demonstrator“ (Caltech) [18]

[21] ● Belegt (Primärquelle): Das DOE datierte die Veröffentlichung der Ignition-Meldung auf den 12. Dezember 2022.
Grenze: Belegt Headline-Datum der Pressemitteilung, nicht nur den Schusstag 5. Dezember.

> *Gegenprobe:* Ein Schuss ist nicht Dauerbetrieb.

Belege: „December 12, 2022“ (DOE Headline-Datum) [8]

[22] ● Belegt (Primärquelle): Bei dem DOE-Durchbruch wurden 3.15 MJ Fusionsenergie erzeugt (Inertial Fusion Energy als wissenschaftliche Basis).
Grenze: Belegt als Laborwert. IFE-Kraftwerk steht aus.

> *Gegenprobe:* MJ-Scale ist weit unter Netzleistung.

Belege: „3.15 MJ of fusion energy output“ (Pressemitteilung) [8]

[23] ● Belegt (Primärquelle): LLNL betreibt die National Ignition Facility im Kontext von Energie-Führung und Entdeckungswissenschaft.
Grenze: Institutionsbeschreibung, kein neuer Zündungswert im Snapshot.

> *Gegenprobe:* NIF dient auch der nuklearen Stewardship-Mission.

Belege: „National Ignition Facility“ (LLNL-Seite) [9]

[24] ● Belegt (Primärquelle): ITER beschreibt Fusion als die Kernreaktion, die Sonne und Sterne antreibt.
Grenze: Belegt auf iter.org, Projektstatus separat.

> *Gegenprobe:* Sternenphysik im Labor skaliert nicht linear.

Belege: „Fusion, the nuclear reaction that powers the Sun and the stars“ (Fusion energy) [10]

[25] ● Belegt (Primärquelle): Am ITER-Projekt wirken China, die EU, Indien, Japan, Korea, Russland und die USA mit.
Grenze: Belegt als Mitgliedschaftsliste.

> *Gegenprobe:* Internationale Kooperation heißt nicht pünktlicher Terminplan.

Belege: „China, the European Union, India, Japan, Korea, Russia and the United States are participating“ (Reimagining energy) [10]

[26] ● Belegt (Primärquelle): NIST CODATA führt die Stefan-Boltzmann-Konstante mit exaktem SI-Wert.
Grenze: Konstantentabelle, keine Solaranlage.

> *Gegenprobe:* Exakte Konstante ersetzt keine Wetterdaten.

Belege: „Stefan-Boltzmann constant 5.670 374 419... e-8 (exact) W m^-2 K^-4“ (CODATA-Tabelle) [11]

[27] ◐ Belegt (Sekundärquelle): HyperPhysics erklärt die Stefan-Boltzmann-Gesetzes-Seite als Standardreferenz im Unterricht.
Grenze: Enzyklopädie-Nachschlagewerk.

> *Gegenprobe:* Lehrseite ist nicht Primärpaper von Stefan 1879.

Belege: „Stefan–Boltzmann law“ (Seitentitel) [12] „Stefan–Boltzmann law“ (Wikipedia) [21]

[28] ◐ Belegt (Sekundärquelle): HyperPhysics: Die abgestrahlte Energie ist proportional zur vierten Potenz der Temperatur.
Grenze: Idealisierter Schwarzkörper-Kontext im Text.

> *Gegenprobe:* Reale Oberflächen sind keine idealen Schwarzkörper.

Belege: „proportional to the fourth power of the absolute temperature“ (Stefan-Boltzmann) [12] „Stefan-Boltzmann constant“ (NIST) [11]

[29] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter will den CO_2-Fußabdruck und die Betriebskosten von Rechenzentren senken.
Grenze: Herstellerziel, keine auditierte Bilanz im Snapshot.

> *Gegenprobe:* Weniger Strom pro Chip kann mehr Chips pro Rack bedeuten.

Belege: „Reduce the carbon footprint and operating cost of your datacenter“ (The Problem) [14]

[30] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter verspricht Performance- und Power-Vorteile durch photonische Skalierung.
Grenze: Marketing-Matrix auf der Seite, keine unabhängige Messung zitiert.

> *Gegenprobe:* Versprechen ist kein Liefervertrag.

Belege: „Performance / Power“ (Scaling-Paradigm) [14]

[31] ● Belegt (Primärquelle): Envise soll größere, fähigere neuronale Netze ermöglichen, ohne gleich ein neues Gebäude zu bauen.
Grenze: Produktpositionierung.

> *Gegenprobe:* Modellgröße wächst oft schneller als Chip-Gewinn.

Belege: „We enable your roadmap for bigger, more capable neural network models“ (The Solution) [14]

[32] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Wikipedia führt optische Rechentechnik mit Industrie-Abschnitt.
Grenze: Enzyklopädie.

> *Gegenprobe:* Industrie-Abschnitt ist kein Marktanteil.

Belege: „5 Industry“ (Inhaltsverzeichnis) [13] „Envise“ (Lightmatter) [14]

[33] ● Belegt (Primärquelle): EUR-Lex veröffentlicht Regulation (EU) 2024/1689 als verbindliche Fassung des EU AI Act.
Grenze: Belegt als Amtsblatt-HTML-Snapshot, nicht jede Durchführungsverordnung.

