Die Umweltbilanz von Rechenzentren

Kosten, Sicherheit, Energiehunger

Thomas Fricke

5. November 2026

Rechenzentren aus lokaler Sicht

Adminstammstisch Berlin





Who am I?

Thomas Fricke

- Kubernetes Cloud Security
  - Kritische Infrastruktur
  - Sicherheitsarchitektur
  - Bewertung
- Früheres Leben: Statistische Physik

  RWTH Aachen, Humboldt Uni zu Berlin
- Transparenzhinweis

  Letzte Projekte mit der Deutschen Verwaltung
  - Ehrenamtlich: OpenCode, IT Planungsrat
  - Bezahlt: OpenDesk (BMI), FITKO



Datacenter

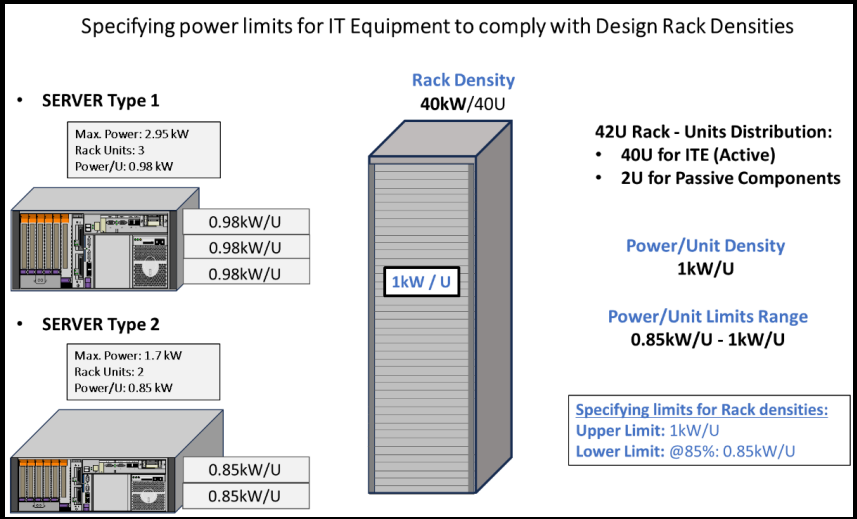






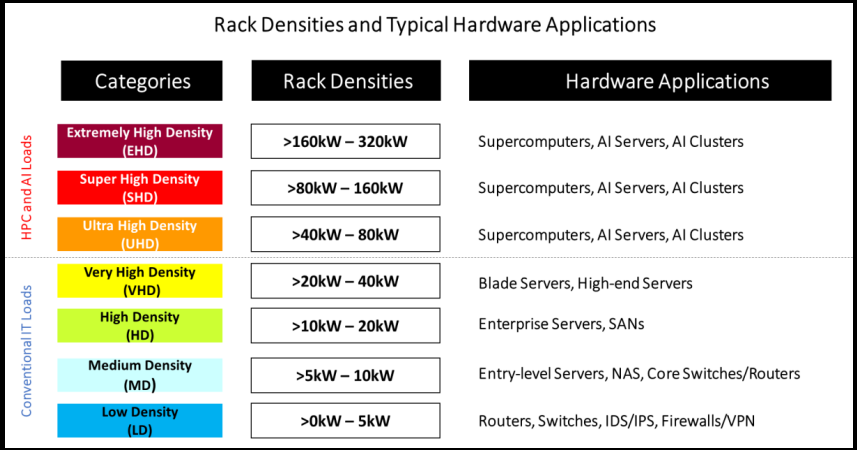


Rechenzentren sind Fabriken

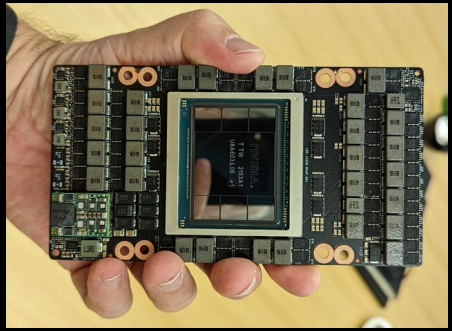


- Höheneinheit Rack Unit U=44.45mm
- Ein Heizlüfter pro Unit
- Kleinwagen pro Rack
- Vier Einfamilienhäuser
- VHD (nächste Folie)
- Researchgate Rack Densities Classification in the Age of AI

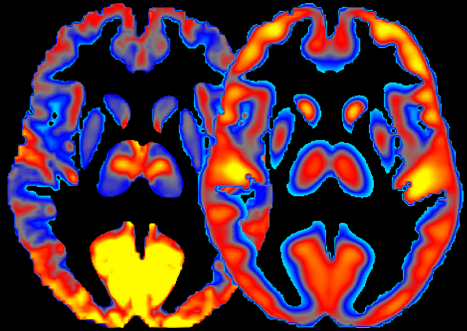
Aktuelle Racks



Vergleich NVIDIA Hopper H100 vs Homo Sapiens[2]



700 Watts



20 Watts

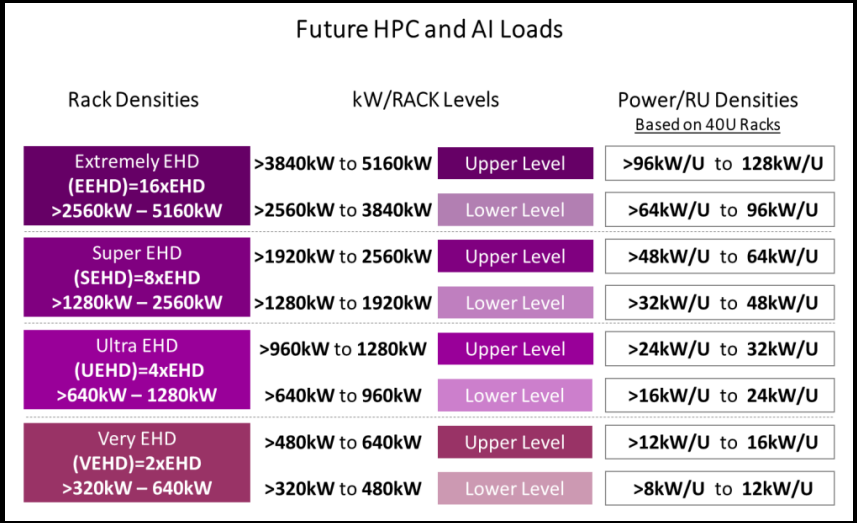
Energie Verbrauch

- 700 Watts = 0.7kW
- ~ ~~30~~ 140 kW / rack
- instead of 3 to 40 KW / rack
- Elija Wickberg, Medium: There Is No Room for Air Anymore

New method for combining measures of brain activity (left) and glucose consumption (right) . . .

Dr. Ehsan Shokri Kojori, NIAAA

Zukünftige Racks



Food and Water Watch:
Toxic Mixture: Data Centers Turn to PFAS For Cooling

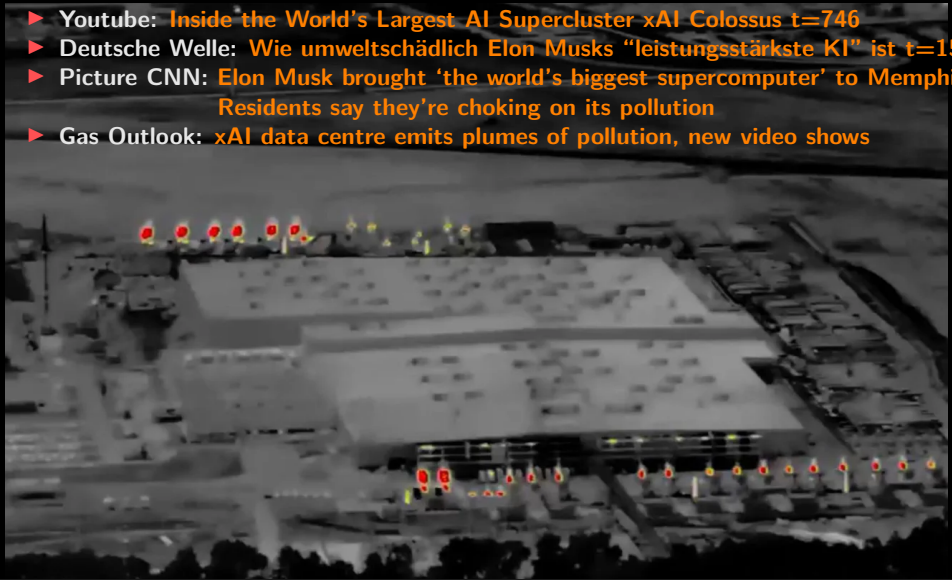
Kühlung ist Steampunk

- Maskulinity
  - Rittal 1MW Kühlung
  - 2 Sportwagen
- Liquid-to-Liquid-Lösungen
  100kW/Rack
  Wärmerückgewinnung
- Unterstützung bei der Rechenzentrums-Planung
- vom Manifold im Rack zur Weiternutzung beispielsweise in Fernwärmenetze.
- ohne Wasseranschluss:
  Liquid-to-Air Varianten verfügbar
- Rittal:
  Neue Kühllösung nutzt Wasser für Single Phase Direct Liquid Cooling
  Rittal entwickelt Megawatt-Kühlung für KI
- Heutige AI Racks haben **140 kW**

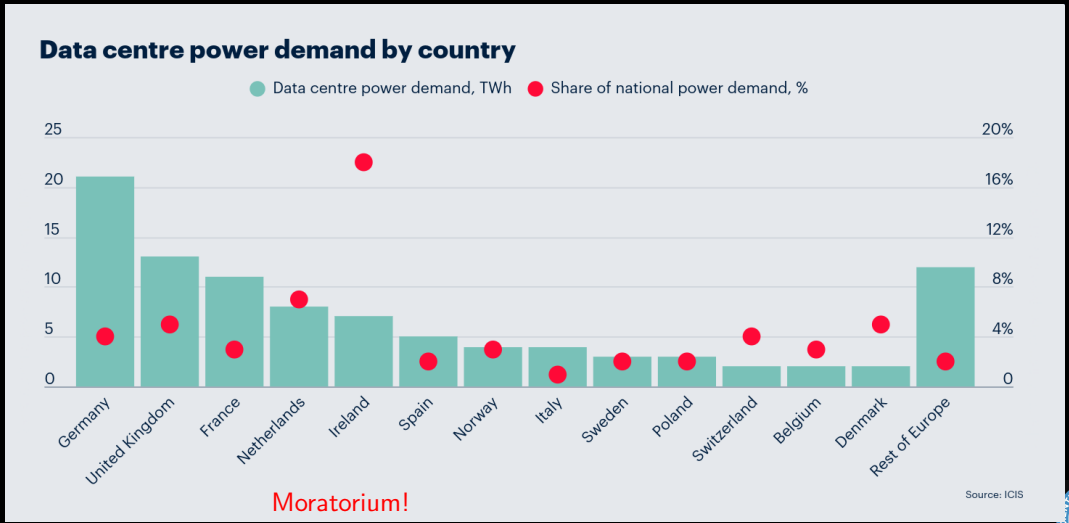


PR vs Reality

- Youtube: Inside the World's Largest AI Supercluster xAI Colossus t=746
- Deutsche Welle: Wie umweltschädlich Elon Musks "leistungsstärkste KI" ist t=154
- Picture CNN: Elon Musk brought 'the world's biggest supercomputer' to Memphis. Residents say they're choking on its pollution
- Gas Outlook: xAI data centre emits plumes of pollution, new video shows



