KI KOMPASS

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ UND NACHHALTIGKEIT

Themenblatt

KI und Nachhaltigkeit

Dieses Themenblatt beschäftigt sich mit dem Einfluss der Künstlichen Intelligent (KI) auf die Umwelt. Es bietet **einen Überblick** zum Thema Nachhaltigkeit in Bezug auf KI.

Das Themenblatt richtet sich an Lehrkräfte aus dem Enseignement Fondamental und Secondaire und liefert **Hintergrundwissen**, um das Thema im eigenen Unerreicht aufzugreifen.

Was hat KI mit Nachhaltigkeit zu tun?

Der Einsatz von KI bietet zahlreiche Chancen und Möglichkeiten den Menschen in verschiedenen Bereichen zu helfen, etwa in der Medizin, Bildung oder in Bezug auf Nachhaltigkeit. So etwa besteht die Hoffnung, durch KI und Algorithmen Energie zu sparen, den Ressourcenverbrauch effizienter zu gestalten, eine Energie- oder Mobilitätswende zu ermöglichen oder vor Extremwetterereignissen zu warnen. Auf der anderen Seite benötigt die Nutzung von KI eine große Menge an Wasser, Strom sowie Rohstoffen, und stößt somit eine **Unmenge an CO_2** aus. In diesem Sinne kann die KI in manchen Fällen helfen und in anderen die Situationen verschlechtern. Die Frage ist daher nicht, ob der Mensch sie nutzen soll oder kann, sondern wie er die KI (nachhaltig) einsetzt und wofür.

Nachhaltigkeit

Für den Begriff „Nachhaltigkeit“ oder „nachhaltige Entwicklung“ (im Engl. *Sustainability)* gibt es verschiedene Definitionsansätze und Bedeutungen. In diesem Themenblatt ist damit gemeint, dass sowohl die Bedürfnisse und Ressourcen der Gegenwart als auch die der Zukunft respektiert werden. Dabei gilt der Grundsatz, die Möglichkeiten zukünftiger Generationen **nicht einzuschränken oder zu gefährden**, durch den Verschleiß oder Missbrauch der heutigen Generation.
In der Regel beinhaltet Nachhaltigkeit verschiedene Dimensionen: wirtschaftliche, soziale und ökologische Aspekte, die gleichberechtigt zu betrachten sind, um die Ressourcen langfristig zu erhalten.
Kurz gesagt: Es geht um einen verantwortungsbewussten Umgang mit wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Ressourcen auf der Erde, für heutige und künftige Generationen, um ein lebenswertes Leben führen zu können.

KI und die sozialen und ökologischen Aspekte der Nachhaltigkeit

Der Einsatz von KI und KI-Systemen beeinflusst die sozialen und ökologischen Aspekte der Nachhaltigkeit. Diese werden im Folgenden genauer beschrieben.

1. Rohstoffe

KI basiert auf hochleistungsfähiger Hardware, die meist in großen Rechenzentren betrieben wird. Solche Rechenzentren werden unter anderem von Unternehmen wie *Google*, *Amazon*, *OpenAI, Microsoft* und weiteren Anbietern weltweit betrieben. Gleichzeitig ist es technisch möglich, kleinere KI-Modelle auf lokaler Hardware, z. B. auf dem eigenen Computer, zu betreiben. Besonders leistungsfähige Systeme werden jedoch aufgrund des hohen Rechenaufwands in spezialisierten Serverfarmen ausgeführt.

Diese Server bestehen aus Mikrochips, Leiterplatten, Kühlsystemen und Notstrominfrastrukturen. Für die Herstellung eines solchen Servers wird eine Vielzahl an mineralischen Rohstoffen benötigt. **Silizium** bildet die Grundlage moderner Halbleiterchips, unabhängig davon, ob sie für KI eingesetzt werden oder nicht. Das benötigte Silizium wird aus **Quarzsand** gewonnen und in energie- und technologieintensiven Prozessen zu dünnen, meist kreisrunden Scheiben (sogenannten *Wafern*) verarbeitet, auf denen dann Milliarden von Transistoren integriert werden. Moderne KI-Anwendungen benötigen besonders leistungsfähige **Halbleiterchips**, deren Produktion hochkomplexe globale Lieferketten voraussetzt. Mit dem Ausbau der digitalen Infrastrukturen und Rechenzentren steigt auch die Nachfrage nach leistungsfähigen Halbleitern.