> *Gegenprobe:* Verordnungstext ist kein Urteil über Praxistauglichkeit für Start-ups.

Belege: „Regulation (EU) 2024/1689“ (Amtsblatt-Titel) [24] „Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament“ (Wikipedia) [20]

[34] ● Belegt (Primärquelle): EUR-Lex datiert die Veröffentlichung im Amtsblatt auf den 12.7.2024.
Grenze: Datum im Amtsblatt-Kopf, nicht alle Übergangsfristen im Zitat.

> *Gegenprobe:* Veröffentlichungsdatum ist nicht gleich vollständige Anwendung aller Pflichten.

Belege: „12.7.2024“ (Official Journal L 2024/1689) [24] „published in the Official Journal on 12 July 2024“ (Wikipedia) [20]

[35] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Der Explorer wirbt für eine große Einstellungsrunde im EU AI Office zur Durchsetzung des AI Act.
Grenze: Presse/Portal-Hinweis auf der FLI-Seite.

> *Gegenprobe:* Stellenanzeigen sind nicht gleich erzogene Kapazität.

Belege: „dedicated to enforcing the AI Act“ (Alert-Banner) [15] „European AI Office“ (Wikipedia) [20]

[36] ● Belegt (Primärquelle): Anthropic definiert scalable oversight als Aufgabe, Systeme zu beaufsichtigen, die uns in relevanten Fähigkeiten übertreffen können.
Grenze: Belegt im Oversight-Paper (arXiv-HTML-Snapshot).

> *Gegenprobe:* Definition ist kein Beweis, dass Oversight schon skaliert.

Belege: „supervising systems that potentially outperform us on most skills relevant to the task at hand“ (Abstract) [16]

[37] ● Belegt (Primärquelle): Anthropic: Sichere, nützliche Allzweck-KI braucht Fortschritt bei scalable oversight.
Grenze: Forschungsagenda, kein Produktfeature.

> *Gegenprobe:* Fortschritt in Papers heißt nicht sichere Deployment-Garantie.

Belege: „Developing safe and useful general-purpose AI systems will require us to make progress on scalable oversight“ (Abstract) [16]

[38] ● Belegt (Primärquelle): Im Oversight-Experiment schlagen Menschen mit Chat-Hilfe eines unzuverlässigen LLM die Maschine deutlich.
Grenze: MMLU/QuALITY-Setting 2022, nicht GPT-4o.

> *Gegenprobe:* Multiple-Choice ist kein Weltraum-Einsatz.

Belege: „human participants who interact with an unreliable large-language-model dialog assistant through chat“ (Abstract) [16]

[39] ● Belegt (Primärquelle): Anthropic warnt: Deployment von Systemen auf oder über menschlichem Niveau braucht scalable oversight.
Grenze: Schlussfolgerung der Autoren.

> *Gegenprobe:* Warnung ist keine Gesetzeslage.

Belege: „Safely deploying AI systems that are broadly at or above human capabilities will require progress on scalable oversight“ (Conclusion) [16]

[40] ● Belegt (Primärquelle): Anthropics Interpretability-Notiz nennt Superposition als zentrale Herausforderung.
Grenze: Kurz-Abstract auf anthropic.com, Mai 2023.

> *Gegenprobe:* Superposition verstehen heißt nicht Modell vollständig lesen.

Belege: „trying to resolve the challenge of superposition“ (Abstract) [17]

[41] ● Belegt (Primärquelle): Anthropic beschreibt sich als Public Benefit Corporation mit Fokus auf Nutzen sichern und Risiken mindern.
Grenze: Unternehmens-Selbstbeschreibung.

> *Gegenprobe:* Rechtsform ist kein Sicherheitsbeweis.

Belege: „Anthropic is a public benefit corporation dedicated to securing its benefits and mitigating its risks“ (Footer) [17]

[42] ● Belegt (Primärquelle): ITER formuliert das Ziel, Fusionsleistung im Kraftwerksmaßstab zu demonstrieren.
Grenze: Projektziel, kein erreichtes Kraftwerk.

> *Gegenprobe:* Zeitplan und Kosten sind im Beleg nicht enthalten.

Belege: „production at power plant scale, breaking new ground in fusion science“ (Latest news) [10]

[43] ● Belegt (Primärquelle): ITER nennt sich eines der ambitioniertesten Energieprojekte der Welt.
Grenze: Eigenwerbung der Organisation.

> *Gegenprobe:* Ambition ersetzt keine Netzintegration.

Belege: „one of the most ambitious energy projects in the world today“ (About) [10]

[44] ● Belegt (Primärquelle): Microsoft sieht Unterwasser- und Edge-Zentren als Bausteine, Rechenleistung näher an Menschen zu bringen.
Grenze: Belegt für Natick-Follow-on-Gespräche im Blog.

> *Gegenprobe:* Edge skaliert nicht automatisch zu planetary compute.