Anteile des Energieverbrauchs in der EU 2024



Electric Power Research Institute – US Predictions

Electric Power Research Institute
Epoch AI Joint Report Finds Surging Power Demand from AI Model Training August 2025

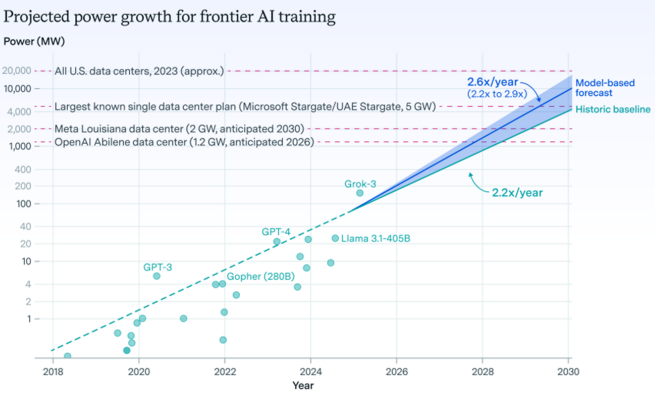


Figure 1. *Forecast for peak power demand required to train the largest frontier models, with historic frontier AI power growth and historic training runs highlighted for context. Graph prepared by Epoch AI.*

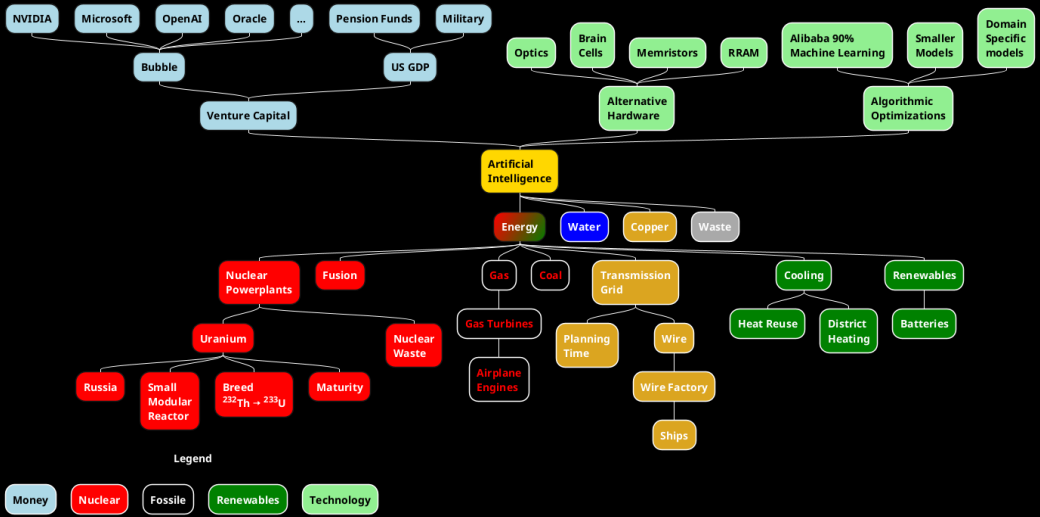
Explosion

Exponentielles Wachstum

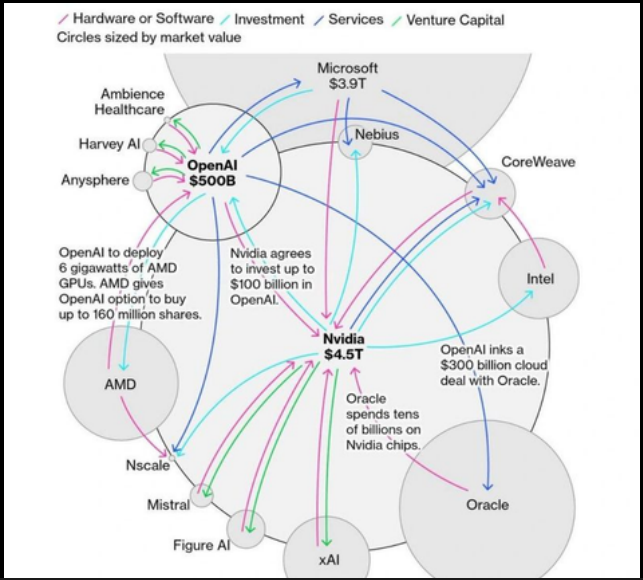
- Explosionen
- Nukleare Kettenreaktion
- Populationswachstum
- Infektionen am Anfang einer Epidemie SIR Model
- Begrenzt durch Ressourcen



Engpässe

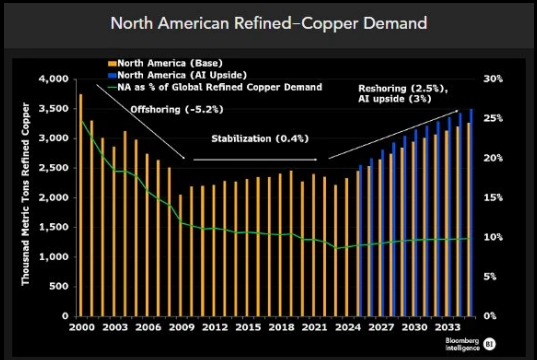

NVIDIA
Microsoft
OpenAI
Oracle
...
Pension Funds
Military
Bubble
US GDP
Venture Capital
Optics
Brain Cells
Memristors
RRAM
Alibaba 90% Machine Learning
Smaller Models
Domain Specific models
Alternative Hardware
Algorithmic Optimizations
Artificial Intelligence
Energy
Water
Copper
Waste
Nuclear Powerplants
Fusion
Gas
Coal
Transmission Grid
Cooling
Renewables
Uranium
Nuclear Waste
Gas Turbines
Planning Time
Wire
Heat Reuse
District Heating
Batteries
Russia
Small Modular Reactor
Breed $^{232}Th \rightarrow {}^{233}U$
Maturity
Airplane Engines
Wire Factory
Ships
Legend
Money
Nuclear
Fossile
Renewables
Technology

AI Bubble



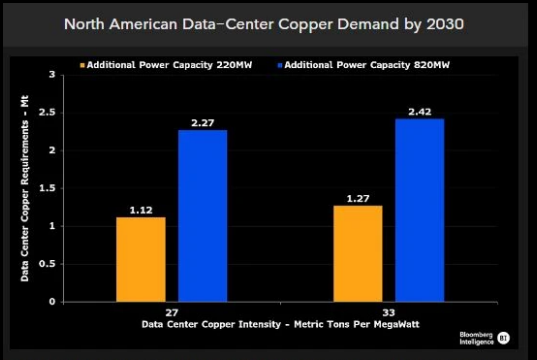
- 2 Trillion $ needed till 2030
- only 800 Billion $ in return
- circular business
- bilance make up
- Financial Times
  Oracle is already underwater on its ‘astonishing’ OpenAI deal
- Macromicro
  Behind NVIDIA’s Stellar Earnings: Five Financial Indicators to Evaluate the AI Bubble
  - including NVIDIA’s inventory turnover 91 ↗ 103 days
  - slower-than-expected growt in automotive and robotics
  - end-user AI applications showing a clear deceleration over the past four quarters

Kupfer in US Rechenzentren



Source: Data Center Knowledge, Wakefield & Cushman, Wood Mackenzie, ICSG, Bloomberg Intelligence

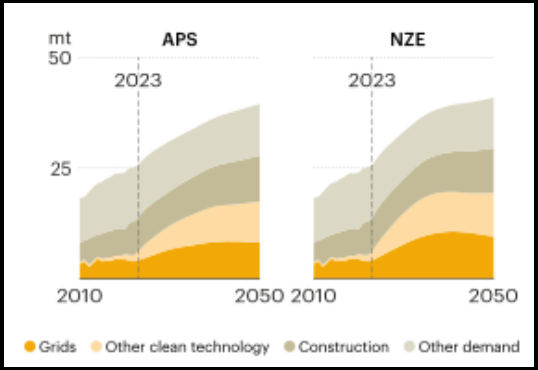
- 3% increase every year
- 1.1 million tons in 2030

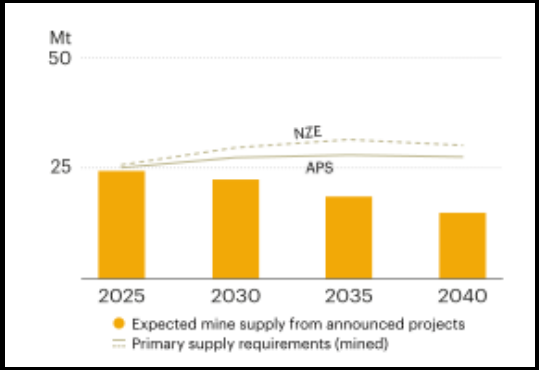


Source: US Department of Energy, US Energy Information Administration, IDC, eMarketer, Data Center Knowledge, Navigant Research, Cushman & Wakefield, Bloomberg Intelligence

- 1 MW $\approx$ 27 -33 metric tons
- Data Centre Magazine
  How the AI Data Centre Boom Could Threaten Global Copper

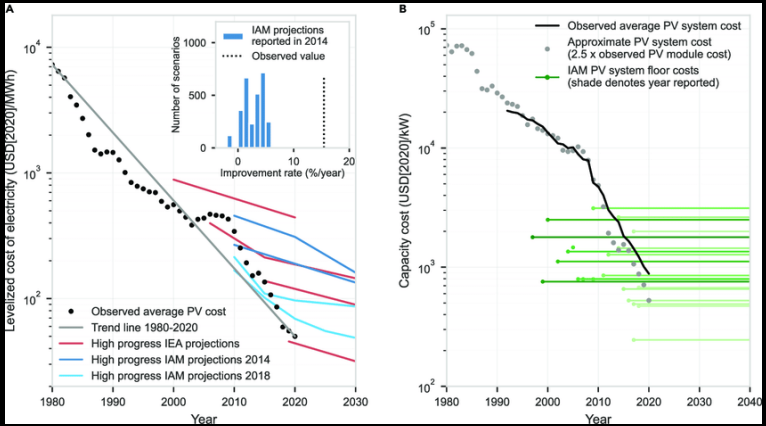
International Energy Agency (IEA): Kupfer