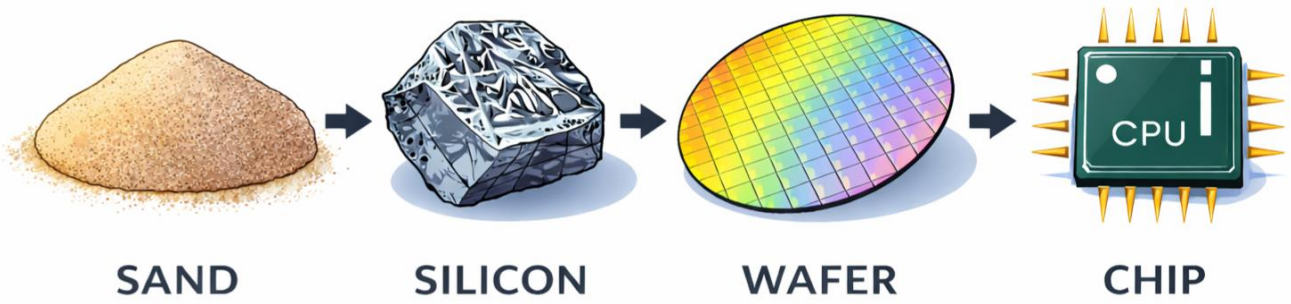

Abbildung 1: Grafik in Anlehnung an: https://componentbyozdisan.com/en/what-is-a-wafer/, mit KI überarbeitet

Kupfer spielt eine entscheidende Rolle für die Infrastruktur von Rechenzentren. Es wird für Stromleitungen, Datenkabel, Transformatoren und Leiterplatten verwendet. Rechenzentren enthalten kilometerlange Verkabelungen, und mit dem Ausbau von Cloud- und KI-Infrastrukturen wächst auch der Bedarf an Kupfer. Rechenzentren sind somit neben der Energiewende, Elektromobilität und dem Netzausbau ein zusätzlicher Treiber im steigenden globalen Kupferbedarf. Der *World Bank Report 2020* zu „*Minerals for Climate Action*“ betont, dass die Nachfrage nach Metallen wie Kupfer im Zuge der globalen Digitalisierung und Elektrifizierung deutlich zunimmt.

Für die Absicherung der Stromversorgung von Rechenzentren sind Batteriespeicher erforderlich (siehe *2. Stromverbrauch).* Diese enthalten häufig **Lithium**, **Kobalt** und **Nickel**. Der Abbau dieser Metalle ist teilweise mit sozialen und ökologischen Problemen verbunden, insbesondere im Kleinbergbau. Die *World Bank Report 2020* weist darauf hin, dass die steigende Nachfrage nach digitalen und elektrischen Technologien den Druck auf diese Rohstoffmärkte weiter erhöht.

Neben elektronischen Komponenten benötigen Rechenzentren große Mengen an **Stahl** und **Aluminium** für Gebäudestrukturen, Serverracks und Gehäuse. Die Herstellung dieser Materialien ist rohstoff- und emissionsintensiv. Damit trägt bereits die Errichtung der physischen Infrastruktur erheblich zum Ressourcenverbrauch digitaler Technologien bei.

Ein weiteres Problem stellt die kurze Lebensdauer von IT-Hardware dar. Hochleistungsprozessoren und Server werden häufig nach wenigen Jahren ersetzt, um mit dem technologischen Fortschritt mithalten zu können. Laut dem *„Global E-Waste Monitor 2024“*, einem Bericht der Vereinten Nationen, steigt das weltweite Aufkommen an Elektroschrott kontinuierlich an, während nur ein Teil davon fachgerecht recycelt wird. Dadurch gehen wertvolle Rohstoffe verloren, und es entstehen zusätzliche Umweltbelastungen.

2. Energieverbrauch

Der Energieverbrauch (auch Stromverbrauch genannt) von KI-Systemen lässt sich in zwei Phasen unterscheiden:

- Training
  Beim Training eines KI-Modells werden große Mengen an Daten verarbeitet. Das Modell lernt anhand der Daten bestimmte Muster, Wahrscheinlichkeiten, etc. Diese Phase läuft meistens nur einmal ab. Sie ist energieintensiv, da sie bei großen Modellen mehrere Wochen bis Monate laufen kann. Für GPT-4 wird der Energieverbrauch auf ca. 50 GWh (Gigawattstunden) geschätzt. Das Land Luxemburg hat einen geschätzten Tagesverbrauch von 16 GWh (laut www.worlddata.info). Somit hätte Luxemburg über drei Tage mit Strom versorgt werden können.
- Nutzung
  Bei der Nutzung des Modells, auch Inferenz genannt, generiert das Modell anhand der gelernten Daten eine Ausgabe, idealerweise passend zum Prompt. Hierbei wird in der Regel wenig Energie verbraucht, ca. 0,34 Wh (Wattstunden)[1]. Allerdings werden ca. 2,5 Milliarden Anfragen pro Tag allein an ChatGPT gestellt. Somit ergibt sich ein Tagesverbrauch von 850 MWh (Megawattstunden) und ein Jahresverbrauch von ca. 310 GWh. Ein Windrad stellt ca. 10 GWh pro Jahr bereit. Somit werden allein für die Inferenz mit ChatGPT 31 Windräder gebraucht. Diese Angaben sind allerdings geschätzt.