Belege: „smaller datacenters located closer to customers“ (Go anywhere) [1]

[45] ● Belegt (Primärquelle): Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt innerhalb von 120 Meilen zur Küste – relevant für Küsten-Rechenzentren.
Grenze: Microsoft-Argument im Natick-Blog.

> *Gegenprobe:* Küstennähe löst nicht alle Genehmigungsfragen.

Belege: „More than half the world’s population lives within 120 miles of the coast“ (Proof of concept) [1]

[46] ● Belegt (Primärquelle): Lightmatter positioniert Photonik als evolutionären Schritt für leistungsfähigere KI.
Grenze: Marketing.

> *Gegenprobe:* Evolutionär ist kein Zeitplan.

Belege: „It's Time for Something (R)evolutionary“ (Envise) [14]

[47] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Der Explorer beschreibt den AI Act als hunderte Seiten lang – mit Kurzfassung für Einstieg.
Grenze: Meta-Beschreibung auf der Portal-Seite.

> *Gegenprobe:* Länge sagt nichts über Praxistauglichkeit für Start-ups.

Belege: „The complete AI Act is hundreds of pages long“ (Summary-Hinweis) [15] „Artificial Intelligence Act“ (Wikipedia-Titel) [20]

[48] ● Belegt (Primärquelle): Natick: Ausfallrate im Wasser ein Achtel der Rate an Land.
Grenze: Zitat Cutler, gleiche Studie wie c-002.

> *Gegenprobe:* Zuverlässigkeit ist nicht gleich geringer Strom.

Belege: „Our failure rate in the water is one-eighth of what we see on land“ (Cutler) [1]

[49] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Fortune berichtet: Geoffrey Hinton warnt nach dem Google-Ausstieg vor einem KI-‚nightmare scenario'.
Grenze: Pressebericht plus Enzyklopädie-Zusammenfassung, keine amtliche Stellungnahme.

> *Gegenprobe:* Journalistische Deutung ist nicht gleich wissenschaftlicher Konsens.

Belege: „warns of A.I. 'nightmare scenario'" (Fortune-Headline) [26] „AI 'godfather' Geoffrey Hinton warns of dangers as he quits Google" (Wikipedia) [22]

[50] ● Belegt (Primärquelle): PBS NewsHour titelt die Live-Übertragung der Aussage von Sam Altman vor dem Senate Judiciary Committee am 15. Mai 2023.
Grenze: Presse-Seite zur Anhörung, kein amtliches Senats-Transkript im Snapshot.

> *Gegenprobe:* Anhörung ist kein verabschiedetes Gesetz.

Belege: „May 15, 2023" (PBS-Seite) [25] „Senate Judiciary Committee" (PBS-Titel) [25] „May 15, 2023" (Wikipedia) [23]

[51] ● Belegt (Primärquelle): Die IEA schätzt den Stromverbrauch von Rechenzentren 2024 auf rund 415 TWh, etwa 1.5 Prozent des Weltstroms. Die USA hielten 45 Prozent, China 25 Prozent, Europa 15 Prozent.
Grenze: IEA Energy and AI, Sonderbericht, Schätzung für 2024. Keine Zählerablesung eines einzelnen Hallenbetreibers.

> *Gegenprobe:* Ein Weltanteil von 1,5 Prozent kann lokal trotzdem ein Netzproblem sein.

Belege: „Data centres accounted for around 1.5% of the world's electricity consumption in 2024, or 415 terawatt-hours (TWh). The United States accounted for the largest share of global data centre electricity consumption in 2024 (45%), followed by China (25%) and Europe (15%)." (Executive summary) [27]

[52] ● Belegt (Primärquelle): Europa verbrauchte 2024 nach IEA-Schätzung etwa 70 TWh Strom in Rechenzentren.
Grenze: Regionale Schätzung im selben IEA-Bericht, nicht die Summe nationaler Ämter.

> *Gegenprobe:* 70 TWh sind nicht der Verbrauch eines einzelnen Landes.

Belege: „Europe's consumption is lower, at an estimated 70 TWh in 2024." (Regionaler Vergleich) [27]

[53] ● Belegt (Primärquelle): In Indien schätzt die IEA den Rechenzentrumsstrom auf rund 9 TWh, etwa 0.5 Prozent des Landesverbrauchs.
Grenze: Kasten 2.2 des IEA-Berichts, gerundet.

> *Gegenprobe:* Ein kleiner Landesanteil schließt schnelles Wachstum nicht aus.

Belege: „data centres account for around 9 TWh of consumption in India (Box 2.2), or about 0.5% of total consumption“ (Box 2.2) [27]

[54] ● Belegt (Primärquelle): Stand Juni 2024 nennt die IEA für Indien 2 GW installierte Rechenzentrumsleistung im Betrieb.
Grenze: Installierte IT-Leistung, nicht Jahresarbeit. Die IEA schreibt, die Leistung habe sich in vier Jahren verdoppelt.

> *Gegenprobe:* Genehmigte Pipeline ist nicht gleich gebauter Stromanschluss.