- 3% increase every year
- 1.1 million tons in 2030
- 1 MW $\approx$ 27 metric tons

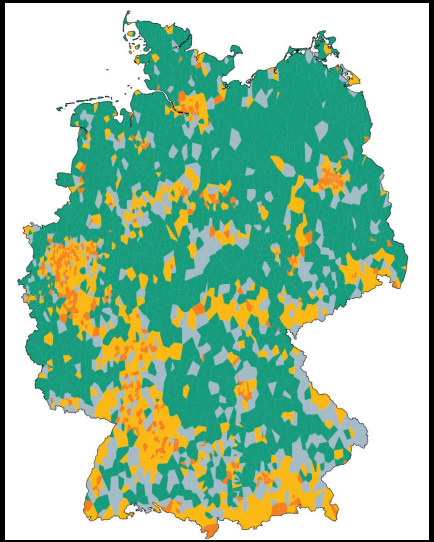
Nuclear Fusion – Remote 149 Mio km Distance – needs storage

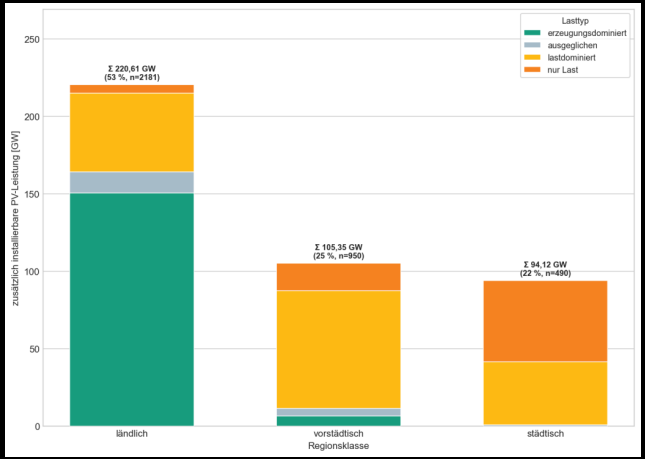


Rupert Way, Matthew C Ives, Penny Mealy University of Oxford, J. Doyne Farmer:

Empirically grounded technology forecasts and the energy transition, September 2022

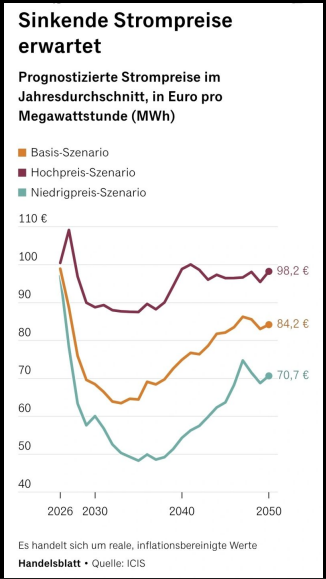
Kupfer, Zeit und Gas einsparen oder vermeiden?





Solarwirtschaft:
Mehr PV durch intelligente Batteriespeicher an Umspannwerken

Peak Strompreis?



- Preisverfall durch billiges Fracking Gas aus den USA bis 2035
- Wiederanstieg ab 2035 durch Verbrauch
  - Elektrifizierung des Verkehrs
  - Rechenzentren

Handelsblatt auf LinkedIn:
Peak Strompreis

Falsche und richtige Anreize 1

- **RZ Kapazität in DE bis 2030 verdoppeln und High-Performance-Computing (HPC) und Künstliche Intelligenz (KI) zu vervierfachen**

  BMDS Nationale Rechenzentrumsstrategie

- Mittlere Auslastung
  - Rechenzentren ist gering 25%-13%-9% ??

    Datacenter Dynamics:

    Study: Only 13% of provisioned CPUs and 20% of memory utilized in cloud computing
    - *Dramatische Überprovisionierung*
    - Server Machism
  - AI Workloads 25%
  - Steigerung von 13% auf 26% würde zum Ziel beitragen
- IT Ausbildung
  - Engineering unter Einbeziehung von Ressourcen
  - Kein Endlager für andere Fakultäten

Falsche und richtige Anreize 2

Wikipedia: Goodharts Gesetz
Eine Kennzahl verliert ihren Nutzen, sobald die zur Steuerung eingesetzt wird.

- Energieverbrauch
- Stahlproduktion
- Einsatz von KI
  Token Maxxing
- Anzahl Source Code Zeilen
- PUE (Power Usage Effeciveness)
- BIP (Brutto Inlandsprodukt)



Tobias Niepel - Giant Nail At Ko Bogen Dusseldorf
Lizenz CC-BY-30

Falsche und richtige Anreize 3

- Kommunen

  sanieren sich über die Netze

  - Gasnetze

    Bundesverband Neue Energiewirtschaft:

    Analyse zeigt: Gasnetzbetreiber erzielen überhöhte Renditen auf Kosten der Verbraucher

  - Stromnetze

    Spiegel: Stromnetzbetreiber kassieren ab – obwohl der Netzausbau hakt

- Lex EON

  Bundesverband Neue Energiewirtschaft

  Hintergrundanalyse: Wer profitiert wirklich vom Redispatch-Vorbehalt?

  Dem bne zufolge entfielen zwischen Januar 2023 und April 2026 rund 73 Prozent der Redispatch-Mengen im Verteilnetz auf Eon-Netzgesellschaften, obwohl ihnen nur rund 26 Prozent der Netzanschlusspunkte in der Nieder- und Mittelspannung zuzuordnen sind

Digitale Souveränität

- alle US Firmen stehen unter dem CLOUD Act
  - greift durch auf deutsche Töchter
  - Dienstleister
  - selbst Hotel Ketten !?
- Sanktionen gegen Organisationen und Einzelpersonen
  - Neue US-Sanktionen gegen Internationalen Strafgerichtshof
  - Vortrag vom 11. September 2026 mit Ajuvo
    Es wird persönlich - Risiken fehlender Digitaler “Souveränität” für Individuen, Organisationen und Regierungen
  - Sanktionen nach dem Nobelpreis für Navi Pillay auf Dienstleister ausgeweitet



Angst vor China – FOMO (Fear of Missing Out)

Aaber China macht es doch auch so! ***Nein***

- China elektrifiziert nach Fünf Jahres Plänen
  Dirk Specht: Zu teuer ist nur die Infrastruktur, die man nicht hat!
- Fünf Jahres Pläne:
  von unten nach oben entworfen
  und dann von oben verkündet
- Bisher
  - Solarenergie
  - Wärmepumpen
  - Elektroautos
  - Batterien
  - Elektrizitätsnetz
    5000km Leitungen mit 1 GV Gleichstrom
- in Zukunft Rechenzentren

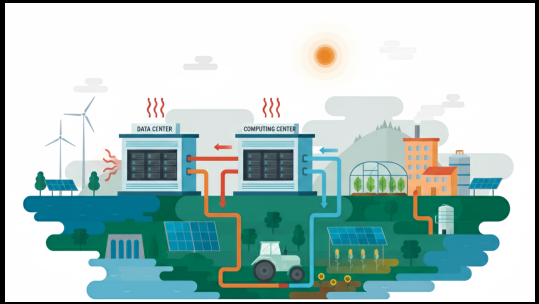
Chinas Fünf Jahrespläne

Plan	Zeitraum	Strategische Ziele	Operative Ziele	Leitmotiv/Priorität
10. FYP	2001–2005	Wachstum durch Öffnung: Wirtschaftswachstum hat uneingeschränkte Priorität	WTO-Beitritt, massiver Infrastrukturausbau (sic!!), Marktöffnung und Urbanisierung. Hohe Wachstumsziele, primär quantitative Steuerung.	**Wachstum durch Nutzung der Globalisierung**
11. FYP	2006–2010	Wachstum und Gesellschaft: Wachstum muss gesellschaftliche Ziele erreichen	Reduzierung der Kluft zwischen Stadt und Land, erste Umweltziele, Notwendigkeit von Energieeffizienz erkannt. Wirtschaftswachstum hat weiter Priorität, muss aber gesellschaftlichen Nutzen haben. Der Energiehunger wird als Herausforderung erkannt.	**Wachstum und dessen gesellschaftlicher Nutzen**
12. FYP	2011–2015	Wachstum durch strategische Wirtschaftspolitik: Erstmals strukturelle Wachstumsziele	Fokus auf High-Tech (Erneuerbare, Elektrifizierung, E-Mobilität), Stärkung des Binnenkonsums, Wirtschaft weiter prioritär, aber strukturell durch Technologiestrategie hinterlegt und Reduktion der Exportabhängigkeit.	**Wachstum durch technologische Industriestrategie und Binnenmarkt, Reduktion Exportabhängigkeit**
13. FYP	2016–2020	Made in China 2025 & Digitalisierung: Wachstum wird erstmals qualitativ bewertet	Abkehr vom reinen Wachstumsdogma: Qualität und Effizenz, massive Digitalisierung, Industrie 4.0. industriepolitischer Fokus auf Halbleiter, Robotik, Luftfahrt, E-Mobilität. Strategische Wirtschaftspolitik, Wertschöpfungsketten besetzen, Ökosysteme aufbauen. Vollständige Beseitigung extremer Armut. Stopp ökologischer Ausbeutung, Kohlenutzung als Problem erkannt, Kohleausstieg formuliert.	**Wachstum erhält erstmals Qualitätsaspekte, strategisch Aufbau von tiefen Wertschöpfungsketten, erste Ökostandards**
14. FYP	2021–2025	Strategischer Wendepunkt zur resilienten Wirtschaft: Erstmals nationale Sicherheit im Fokus	Abkehr vom unbegrenzten Wachstum in der Globalisierung, "Duale Zirkulation" Autarkie stärken, Binnenmarkt als primäre autarke Zirkulation, Exportmärkte als sekundäre duale Zirkulation. Technologische Autarkie (KI, Halbleiter, Quantencomputing, Robotik, Luftfahrt, Erneuerbare), Energieautarkie und Dekarbonisierung präzisiert, (CO2-Peak 2030, CO2-Neutralität 2060).	**Wachstum und nationale Sicherheit gleich gestellt, Autarkie gewinnt an Gewicht, Technologie- und Energiestrategie wird dem unterstellt**
15. FYP	2026–2030	Volle Offensive: Autarkie erstmals über Wirtschaftswachstum, zugleich aber globale Dominanz in Schlüsselindustrien	Operativ zwei Schwerpunkte: Effizienz und Disruption. Wachstum nicht mehr durch Arbeitsleistung, sondern Technologie. Automatisierung als Antwort auf Demografie (sic!!). Durchbruch bei "Chokepoint"-Technologien (KI, Chips, Robotik, Perowskit). System-Resilienz durch Autarkieebenen. Energieautarkie beschleunigen, CO2-Peak vor 2030 sicherstellen, 80%-Ziel PV/Wind vor 2060, massive Verkürzung früherer Ziele.	**Autarkie, Resilienz und globale Dominanz erstmals vor Wirtschaftswachstum**