Belege: „As of June 2024 India had 2 GW of total installed data centre capacity in operation“ (Country focus: India) [27]

[55] ● Belegt (Primärquelle): Die IEA nennt für die IndiaAI Mission ein Budget von 1.2 Milliarden US-Dollar und ein Rechenökosystem mit über 18 000 GPUs.
Grenze: Wiedergabe der Mission im IEA-Bericht, kein Haushaltsgesetz im Snapshot.

> *Gegenprobe:* Beschlossenes Budget ist nicht gleich gelieferte Rechenleistung.

Belege: „The government's IndiaAI Mission, with a budget of USD 1.2 billion, consists of several objectives, including the development of an AI computing ecosystem with over 18 000 GPUs“ (Country focus: India) [27]

[56] ● Belegt (Primärquelle): Eine Gruppe an der Tsinghua-Universität in Peking beschreibt am 25. Oktober 2023 in Nature einen analog-optischen Chip mit 74.8 Peta-Operationen pro Sekunde und Watt und 4.6 Peta-Operationen pro Sekunde. Mehr als 99 Prozent davon sind optisch umgesetzt. Die Danksagung nennt die National Natural Science Foundation of China.
Grenze: Laborwert für Bildaufgaben (ACCEL), nicht ein verkauftes Rechenzentrums-Rack. Die Förderung steht in den Danksagungen, nicht im Abstract.

> *Gegenprobe:* Peta-Operationen in einem Sichtchip sind nicht gleich Token eines Sprachmodells.

Belege: „Published: 25 October 2023“ (Nature-Kopf) [19] „systemic energy efficiency of 74.8 peta-operations per second per watt“ (Abstract) [19] „computing speed of 4.6 peta-operations per second“ (Abstract) [19] „more than 99% implemented by optics“ (Abstract) [19] „Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, China“ (Affiliation) [19] „supported by the National Natural Science Foundation of China“ (Danksagung) [19]

[57] ● Belegt (Primärquelle): PhotonDelta bezeichnet sich als europäisches Ökosystem der integrierten Photonik und meldet eine Foundry-Partnerschaft von SMART Photonics mit GlobalFoundries für Silizium und Indiumphosphid.
Grenze: Selbstdarstellung der Website, Stand des Abrufs. Keine unabhängige Wafer-Zahl.

> *Gegenprobe:* Eine angekündigte Foundry ist noch keine flächendeckende Chipfertigung.

Belege: „PhotonDelta - European Integrated Photonics Ecosystem“ (Seitentitel) [39] „SMART Photonics Partners with GlobalFoundries to Offer Industry's First Open Access Foundry Service for Integrated Silicon and Indium Phosphide Photonics“ (Startseite) [39]

[58] ● Belegt (Primärquelle): SolarPACES zählt für Spanien mit Stand 2017 fünfzig CSP-Kraftwerke und 2.3 GW, in Betrieb seit 2013.
Grenze: Länderseite von SolarPACES, Stand der Seite ist 2017. Keine Aussage über Zubau nach 2017.

> *Gegenprobe:* Ein alter Bestand beweist nicht, dass heute noch zugebaut wird.

Belege: „As of 2017, 50 CSP plants with an aggregate capacity of 2.3 GW have been in operation since 2013.“ (Spain) [42]

[59] ● Belegt (Primärquelle): Das DLR betreibt in Jülich Solartürme mit mehr als 2,000 Heliostaten. Luft wird auf bis zu 700 Grad Celsius erhitzt, die elektrische Nennleistung beträgt 1.5 Megawatt, und die Anlage dient der Forschung, nicht dem kommerziellen Verkauf.
Grenze: Institutsseite des DLR. Forschungsbetrieb, kein Stromliefervertrag für Rechenzentren.

> *Gegenprobe:* 1,5 Megawatt ersetzen kein Kraftwerk in der Wüste.

Belege: „More than 2,000 heliostats“ (Two solar towers) [31] „700 degrees Celsius“ (Receiver) [31] „The nominal electrical output of the plant is 1.5 megawatts.“ (Nennleistung) [31]

[60] ● Belegt (Primärquelle): Die China Solar Thermal Alliance veröffentlichte am 31. Januar 2025 ihr Branchenbuch 2024: 838.2 MW fertiggestellte CSP-Leistung, 34 Projekte mit 3,300 MW im Bau und rund 4,800 MW in Planung.
Grenze: Verbandsstatistik der CSTA, nicht eine Tabelle der Nationalen Energiebehörde im selben Snapshot. Stand Ende 2024 für den Bestand.

> *Gegenprobe:* Im Bau ist nicht gleich am Netz.

Belege: „On January 31, 2025, the Blue Book“ (Meldung) [32] „as of the end of 2024, the total installed capacity of completed CSP plants has reached 838.2 MW“ (Bestand) [32] „34 CSP projects under construction in China, with a total installed capacity of 3,300 MW“ (Bau) [32] „about 4,800 MW“ (Planung) [32]

[61] ● Belegt (Primärquelle): Das IIT Bombay hat bei Gurgaon nahe Neu-Delhi ein netzgekoppeltes Solarthermie-Kraftwerk mit 1 MWe errichtet, gefördert vom indischen Ministerium für neue und erneuerbare Energie.
Grenze: Projektseite der National Solar Thermal Power Plant. Demonstrationsanlage, keine Landesleistung.