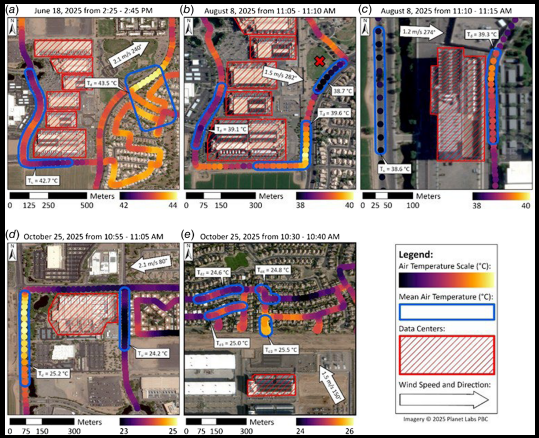
Quelle:
Goldmann Sachs
via
Dirk Specht

Abwärmenutzung

- LinkedIn:
  Sebastian Doerfert
  October 1, 2026
  Europas Milliarden-Irrtum: Wie Chinas zelluläre Landwirtschaft unseren Exportmarkt kollabieren lässt
- Sino-German Energy Partnership
  Turning Data Centre Waste Heat into a Resource for Energy Transition
  How Sino-German cooperation helps integrate fast-growing digital infrastructure into low-carbon heating systems



Heat Maps Study



Data Center Waste Heat as an Emerging Urban Thermal Hazard: First Field Measurements of Neighborhood-Scale Air Temperature Impacts
David J. Sailor, Soroush Samareh Abolhassani, Eli P. Martin, May 2026

Temperaturskala bis 2,2K

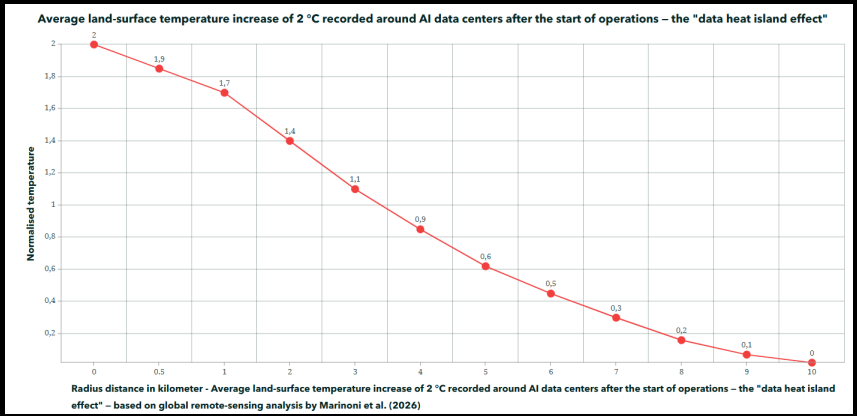
Gaskraftwerke sind nicht mit eingeschlossen

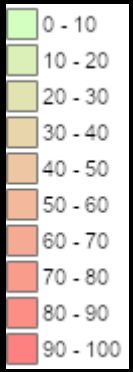
- 30% Wirkungsgrad
  - 100 MW Wirkleistung + 233MW Verlust = 333 MW gesamt
  - 300 MW Wirkleistung + 700MW Verlust = 1 GW gesamt
- Wikipedia: Gas und Dampf Kombikraftwerk 64,18% Wirkungsgrad
  - 100 MW Wirkleistung + 56MW Verlust = 156 MW gesamt
  - 300 MW Wirkleistung + 168MW Verlust = 468 MW gesamt
- 50 MW

  Rolls-Royce erreicht neuen Meilenstein: Bau des weltweit größten Flugzeugtriebwerks beginnt
- 62 MW Siemens

  SGT-800 Industre Gas Turbine

Komplexe Farbgebung





% sensible Altersgruppen 0-6 und 70+ Jahren

Details auf der Karte bei Storymaps ArcGis

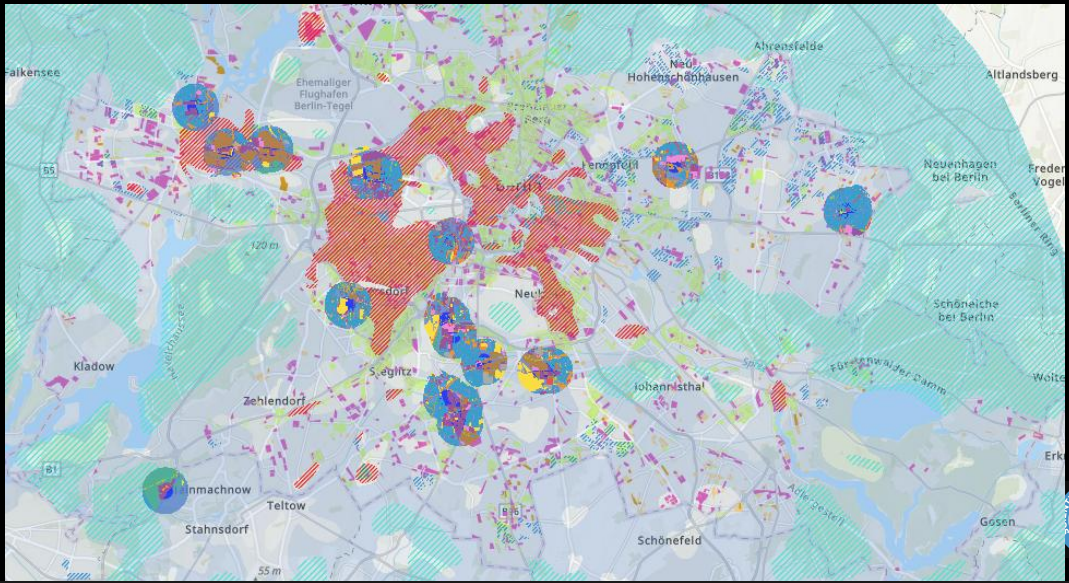
Data Center and Urban Climate

Mapping urban climatic factors impacted by data centers in German cities.

Amrutha Viswanath and Prof. Dr. Florian Koch (HTW Berlin)

15. Juni 2026

Landnutzung bei 1.5° Temperaturerhöhung in Berlin



Abwärme Nutzung – NTT Spandau



- Cloud and Heat Vattenfall
- Integration in das Fernwärmenetz
- NTT Berlin 2 – Gasag
  das passt nicht zum Bestandsnetz
  120°C Kohle Abwärme gegen 30-70°C Rechenzentrumsabwärme
  muss zusammengeplant werden

NTT:
Abwärme aus Bestandsrechenzentrum von NTT DATA ermöglicht klimaschonendes Wärmekonzept in neuem Berliner Quartier Spandauer Rechenzentren versorgen mehr als 10.000 Menschen zuverlässig mit CO_2-freier Wärme.

Reusing the heat – Schwäbische Alb





- Integration into district heating
- Small scale J-H Computers
- better than Geothermal energy
- works from 40kW
- nice from $>$ 240kW

Bestand Rechenzentren in Deutschland

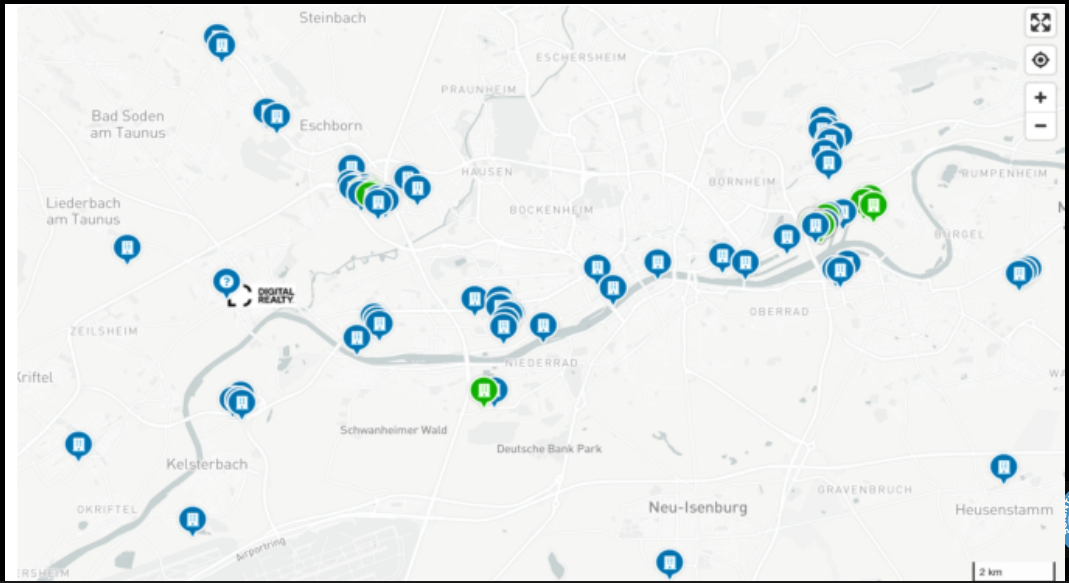
- Frankfurt
  - DeNIC
  - Banken
- Berlin
  - Startup Szene
  - Brandenburg kommt erst noch