> *Gegenprobe:* Ein Megawatt Forschung ist kein Ersatz für ein Kraftwerksprogramm.

Belege: „capacity of 1 MWe“ (Einleitung) [33] „designed and commissioned at Gurgaon near New Delhi by IIT Bombay“ (Ort) [33] „Ministry of New and Renewable Energy, Government of India“ (Förderung) [33]

[62] ● Belegt (Primärquelle): Die ESA beschrieb am 15. April 2024 das Programm SOLARIS. Es soll Europa bis Ende 2025 eine Entscheidung über ein Entwicklungsprogramm für Strom aus dem Orbit ermöglichen.
Grenze: ESA-Meldung. Entscheidungsvorbereitung, kein Demonstrator im Orbit in diesem Text.

> *Gegenprobe:* Eine Studie bis 2025 ist kein Kraftwerk.

Belege: „15/04/2024“ (Datum) [38] „named SOLARIS“ (Programmname) [38] „This is intended to enable Europe to make an informed decision by the end of 2025 on proceeding with a development programme dedicated to the technology.“ (Ziel) [38]

[63] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Der Wikipedia-Überblick schreibt, weltraumgestützte Solarenergie sei 2020 unter anderem in Japan, China, Russland, Indien, dem Vereinigten Königreich, den USA und bei der ESA verfolgt worden. 2015 habe die China Academy for Space Technology eine Roadmap gezeigt.
Grenze: Enzyklopädie mit Literaturklammern im Fließtext. Kein nationaler Haushaltsbeschluss im Snapshot.

> *Gegenprobe:* Eine Roadmap ist keine Bodenstation am Netz.

Belege: „As of 2020, SBSP is being actively pursued by Japan, China, [31] Russia, India, the United Kingdom, [32] the US, and the European Space Agency.“ (Überblick) [7] „In 2015, the China Academy for Space Technology (CAST) showcased its roadmap“ (China) [7]

[64] ● Belegt (Primärquelle): Im letzten Deuterium-Tritium-Lauf von JET entstand nach Angaben der britischen UKAEA über 5 Sekunden ein Rekord von 69 Megajoule aus 0.2 Milligramm Brennstoff. Mehr als 300 Forschende von EUROfusion arbeiteten am UKAEA-Standort in Oxford.
Grenze: Regierungsmeldung vom 8. Februar 2024 zu den DTE3-Experimenten. Ein Puls, kein Kraftwerk.

> *Gegenprobe:* 69 Megajoule sind weit unter der Energie, die der Puls selbst an Heizung gebraucht hat; die Meldung beziffert hier die Fusionsenergie, nicht den Netzgewinn.

Belege: „high fusion power was consistently produced for 5 seconds, resulting in a ground-breaking record of 69 megajoules using a mere 0.2 milligrams of fuel“ (DTE3) [28] „Over 300 scientists and engineers from EUROfusion“ (Team) [28] „UK Atomic Energy Authority (UKAEA) site in Oxford“ (Ort) [28]

[65] ● Belegt (Primärquelle): Am 15. Februar 2023 erreichte Wendelstein 7-X am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in Greifswald einen Energieumsatz von 1.3 Gigajoule, bei 2.7 Megawatt mittlerer Heizleistung und 480 Sekunden Entladung.
Grenze: Presseinformation PI 01/2023. Energieumsatz ist Heizleistung mal Dauer, nicht freigesetzte Fusionsenergie.

> *Gegenprobe:* Ein langer geheizter Puls ist noch kein Kraftwerk mit Überschuss.

Belege: „On 15 February 2023, the researchers reached a new milestone: for the first time, they were able to achieve an energy turnover of 1.3 gigajoules“ (Meilenstein) [29] „average heating power of 2.7 megawatts, whereby the discharge lasted 480 seconds“ (Heizung und Dauer) [29]

[66] ● Belegt (Primärquelle): EAST in Hefei, in der Meldung als chinesische Artificial Sun bezeichnet, hielt am 20. Januar 2025 ein Hochconfinement-Plasma 1,066 Sekunden. Das Institut für Plasmaphysik nennt den eigenen Rekord von 403 Sekunden aus dem Jahr 2023 und Temperaturen über 100 Millionen Grad Celsius. China trat dem ITER-Programm 2006 bei und trägt nach derselben Meldung etwa 9 Prozent von Bau und Betrieb.
Grenze: Meldung der Hefei Institutes of Physical Science vom 21. Januar 2025 über den Lauf vom 20. Januar. Dauer und Temperatur sind kein Nettostrom.

> *Gegenprobe:* Tausend Sekunden Plasma ersetzen keinen turbinengekoppelten Reaktor.

Belege: „Chinese "Artificial Sun"“ (Titel) [30] „HEFEI, JAN. 20“ (Datumszeile) [30] „1,066 seconds“ (Rekord) [30] „significantly surpasses the previous world record of 403 seconds, which was also established by EAST in 2023“ (Vergleich) [30] „temperatures exceeding 100 million degrees Celsius“ (Temperatur) [30] „China officially joined the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) program in 2006“ (Beitritt) [30] „China is responsible for about 9 percent of the project's construction and operation“ (ITER-Anteil) [30] „Institute of Plasma Physics“ (ASIPP) [30]

[67] ◐ Belegt (Sekundärquelle): Nuclear Engineering International berichtet, der physikalische Start des Tokamaks T-15MD am Kurtschatow-Institut sei im Mai 2021 erfolgt und ein erstes thermonukleares Plasma sei erreicht worden.
Grenze: Fachpresse, Wiedergabe einer Aussage der Institutsleitung. Kein begutachtetes Messpapier in diesem Beleg.

> *Gegenprobe:* Ein gezündetes Plasma im Mittelklasse-Tokamak ist kein Energierekord und kein Netzanschluss.

Belege: „The physical launch of the T-15MD tokamak took place in May 2021." (Start) [40] „The first thermonuclear plasma has been achieved at the T-15MD tokamak, at Russia's Kurchatov Institute" (Plasma) [40]

[68] ● Belegt (Primärquelle): Für den EuroHPC-Rechner LUMI in Kajaani vereinbarten CSC und der Wärmeversorger am 20. Mai 2020, Abwärme ins Fernwärmenetz zu geben. Sie soll etwa 20 Prozent der Fernwärme der Stadt decken. Die Kühlung nutzt Heißwasser. Die Investition der EU und neun europäischer Länder liegt bei rund 200 Millionen Euro.
Grenze: Meldung des LUMI-Konsortiums vom 20.5.2020, vor dem Betriebsstart Anfang 2021. Anteil ist eine Ansage, keine spätere Jahresbilanz in diesem Text.

> *Gegenprobe:* Fernwärme braucht eine Stadt, die die Wärme abnimmt. Nicht jeder Standort hat das.

Belege: „20.5.2020" (Datum) [34] „20 percent of the district heating in Kajaani" (Anteil) [34] „hot water cooling" (Kühlung) [34] „nine European countries, with investments totaling around 200 million euros" (Finanzierung) [34] „EuroHPC" (Programm) [34]

[69] ● Belegt (Primärquelle): Googles Rechenzentrum in Hamina kühlt mit Meerwasser aus der Bucht von Finnland. Die ausgekoppelte Wärme soll nach Google etwa 80 Prozent des Bedarfs des örtlichen Fernwärmenetzes decken. In die Region seien bislang 3.5 Milliarden Euro investiert worden.
Grenze: Standortseite von Google. 80 Prozent sind eine Erwartung für das Wärmenetz, keine gemessene Jahresdeckung im Zitat. Die Investitionssumme ist kumuliert und nicht nur Kühltechnik.

> *Gegenprobe:* Ein finnischer Fjord ist kein Bauplan für ein Rechenzentrum in der Wüste.

Belege: „seawater from the Bay of Finland" (Kühlung) [35] „estimated 80% of the demand" (Wärmenetz) [35] „€3.5 billion invested in the region to date" (Investition) [35]

[70] ● Belegt (Primärquelle): Das britische AI Safety Institute wurde im November 2023 beim AI Safety Summit gegründet. Die Regierung nennt es die erste staatlich getragene Stelle für die Sicherheit fortgeschrittener KI und lässt Modelle vor und nach der Veröffentlichung prüfen.
Grenze: GOV.UK-Seite zum Evaluationsansatz, Crown copyright 2024. Methode im Detail bleibt dort vertraulich, damit sie nicht umgangen wird.

> *Gegenprobe:* Eine Prüfung vor der Veröffentlichung ist keine dauerhafte Aufsicht im Betrieb.

Belege: „AISI was launched at the AI Safety Summit in November 2023“ (Gründung) [36] „The AI Safety Institute (AISI) is the world's first state-backed organisation focused on advanced AI safety for the public benefit“ (Auftrag) [36] „before and after they are deployed“ (Zeitpunkt der Prüfung) [36]

[71] ● Belegt (Primärquelle): Am 13. Juli 2023 meldete Xinhua über die englische Regierungsseite, die Cyberspace Administration of China habe gemeinsam mit anderen Behörden, darunter die Staatliche Entwicklungs- und Reformkommission und das Wissenschaftsministerium, eine Übergangsregel für generative KI-Dienste erlassen. Sie gilt ab dem 15. August.
Grenze: Englische Nachrichtenmeldung, nicht der chinesische Verordnungstext selbst. Geltung für öffentliche Dienste, nicht für jedes Labor.

> *Gegenprobe:* Eine Diensteregel ist kein technisches Interpretierbarkeitsverfahren.

Belege: „July 13, 2023“ (Meldedatum) [37] „Cyberspace Administration of China (CAC)“ (Behörde) [37] „interim regulation on the management of generative artificial intelligence (AI) services“ (Gegenstand) [37] „Aug. 15“ (Inkrafttreten) [37]

[72] ● Belegt (Primärquelle): Die India AI Governance Guidelines schreiben, die IndiaAI Mission habe ein AI Safety Institute eingerichtet, das forscht, Entwurfsstandards entwickelt und Sicherheitstests macht. Sie empfehlen, diesem Institut Mittel für Forschung und Standards zu geben. Das Vorwort trägt das indische Ministerium für Elektronik und Informationstechnik.
Grenze: Leitlinien-PDF auf psa.gov.in. Ein Institut im Text ist nicht dasselbe wie ein veröffentlichtes Prüfprotokoll.