Von Sarah-Indra Jungblut, RESET - Digital for Good

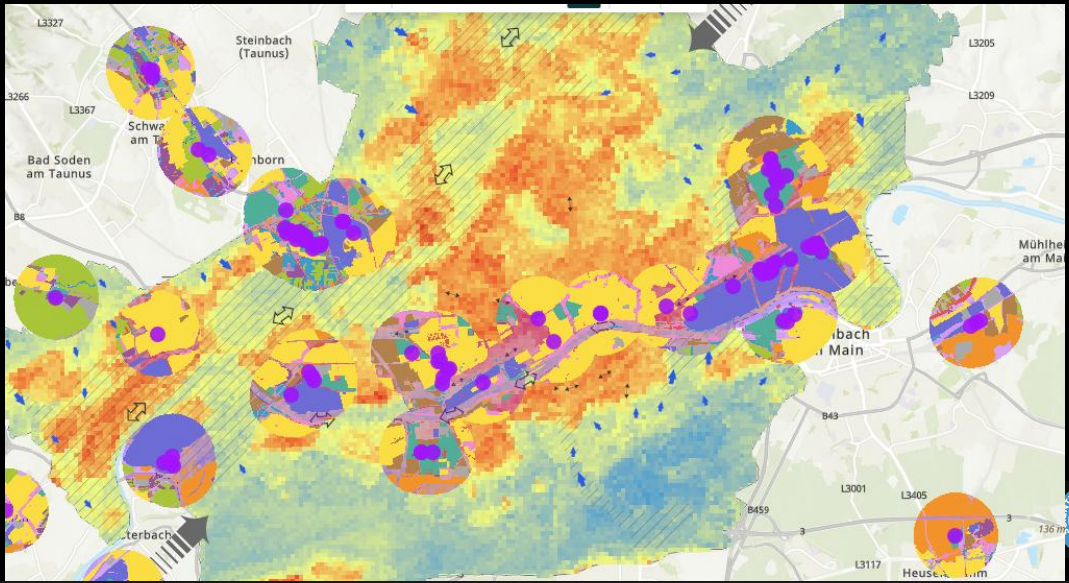
Deutschlands Rechenzentren boomen – und damit auch ihre Energieprobleme



Konzentration in Frankfurt



Landnutzung bei 1,5° Temperaturerhöhung in Frankfurt



Lokale Temperaturerhöhung

- Frankfurter Rundschau

  Rechenzentren heizen Wohngebiete um bis zu 2,2 Grad auf – in Deutschland versorgt ihre Abwärme schon Wohnungen

  - durchschnittlich 0,7 bis 0,9 Grad Celsius höhere Temperaturen im Windschatten,
  - bis zu 2,2 Grad Celsius Temperaturunterschied bei einzelnen Messungen,
  - einen nachweisbaren Wärmeeffekt bis ungefähr 500 Meter Entfernung

- Amrutha Viswanath and Prof. Dr. Florian Koch (HTW Berlin) June 2026

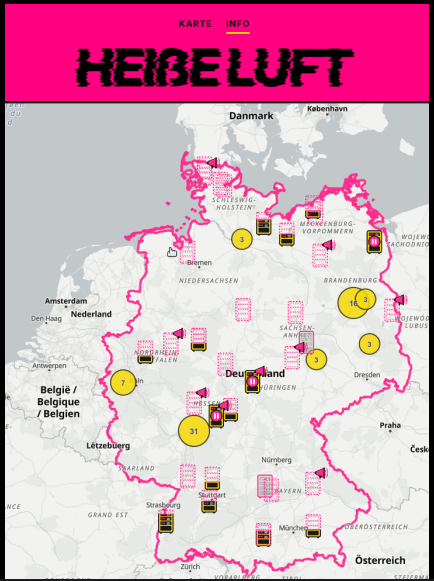
  Data Center and Urban Climate
  Mapping urban climatic factors impacted by data centers in German cities

- ASME Digital Collection:

  Data Center Waste Heat as an Emerging Urban Thermal Hazard: First Field Measurements of Neighborhood-Scale Air Temperature Impacts

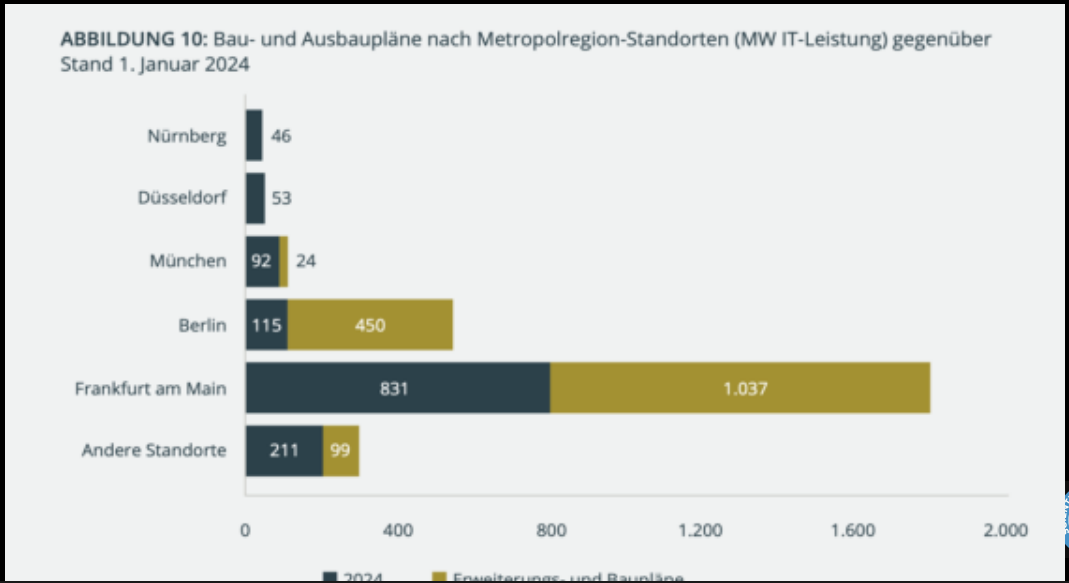
  data center anthropogenic heat as a previously unrecognized urban thermal hazard with implications for residential building energy, outdoor thermal comfort, and public health.

Heisse Luft



- 22 Rechenzentren mit Besitzer aus den USA
- Focus:
  „Mauer des Schweigens“
  EU gerät wegen Geheimhaltung bei Rechenzentren unter Druck
- ECO Verband:
  Appell an die Bundesregierung: Rechenzentren bei Stromsteuer-Senkung miteinbeziehen
- Unkritischer Quatsch Journalismus
  Handelsblatt
  Aufbau von KI-Rechenzentren in Deutschland: US-Konzerne handeln, Deutsche hadern
  Microsoft steckt Milliarden in neue Rechenzentren in Nordrhein-Westfalen, Google plant Großinvestitionen in Hessen. Der Finanzinvestor Blackstone will vier Milliarden für ein Rechenzentrum im nordrhein-westfälischen Lippetal bei Hamm bereitstellen. Sie alle handeln – schnell, entschlossen,

Wachstum

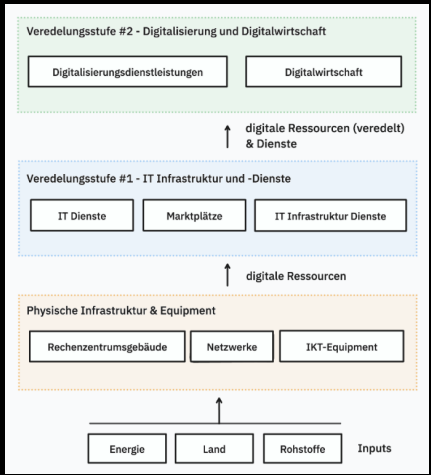

ABBILDUNG 10: Bau- und Ausbaupläne nach Metropolregion-Standorten (MW IT-Leistung) gegenüber Stand 1. Januar 2024
Nürnberg
46
Düsseldorf
53
München
92
24
Berlin
115
450
Frankfurt am Main
831
1.037
Andere Standorte
211
99
0
400
800
1.200
1.600
2.000
2024
Erweiterungs- und Baupläne

Fossile Backlash: Cyrus One FRA7 and EON



Situation in Deutschland

- Wenig Wertschöpfung
- ca 6 Arbeitsplätze/MW
- Digitaler Produkte
- Dienstleistungen
- temporär während des Baus
- virtuelle Güter
- Betrieb in Deutschland
- Umsätze werden **nicht** in Deutschland versteuert
- z.B. in Irland
- keine Wertschöpfung vor Ort



BMWK 17.01.2025:
Stand und Entwicklung des Rechenzentrumsstandorts Deutschland

Hanauer Anzeiger 13.10.2025:
Maintal bekommt zwei Rechenzentren

Frankfurt soll nach eigenen Angaben 2023 rund drei Milliarden Euro an Gewerbesteuer eingenommen haben. „Der Anteil der Rechenzentren habe dabei weniger als ein Prozent betragen“, heißt es – und das bei mehr als 60 RZ, wie die Wirtschaftsförderung der Stadt Frankfurt seinerzeit berichtet.”

Treiber der Nutzung

- Rechenzentrumsindustrie

  Interesse an Rechenleistung

  ECO Verband, Bitkom
- Netzbetreiber

  Interesse an Stromnetzen

  Eigentümer
- Teamkultur belohnt Projektgröße
- Kein Interesse an Entlastung
- Es gibt keine Rückbau Agentur



Investorensicht: Global Datacenter Hub

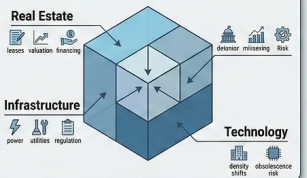
GLOBAL DATA CENTER HUB: Insights on Data Center Investing, Risk, and Capital Allocation

How to Invest in Data Centers and the Risks That Actually Matter

Why Investors Are Rushing In

- Compounding AI, cloud, and digitization demand
- Data localization and sovereign compute tailwinds
- Long leases and predictable cash flows
- **Warning note:** demand ≠ guaranteed returns

The Asset-Class Hybrid



Where Returns Are Created

- Power-secured land
- Interconnection ecosystems
- Execution discipline
- Capital intensity
- Technology evolution

The Three Investment Paths



Risk and control increase as you move down the stack.