> *Gegenprobe:* Empfohlene Mittel sind noch kein vollzogener Haushalt.

Belege: „the Mission has instituted the AI Safety Institute (AISI), which provides the critical technical expertise needed to conduct research, develop draft standards, and perform safety testing“ (Vorwort) [41] „Provide adequate resources to the IndiaAI Safety Institute to conduct research, develop draft standards“ (Empfehlung) [41] „Ministry of Electronics and Information Technology (MeitY)“ (Zeichnung) [41]

Quellen

1. Microsoft: *Microsoft Source*. 2020. Primär.
   https://news.microsoft.com/source/features/sustainability/project-natick-underwater-datacenter/
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
2. Microsoft: *Azure Well-Architected*. 2025. Primär.
   https://learn.microsoft.com/en-us/azure/well-architected/sustainability/sustainable-ai-design
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
3. U.S. EPA: *EPA*. 2024. Primär.
   https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator-calculations-and-references
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
4. U.S. Department of Energy: *DOE*. 2026. Primär.
   https://www.energy.gov/eere/solar/concentrating-solar-thermal-power
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
5. NREL: *NREL*. 2026. Primär.
   https://www.nrel.gov/csp/concentrating-solar-power.html
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
6. Wikipedia: *Wikimedia*. Enzyklopädie.
   https://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
7. Wikipedia: *Wikimedia*. Enzyklopädie.
   https://en.wikipedia.org/wiki/Space-based_solar_power
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
8. U.S. Department of Energy: *DOE*. 2022. Primär.
   https://www.energy.gov/articles/doe-national-laboratory-makes-history-achieving-fusion-ignition
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
9. LLNL: *Lawrence Livermore National Laboratory*. 2022. Primär.
   https://www.llnl.gov/news/national-ignition-facility-achieves-fusion-ignition
   Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
10. ITER Organization: *ITER*. 2026. Primär.
    https://www.iter.org/

Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

11. NIST: *CODATA*. 2022. Primär.
    https://physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
12. HyperPhysics: *Georgia State University*. Enzyklopädie.
    http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/stefan2.html
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
13. Wikipedia: *Wikimedia*. Enzyklopädie.
    https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_computing
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
14. Lightmatter: *Lightmatter*. 2026. Primär.
    https://lightmatter.co/products/envise
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
15. Future of Life Institute: *AI Act Explorer*. 2024. Presse.
    https://artificialintelligenceact.eu/the-act/
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
16. Bowman et al.: *Anthropic / arXiv*. 2022. Paper.
    https://arxiv.org/html/2211.03540v2
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
17. Anthropic: *Anthropic*. 2023. Primär.
    https://www.anthropic.com/research/interpretability-dreams
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
18. Caltech: *Caltech News*. 2023. Primär.
    https://www.caltech.edu/about/news/in-a-first-caltechs-space-solar-power-demonstrator-wirelessly-transmits-power-in-space
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
19. Chen et al.: *Nature*. 2023. Paper.
    https://www.nature.com/articles/s41586-023-06558-8
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
20. Wikipedia: *Wikimedia*. 2026. Enzyklopädie.
    https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_Intelligence_Act
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr
21. Wikipedia: *Wikimedia*. Enzyklopädie.
    https://en.wikipedia.org/wiki/Stefan%E2%80%93Boltzmann_law
    Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

22. Wikipedia: *Wikimedia*. 2026. Enzyklopädie.
https://en.wikipedia.org/wiki/Geoffrey_Hinton
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

23. Wikipedia: *Wikimedia*. 2026. Enzyklopädie.
https://en.wikipedia.org/wiki/Sam_Altman
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

24. Publications Office of the EU: *Official Journal*. 2024. Primär.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32024R1689
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

25. PBS NewsHour: *PBS*. 2023. Primär.
https://www.pbs.org/newshour/politics/watch-live-openai-ceo-sam-altman-testifies-before-senate-judiciary-committee
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

26. Fortune: *Fortune*. 2023. Presse.
https://fortune.com/2023/05/02/godfather-ai-geoff-hinton-google-warns-artificial-intelligence-nightmare-scenario/
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

27. International Energy Agency: *IEA*. 2025. Primär.
https://iea.blob.core.windows.net/assets/b3a8b37f-32d1-4873-9eca-31cec5895264/EnergyandAI.pdf
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

28. UK Atomic Energy Authority: *GOV.UK*. 2024. Primär.
https://www.gov.uk/government/news/jets-final-tritium-experiments-yield-new-fusion-energy-record
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

29. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik: *IPP*. 2023. Primär.
https://www.ipp.mpg.de/5322276/PI01_2023-02-22_1GJ_Wendelstein_7-X_EN.pdf
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