How Investment Strategies Are Evolving

- **Platform strategies** (20–30 assets)
- **Build-to-core** execution
- **ESG** and **sovereign mandates** shaping capital
- **National compute maps** replacing single-asset views

Strategic Implications

Policymakers
power, permitting, national resilience

Operators
execution risk, density, delivery timelines

Investors
stable regulated demand, execution premium, valuation dispersion

INFRASTRUCTURE INVESTMENT EFFECTS

- **Power scarcity** is the gate
- **Execution** drives returns
- **Platforms** outperform single assets
- **Technology** risk is real
- **Policy and permitting** shape outcomes

Special Purpose Vehicle als Projektgesellschaft
SPV-Struktur in 3 Schritten reduziert Komplexität Transaktion und erhöht die Attraktivität für Investoren

1. Durch Versorger geleistete De-Risked Tätigkeiten

- Grundstückszugang und Nutzungskonstruktion
- Netzanschlussleitung
  Bei Zusage steigert Grundstückswert um Faktor 5-10!!!
- Elektrische Infrastruktur
- Planungs- und Genehmigungsprozess initiiert und gesteuert
- Gründliche Infrastruktur- und rechtliche Prüfung

2. Erwerb der Projektgesellschaft durch den Investor/Betreiber

- Erbbaurecht Grundstück
- Stromvertrag
- Pacht- und Betriebsvertrag elektrische Infrastruktur
- Konnektivitätsvertrag

3. Umsetzung Data Center durch Investor/Betreiber

- Grundstücksentwicklung
- Vermarktung
- Planung Data Center
- Einrichtung
- Betrieb Data Center

Quelle Vortrag:
Market Pulse: “Energie, Kapazität, Kosten - was der Markt wirklich hergibt.”
Matthias Deeg (Horváth)

Geschäftsmodell nach Datacenter Art unterschiedliche Investoren

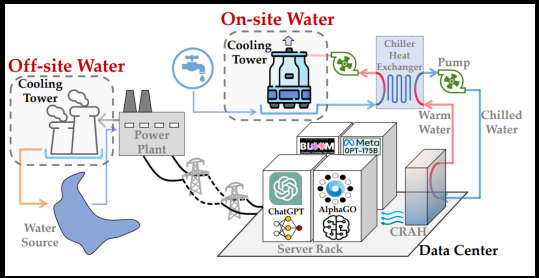
Investorentyp	Beispielhafte Akteure	Motive	Anlage-horizont	Risiko-profil
Betreiber / Developer	Equinix, NTT, Vantage, IONOS, Schwarz Digits, COLT	Wiederkehrende Mieterlöse	$>$ 20 Jahre	Mittel
Hyperscaler	AWS, Microsoft, Google, Meta	Kapazität für eigene Cloud/KI Lösungen	10 – 20 Jahre	Hoch
Private Equity / Strukturielle Anleger	Blackstone, KKR, DTCP, Brookfield, Digital Bridge, Fidelity	Wertsteigerung, Plattformaufbau	7 – 15 Jahre	Hoch
Real Estate / REITs	JLL, Digital Realty, Iron Mountain	Ausschüttungs-orientierte Erlöse	$>$ 20 Jahre	Niedrig
Staatsfonds	CPP, GPF, GPIF, GIC, PIF, ADIA	Lange Realrendite, Diversifikation	$>$ 20 Jahre	Niedrig
Telco und strategische Investoren	Deutsche Telekom, 1&1	Synergien mit Produktportfolio	10 – 20 Jahre	Mittel

Wirtschaftlichkeit und Benchmarks von RZ für Energieversorger

#	Bedeutung	Höhe
CAPEX	Capital Expenditures: Investitionskosten für Bau, Errichtung, Infrastruktur und Netzanschluss	11–15 Mio. EUR pro MW
OPEX	Operational Expenditures: Betriebskosten (Strom, Wartung, Personal, Kühlung, usw.)	1,9 – 3,8 Mio. EUR pro MW / Jahr
Umsatz	Stromverkauf, Mieterlöse und Nebengebühren	97–172 EUR pro kW / Monat
Nettorendite	Interne Zinseszahlung für Energieversorger bei Eigeninvestition oder Joint Venture	8–16%
Amortisations-dauer	Zeitraum bis zur Rückerstattung der Investition (bei stabiler Auslastung)	8–12 Jahre
Verwertung Abwärme	Anteil der zurückgewonnenen Wärme (z.B. für Fernwärme, Farming)	30–75% technisch nutzbar
CO_2-Einsparung	CO_2-Vorteil durch Nutzung der Anlage	800–1.000 Tonnen je MW pro Jahr

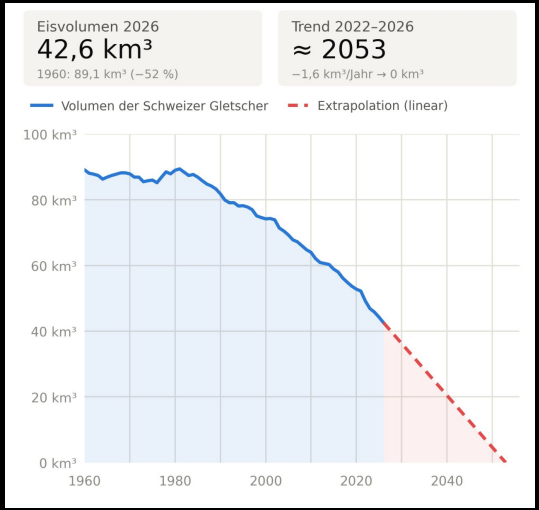
Water

Data Center Dynamics: **How to cut water usage in cloud data centers**



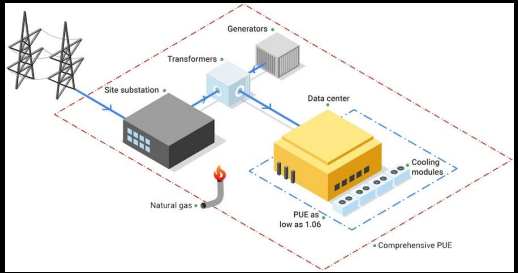
- Es ist kompliziert
- 1 – 9 l Wasser / kWh
- erste Annahme
- Erste Quelle:
  1 MW verbraucht 26 Million Liter im Jahr $\approx$ 3 l/kWh
- grosse Bandbreite bei der Effizienz
- Wetter

Schweizer Gletscher

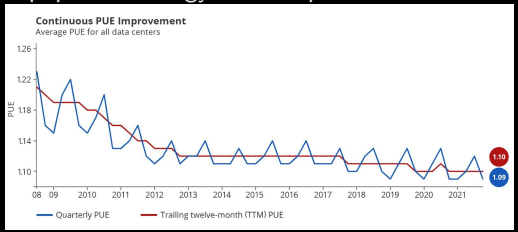


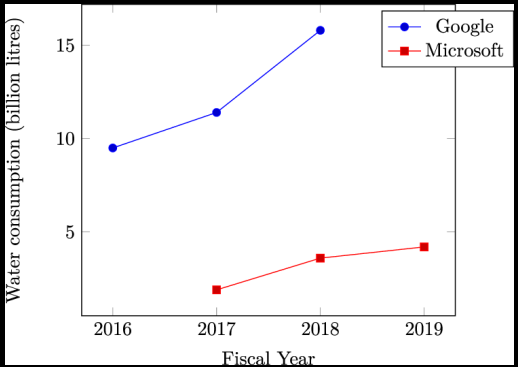
- LinkedIn:
  Martin Neukom
  Regierungsrat Kanton Zürich
  Wenn weiterhin jährlich 1.6 km³ an Gletschereis verloren geht, dann sind die Schweizer Gletscher bereits 2050 Geschichte. Es kann sein, dass Gletscher an sehr hohen Lagen noch länger bestehen bleiben. Allerdings wird es bis 2050 auch noch wärmer.
- Was ist dann vom Rhein noch übrig?
- Womit soll dann gekühlt werden?

Google Power Usage Effectiveness – PUE Greenwashing



Centre Total Energy Consumption PUE= ICT Equipment Energy Consumption

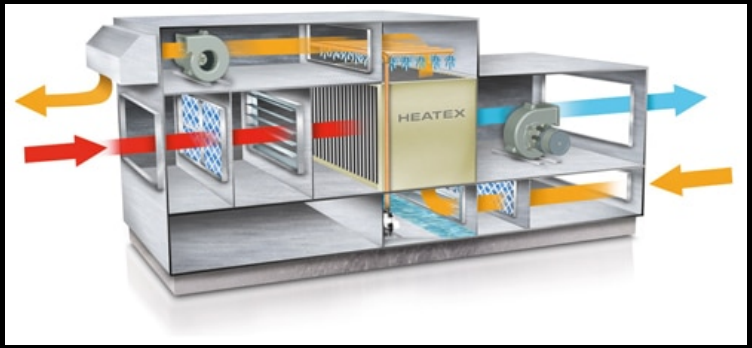


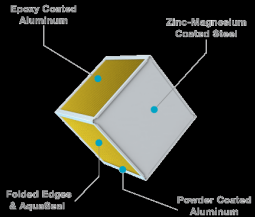


$$\text{PUE} = \frac{\text{Data Centre Total Energy Consumption}}{\text{ICT Equipment Energy Consumption}}$$

Source: Google(left), Nature (right)

Kühlung





Source: Heatex

Die Trockenkühlung ist in der Regel ausreichend, wenn sich das Rechenzentrum in einem Gebiet mit konstant niedrigen Temperaturen befindet, d.h. kein Wasser ist im Spiel. Durch das Besprühen der Seite der Raumluft des Wärmetauschers mit Wasser wird jedoch ein Verdunstungseffekt erzeugt, der zu einer niedrigeren Raumlufttemperatur führt. Diese Methode wird als indirekte Verdunstungskühlung (IEC) bezeichnet.

Grobe Pi mal Daumen Regeln

Ressource	Einheit	Quelle/Senke	Hauptkonkurrent	Einflussradius
Energie	1 MW	Kraftwerke	Industrie, Haushalte	Lokales Netz
Energie–übertragung	km	Stromleitungen	Landschaft	10-1000km
Kupfer	27 t	Minen	Elektroautos	Indigene Gemeinschaften im Einzugsgebiet der Minen
Wasser	1000 – 9000 l/h	Grundwasser, Flüsse, Seene	Landwirtschaft, Haushalte	Umgebung des Rechenzentrums
Elektromüll	Tonnen			Afrika
PFAS (spekulativ)	kg	Wasser, Abwasser	Chemische Industrie	Umgebung, flussabwärts



PFAS: Cooling and Forever Chemicals



- Wired

  The Trump Administration's Data Center Push Could Open the Door for New Forever Chemicals

- The Rolling Stone

  'THE PRECEDENT IS FLINT': HOW OREGON'S DATA CENTER BOOM IS SUPERCHARGING A WATER CRISIS

- Krebs
- Fehlgeburten
- WDR

  PFAS aus Leverkusen: Gefahr für Trinkwasser in den Niederlanden

Alarmismus?