30. Hefei Institutes of Physical Science: *Chinese Academy of Sciences*. 2025. Primär.
http://english.hf.cas.cn/nr/bth/202501/t20250121_899051.html
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

31. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt: *DLR*. 2026. Primär.
https://www.dlr.de/en/sf/research-and-transfer/research-infrastructure/julich-solar-towers
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

32. China Solar Thermal Alliance: *CSTA*. 2025. Primär.
http://en.cnste.org/news/detail/1233.html

Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

33. IIT Bombay: *National Solar Thermal Power Plant*. Primär.
https://www.ese.iitb.ac.in/~NSTPP/?q=content%2Fwelcome-national-solar-thermal-power-plant
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

34. CSC / LUMI consortium: *LUMI*. 2020. Primär.
https://lumi-supercomputer.eu/the-waste-energy-of-lumi-supercomputer-produces-20-percent-of-the-district-heat-of-kajaani-csc-and-loiste-lampo-have-signed-an-agreement/
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

35. Google: *Google Data Centers*. Primär.
https://datacenters.google/locations/hamina-finland/
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

36. UK Government: *GOV.UK*. 2024. Primär.
https://www.gov.uk/government/publications/ai-safety-institute-approach-to-evaluations/ai-safety-institute-approach-to-evaluations
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

37. State Council of the People's Republic of China: *english.gov.cn*. 2023. Primär.
https://english.www.gov.cn/news/202307/13/content_WS64aff5b3c6d0868f4e8ddc01.html
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

38. European Space Agency: *ESA*. 2024. Primär.
https://www.esa.int/Space_in_Member_States/United_Kingdom/ESA_accelerates_the_race_towards_clean_energy_from_space
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

39. PhotonDelta: *PhotonDelta*. Primär.
https://www.photondelta.com/
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

40. Nuclear Engineering International: *NEI*. 2023. Presse.
https://www.neimagazine.com/news/russias-t-15md-tokamak-achieves-first-stable-plasma-10770011/
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

41. Ministry of Electronics and Information Technology: *Office of the Principal Scientific Adviser*. 2025. Primär.
https://psa.gov.in/CMS/web/sites/default/files/publication/India%20AI%20Governance%20Guidelines%205%C2%A0Nov%C2%A02025.pdf
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

42. SolarPACES: *IEA SolarPACES*. 2017. Primär.
`https://www.solarpaces.org/worldwide-csp/csp-potential-solar-thermal-energy-by-country/spain/`
Abgerufen: 23. Oktober 2026 um 12:00 Uhr

Ausschlussliste

- **IEA: Data centres and transmission (iea.org)** – Abruf 403. Stattdessen EPA-Rechner für Strom-CO_2-Faktoren (s-iea-dc).
- **OpenAI: Introducing Superalignment** – openai.com/blog 403. Kein Claim.
- **NASA: Caltech Space Solar Power Project** – nasa.gov 404. SSP über Wikipedia-Snapshot.
- **CBC: Geoffrey Hinton interview** – 404. Stattdessen Fortune-Snapshot für c-049.
- **Axios: Altman Senate testimony** – 403. Stattdessen PBS NewsHour-Snapshot für c-050.
- **WEF Future of Jobs Report 2023** – weforum.org 403. Kein Claim.
- **SpaceX Starship (Musk)** – Snapshot unter 1200 Zeichen. Kein Musk-Name in Claims.
- **Bundeszentrale für politische Bildung und MDR** – Gesperrte Medienhäuser laut Haltungsseite.
- **euro-fusion.org: JET-Rekord** – TLS-Zertifikat beim Abruf ungültig. Stattdessen GOV.UK/UKAEA (s-ukaea-jet).
- **kremlin.ru/events/president/news/61784** – Abruf lieferte einen anderen Artikel, keine KI-Strategie. Kein Claim.
- **IPR-Jahresbericht 2013–14 (ipr.res.in)** – PDF-Abruf Zeitüberschreitung. Indische Fusion nur über die ITER-Partnerliste, ohne SST-1-Zahlen.
- **iter.org zu T-15MD** – 404. Stattdessen Nuclear Engineering International (s-nei-t15), als Presse gekennzeichnet.

Änderungsprotokoll

- 2026-10-22: Schritt 1: Zehn Kapitel, 48 Aussagen, Quellen-Snapshots, Vorlese-Skripte und Narration-Stubs ohne Ton. Teaser pending.
- 2026-10-23: Fassung 0.2: Fließtext neu. USA-Inhalte bleiben, ergänzt um Europa, Indien, China und Russland (Energie, Photonik, Fusion, Solarthermie, Kühlung, KI-Sicherheit). Kapitel 8 unverändert. Neue Quellen-Snapshots.
- 2026-10-23: Fassung 0.3: Dokumentarfotos je Kapitel unter bilder/ (Nachweis in der Bildunterschrift und in bilder/credits.txt). Zweite Kopie der KI-Kapitelbilder entfernt. Fotos aus dem Quanten-Dossier entfernt. Ton aus dem WAV-Lauf si-v2-20261023a, Opus und M4A je Kapitel, Formatwahl einmal beim Start.