- Keine Daten von der Industrie
- *Eine Geschichte ist dann zu Ende gedacht, wenn sie ihre schlimmstmögliche Wendung genommen hat*

  Dürrenmatts Dramentheorie
- Infraschall

  wird von Motoren und Maschinen erzeugt (besonders von kaputten)
  - DataCenter Knowledge

    Low-Frequency Noise and Data Centers: What to Know
  - Research Gate:

    CFD Analysis of a Gas Turbine Engine Test Cell to Understand and Alleviate Infrasound



Chip Production – Taiwan drought 2021



- Phys.org

Taiwan imposes water rationing as drought worsens

  - resource conflict
  - rice or 2nm factories

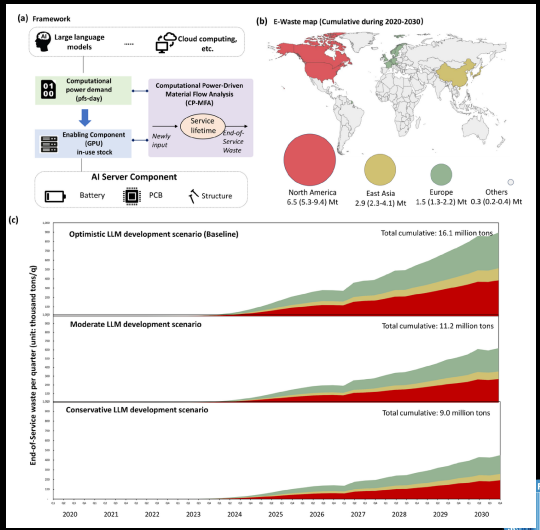
- truthdig

The Ecological Cost of AI Is Much Higher Than You Think

  - “acutely carcinogenic, reproductive-toxic and neurotoxic substances.”
  - 1000 applications of PFAS
  - union busting

AI-Waste

- Life of Data Center Hardware: **3 – 5 years**
- Peng Wang, Chinese Academy of Sciences, Lingyu Zhang, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Asaf Tzachor, Eric Masanet, University of California, Santa Barbara:
  E-waste Challenges of Generative Artificial Intelligence
  also in **Nature**
- Deutsche Welle
  E-waste from AI computers could 'escalate beyond control'
  - Nature
    E-waste challenges of generative artificial intelligence
    - 1.2-5.0 million metric tons in 2030
- **1,000** fold increase of waste



E-Waste

Environmental Impact – British Geological Survey

Rare earth elements	REE	9.5	China	China	Rhenium	Re	7.1	Chile	Chile
Antimony	Sb	9.0	China	China	Selenium	Se	6.9	Japan	China
Bismuth	Bi	8.8	China	China	Mercury	Hg	6.9	China	
Germanium	Ge	8.6	China		Fluorine	F	6.9	China	South Africa
Vanadium	V	8.6	China	China	Niobium	Nb	6.7	Brazil	Brazil
Gallium	Ga	8.6	China		Zirconium	Zr	6.4	Australia	Australia
Strontium	Sr	8.3	China	China	Chromium	Cr	6.2	South Africa	Kazakhstan
Tungsten	W	8.1	China	China	Tin	Sn	6.0	China	China
Molybdenum	Mo	8.1	China	China	Manganese	Mn	5.7	China	South Africa
Cobalt	Co	8.1	DRC	DRC	Nickel	Ni	5.7	Indonesia	Australia
Indium	In	8.1	China		Thorium	Th	5.7		USA
Arsenic	As	7.9	China		Uranium	U	5.5	Kazakhstan	Australia
Magnesium	Mg	7.6	China	Russia	Lead	Pb	5.5	China	Australia
Platinum group elements	PGE	7.6	South Africa	South Africa	Iron	Fe	5.2	China	Australia
Lithium	Li	7.6	Australia	Chile	Carbon (Diamond)	C	5.2	Russia	Australia
Barium	Ba	7.6	China	China	Titanium	Ti	4.8	Canada	China
Caesium (Graphite)	C	7.4	China	China	Copper	Cu	4.8	Chile	Chile
Beryllium	Be	7.1	USA		Zinc	Zn	4.8	China	Australia
Silver	Ag	7.1	Mexico	Peru	Aluminium	Al	4.8	Australia	Guinea
Cadmium	Cd	7.1	China		Gold	Au	4.5	China	Australia
Tantalum	Ta	7.1	Rwanda	Australia					

Low hanging fruits

- Recycling of components can save $>$ 80% of minerals

  Rich Kenny

  Understanding Data Centre IT Efficiency – The Hidden Power Source by Rich Kenny – Interact

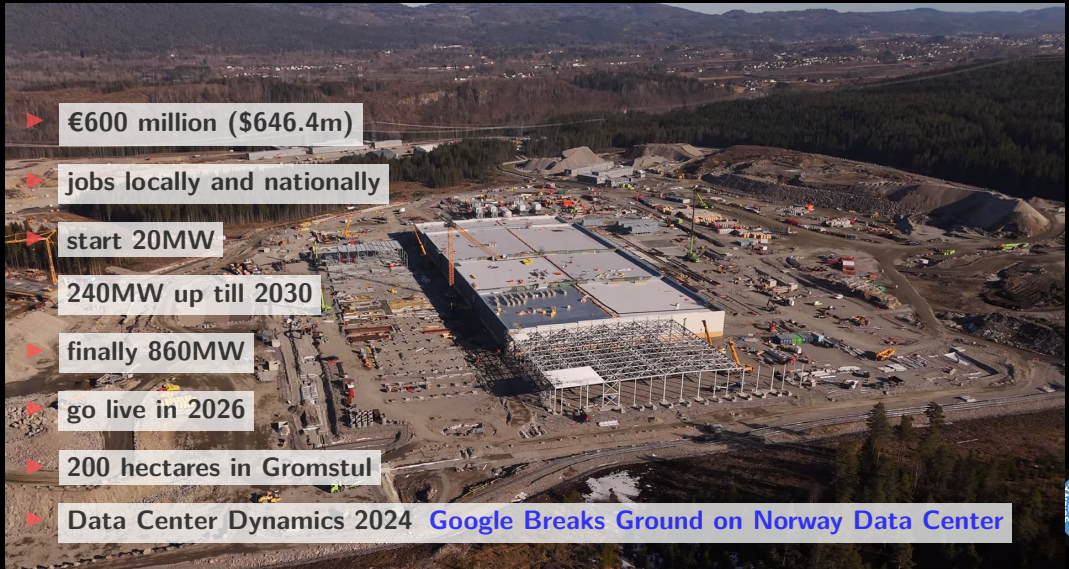
- Software production generates more emissions than software operations

  Aydin Mir Mohammadi

  One year of the CO_2-challenge – insights and lessons learned



Skien – Gromstulskogen



Touching Limits: Energy, Water, Metal CO_2

- Ireland: AI Data Center Moratorium until 2028 because of Blackout fears
- Netherlands: Inside the data centre moratorium movement
- Tech HQ: Heating up: how much energy does AI use? *What we do know is that training ChatGPT used 1.287 gigawatt hours, roughly equivalent to the consumption of 120 US homes for a year.*
- Moomoo: Chicago data center electricity demand increased by 900%! AI continues to detonate global energy challenges
- Cleanroom Technology: data centers run out of power
- Business Today: OpenAI might go bankrupt by end of 2024
- Business Insider: The AI boom will push America's shaky power grid to its limit
- Wired: AI's Energy Demands Are Out of Control. Welcome to the Internet's Hyper-Consumption Era
- OECD: How much water does AI consume? The public deserves to know
- Substack: The Great Salt Lake is Disappearing. So, Utah Banned the Rights of Nature.
- Straight Arrow News: AI tools consume up to 4 times more water than estimated
- Substack: Material Sacrifices To tackle climate chaos, decolonize the labor movement
- The Driller: Growing Demand for Copper Drives Need for Increased Domestic Mining, Experts Suggest
- Generative AI is reportedly tripling carbon dioxide emissions from data centers
- Odessa American Online: AI to boom natural gas market
- Arabian Gulf Business Insight: Aramco partners with US startup Groq for AI data centre

Impact on the Environment

Neo Colonialism

- Reporter Brasil

  Documents link Amazon and Google to companies investigated for illegal gold mining

- Tucson

  Arizona opinion: Data centers redefine the Copper State

- Dan Watch

  Impacts of copper mining on people and nature

- Monga Bay

  Renewables won't save us from climate catastrophe, experts warn; what will?

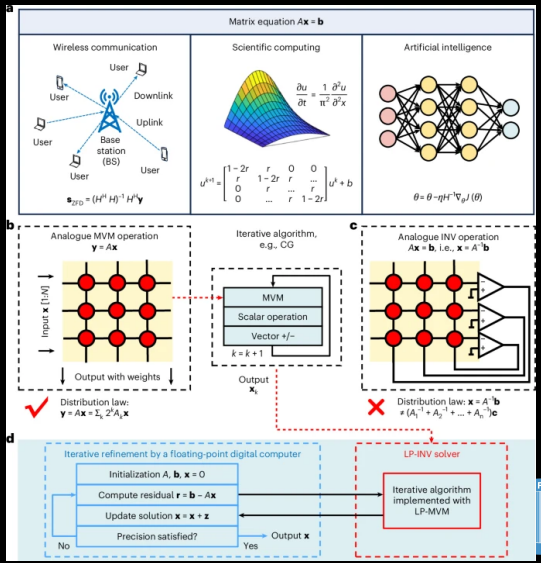
- The Guardian

  How the rise of copper reveals clean energy's dark side



China FOMO – The Right Way

- Wikipedia
  Solar power in China
- Bloomberg
  Alibaba's Shares Soar After Investors Buy Into Big AI Moves
- Alibaba
  New AI Training Method Cuts Search Costs by Nearly 90%
- Nature
  Precise and scalable analogue matrix equation solving using resistive random-access memory chips
  - NumPy
  - SciPy
  - on an analogue chip
- South China Morning Post (SCMP)
  DeepSeek releases first open AI model with gold-level scores at maths olympiad



~~Europe~~Afrika

- Investitionen in die richtigen Technologien
- Billiger als eine einzige Gigafactory
- Lokale Stärken unterstützen
- Dezentralisierung
  - Resilienz
  - Geringe Antwortzeiten
  - Roboter
  - Technologischer Fortschritt
- Altad KI in Mikrochips: Der Blick in den Abgrund bringt Innovationen hervor
- OpenFlexure
  50$ selbst gedrucktes Microskop
  - Europe / Africa
  - KI auf einem Tab
  - Leukämie
  - Malaria



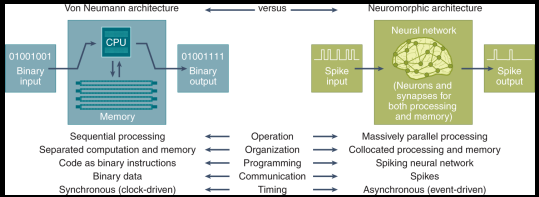
Post S4F Mainz Infos

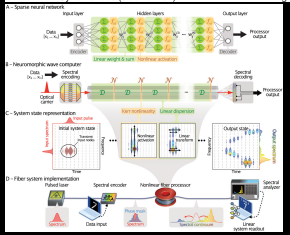
- private Mail
  - die Rechenzentren werden von indischen Arbeitern mit Touristenvisum gebaut
  - es geht mal ein Stromanschluss schief
    - Trafo brennt durch
    - zwei Wochen Diesel Notbetrieb ungefiltert
      oder ist das aus Versehen Heizöl?
    - zwischen Mainz und Frankfurt riecht die Autobahn nach Generator Diesel
  - Sicherheitsproblem im Übertragungsnetz
- Zeit
  Der Preis, den Arbeiter für den KI-Boom zahlen *Arbeiter berichten von Psychoterror und schweren Unfällen*
- Investigate Europe
  Electrocutions, 'mental terror' and withheld wages: The exploited workers building Europe's data centres

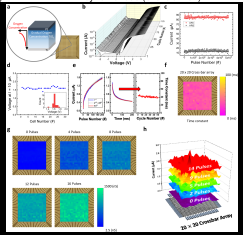


The Scariest Halloween Costume of 2026 Is an AI Data Center

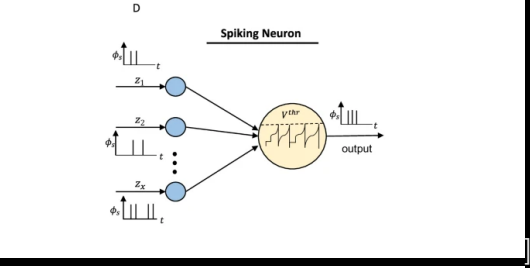
Neuromorphic Computing – Can Tech Save us?



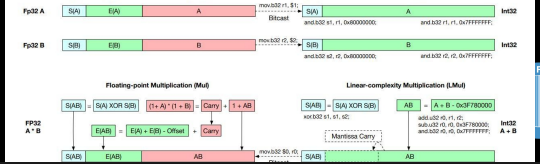








Could save 95% of the energy needed

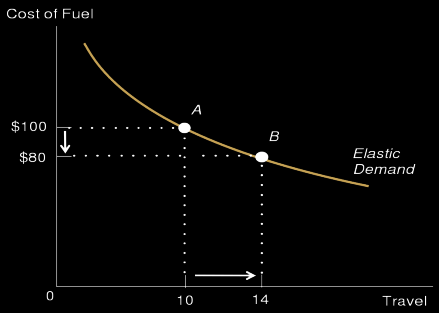


Optimierung

- Effizienzerhöhumg
- Fokus auf die richtigen Technologien
- Vorsicht
- Faktor 10: kauft uns 10 Jahre
- Faktor 1000: kauft uns 30 Jahre
- Reicht langfristig nicht aus
- Fossiler Backlash
- **Degrowth**



Jevons Paradoxon



Jevons Paradox

Jevons Paradoxon
- zuerst für Dampfmaschinen beschrieben
- Cloud Computing
  Rebound Effects in Cloud Computing: Towards a Conceptual Framework

Persönliche Beobachtungen
Bereitstellungszeiten sind verborgene Kosten
- Selbst Provisionierung
- Cloud Bereitstellung
- Virtualisierung
- Container
- Kubernetes
- CI/CD Pipelines

Automatisierung von Bereitstellung läuft in Jevons Paradoxon für Clouds

Google Kubernetes Einzeiler startet 100MW

How Google Does It: Building the largest known Kubernetes cluster, with 130,000 nodes

- Eine NVIDIA GB200 GPU braucht 1200W
- Pro Rechner 4 Stück
- Ein Cluster Fussabdruck ist $>$ 100s MW
- idealerweise über mehrere Rechenzentren verteilt
- Für KI Plattformen mit mehr als 100000 Rechnern
  - robuste multi-cluster Lösungen
  - signifikante Herausforderunge
- *Wenn Ihre Arbeitlast diesen Level erreicht, melden sie sich um ihre speziellen Bedürfnisse zu erfüllen*

```
gcloud container node-pools create burn \
    --zone eu-north-666 \
    --cluster burn-the-planet \
    --num-nodes=100000 \
    --machine-type a4x-highgpu-4g \
    --accelerator type=nvidia-gb200,count=4,gpu-driver-version=DRIVER_VERSION \
    --additional-node-network network=GVNIC_NETWORK_PREFIX-net,subnetwork=GVNIC_NETWORK_PREFIX-sub \
    --additional-node-network network=GVNIC_NETWORK_PREFIX-net,subnetwork=GVNIC_NETWORK_PREFIX-sub-0 \
    --additional-node-network network=GVNIC_NETWORK_PREFIX-net,subnetwork=GVNIC_NETWORK_PREFIX-sub-1 \
    --additional-node-network network=GVNIC_NETWORK_PREFIX-net,subnetwork=GVNIC_NETWORK_PREFIX-sub-2 \
    --additional-node-network network=GVNIC_NETWORK_PREFIX-net,subnetwork=GVNIC_NETWORK_PREFIX-sub-3 \
    --scopes "https://www.googleapis.com/auth/cloud-platform" \
    --reservation-affinity=specific \
    --reservation=RESERVATION_NAME/reservationBlocks/BLOCK_NAME \
    --placement-policy=WORKLOAD_POLICY_NAME
```

Create a GW cluster with a single line



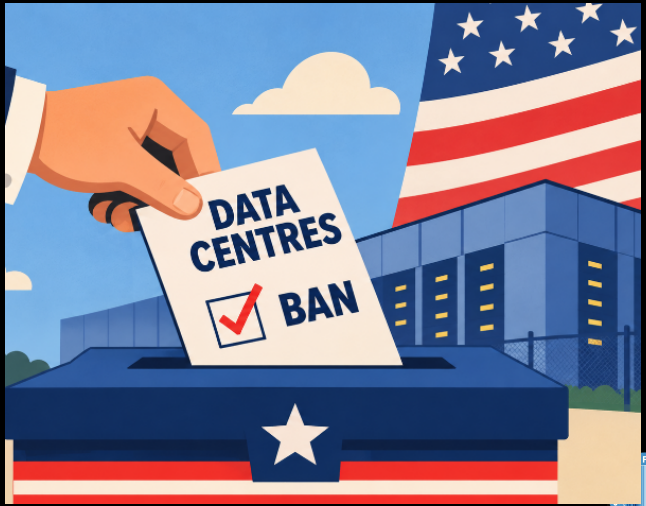
Widerstand: letzte Woche

- Heisse Luft
  Algorithmwatch, Fragdenstaat
- CNBC
  America's data center fight is a preview of what's to come for the rest of the world
- Datacenterwatch
  Local activism threatens to derail the U.S. data center boom
- Facebook
  Salem, Oregon residents packed a City Council meeting protesting a $5 billion Verrus data center as Protesters demonstrated outside with a mock guillotine



Rechenzentren verlieren Wahlen

- *Fast immer stimmte dabei mindestens eine Zweidrittelmehrheit für die Option, die Rechenzentren untersagt – je nach Formulierung der Vorlage war das ein Ja oder ein Nein.*
  Heise
  US-Zwischenwahlen: Rechenzentren noch größere Verlierer als die Republikaner
- Capacity Global
  33 data centre curbs pass as US midterms turn the AI buildout into a political liability



Politischer Hintergrunde: MAGA, Effective Altruism...

Wired
US Law Enforcement Warns of 'Anti-Tech Extremism' as AI Hatred Grows

Heise
US-Behörden sorgen sich um wachsenden „Anti-Tech-Extremismus"

Deutsche Welle
Peter Thiel: Macht, Politik, Palantir und der Antichrist

Nick Bostrom
Astronomical Waste
The Opportunity Cost of Delayed Technological Development

SpaceX
IPO Prospect



Ersatz knapper Ressourcen führt zur Entlastung

Verschlechterungen von Effizienzstandards bei Rechenzentren führen zu sehr großen zusätzlichen Energiebedarfen von Dr. Julian Bothe

Süddeutsche Zeitung
Nur das Fahrrad kann den Stau-Kollaps abwenden

ADAC:
Radschnellweg: Zügig aus dem Umland in die Stadt
Um für eine Entlastung der Autobahnen zu sorgen, sieht der ADAC den Ausbau von Radschnellwegen als geeignete Maßnahme.

Bayrischer Rundfunk
Experten kritisieren Planung zu H_2-Ready-Gaskraftwerken

Bundeswehr
Synthetische Kraftstoffe. Was ist das? Was plant die Bundeswehr?



Resistance International

- **Business Humanrights**

  Peru: Indigenous communities protest against Glencore's Antapaccay copper mine expansion concerned with potential environmental damage

- **Bloomberg**:

  NIMBYs Are Coming for the Data Centers AI Needs. Elected ... punished by voters for greenlighting the massive, energy-hogging facilities

- **Datacenter Watch**:

  $64 billion of data center projects have been blocked or delayed amid local opposition

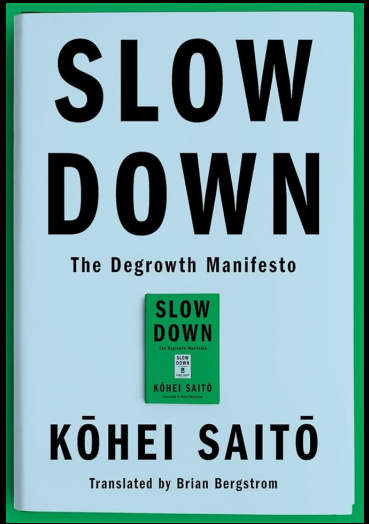
- **Bloomberg**:

  Sam Altman's Energy 'New Deal' Is Good for AI. What About Americans?

Zusammenfassung: Degrowth

- Wikipedia
  Degrowth is an *academic and social* movement aimed at the planned and democratic reduction of production and consumption as a solution to social-ecological crises

  deutsch: Wachstumskritische Bewegung
- Muss wesentlicher Bestandteil jeder Entwicklung werden
- Optimierung $\neq$ Degrowth
  - kauft Zeit
  - aber nur wenige Jahre



Zusammenfassung

Potentiale für Alternativen sind riesig

- Energienetz
- Auslastung der Rechenzentren
- Software
- KI Modelle
- Andere Technologien

'This is not an anti-tech town': backlash to datacenter in city once home to IBM



Widerstand

- gleich am Anfang des Prozesses
- lokal organisiert
- deutlich
- sollte nicht im NIMBY Status stecken bleiben
  (Not in my Backyard – Nicht in meinem Hinterhoff)
- Globale Bewegung
- Wahlentscheidend?
- Resourcenverbrauch hat koloniale Züge
- Wer sich nicht wehrt, wird selbst zur Kolonie der Tech Bros

Es gibt keinen Grund, für Rechenleistung fossile Energien zu verbrennen

Zeit Interview mit Philippe Sandes
"Das Wort Ökozid erinnert . . . an Genozid"

Question? Remarks?

Further reading

- Gerry McGovern
- Paris Marx
- Halloween Talk at SreCon Emea 2024
- Kohei Saito on archive.org: Marx in the Anthropocene

Some Answers

Slides: https://thomasfricke.de/admin-stammtisch.pdf

Mail: admin-stammtisch@thomasfricke.de

Mastodon: @thomasfricke@23.social

LinkedIn: https://www.linkedin.com/in/thomas-fricke-9840a21/