Insgesamt zeigt sich, dass KI-Systeme trotz eines auf den ersten Blick geringen Energieverbrauchs pro einzelne Anfrage durch ihre enorme Nutzung sowie den energieintensiven Trainingsprozess einen relevanten Beitrag zum globalen Stromverbrauch leisten und damit auch Auswirkungen auf Umwelt und Klima haben können.

3. Wasserverbrauch

Rechenzentren verbrauchen große Mengen Wasser, sowohl direkt zur Kühlung der Server als auch indirekt durch die Herstellung von Halbleitern und die Stromerzeugung, die für den Betrieb der Anlagen notwendig ist. Der tatsächliche Wasserverbrauch hängt jedoch stark von der verwendeten Kühltechnik, dem lokalen Klima und der Energiequelle ab.

Aktuelle Studien schätzen den globalen Wasserverbrauch von Rechenzentren auf ca. 560 Milliarden Liter pro Jahr, wobei dieser Wert bis zum Jahr 2030 auf etwa 1200 Milliarden Liter ansteigen könnte, wenn der Ausbau von KI- und Cloud-Infrastrukturen weiter zunimmt. [2]

Ein großer Teil dieses Wasserverbrauchs entsteht nicht in den Rechenzentren direkt, sondern indirekt durch die Stromproduktion. Je nach Strommix wird Wasser beispielsweise zur Kühlung von Kraftwerken oder in der Energieerzeugung eingesetzt.

Auch die Herstellung von modernen Halbleiterchips ist wasserintensiv. Für die Reinigung der *Wafer* (siehe 1. Rohstoffe) wird sogenanntes *Ultrapure Water* (dt. Reinstwasser: Wasser, welches nahezu frei von Fremdstoffen ist) benötigt, welches in aufwendigen Prozessen hergestellt wird. Große Halbleiterfabriken können daher täglich mehrere Millionen Liter Wasser verbrauchen.

Angesichts zunehmender Wasserknappheit durch den Klimawandel wird diskutiert, neue Rechenzentren in wasserreichen Regionen oder in Gebieten mit kühlen klimatischen Bedingungen zu errichten. Gleichzeitig arbeiten

[1] https://medium.com/illumination/how-much-energy-exactly-does-chatgpt-use-0a0bdf2e4cd4
[2] https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/urgent-action-needed-on-water-sector-s-rising-energy-consumption

Unternehmen und Forschungseinrichtungen an neuen Technologien, um den Wasserverbrauch zu reduzieren. Dazu gehören luftbasierte Kühlsysteme, geschlossene Wasserkreisläufe oder Flüssigkeitskühlung direkt an den Prozessoren, die effizienter sein können als klassische Kühltürme.

KI und die wirtschaftlichen und sozialen Aspekte der Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit fokussiert sich jedoch nicht nur auf die sozialen und ökologischen Folgen des Ressourcenverbrauchs, sondern behält auch die wirtschaftliche und soziale Dimension im Auge.

Aktuell dominieren vor allem US-amerikanische, wie *OpenAI*, oder chinesische Unternehmen, wie *DeepSeek*, die KI-Welt. Große Techkonzerne investieren Milliarden in diese Technologien, um sich die Marktanteile in diesem Bereich zu sichern.

Doch was bedeutet es, wenn zunehmend private Unternehmen solche KI-Systeme betreiben? Es stellen sich Fragen in Bezug auf staatliche Souveränität, wirtschaftlichen Wohlstand, nationale Sicherheit und kritische Infrastrukturen (wie etwa Wasser, Strom oder Verkehr) und wie KI all diese Aspekte beeinflussen oder gefährden kann.

Die europäische Verordnung zur KI, *AI Act,* von 2025, strukturiert daher KI-Anwendungsfälle in Risikostufen und legt die damit verbundenen Pflichten (z.B. Transparenz) innerhalb der EU fest. Eine solche Verordnung ist wichtig, weil sie zeigt, dass KI-Systeme, wenn sie nicht angemessen kontrolliert und reflektiert eingesetzt werden, Diskriminierung fördern, internationale Konflikte schaffen und somit das Vertrauen untergraben und das Potenzial der Technologie erheblich begrenzen können. Dies kann wiederrum negative Folgen auf die Wirtschaftlichkeit eines Menschen, einer Gesellschaft oder einer Nation haben.

Ist eine nachhaltige KI in der Praxis möglich?

In den vorherigen Abschnitten wurde der Zusammenhang zwischen Nachhaltigkeit und KI sowie die möglichen negativen Auswirkungen auf die Umwelt erläutert.

Aus diesem Grund ergibt sich die Frage, ob eine nachhaltige KI in der Praxis möglich ist. Dieser Frage wird im Folgenden nachgegangen.

Nachhaltigere KI-Systeme in der Praxis

Es gibt Möglichkeiten, KI-Systeme ressourcenschonender zu gestalten, wie etwa:

- **Open-Source-Ansätze:** Modelle lassen sich wiederverwenden und müssen nicht für jede Anwendung neu entwickelt werden. Vortrainierte Modelle lassen sich für unterschiedliche Einsatzfälle anpassen, was deutlich umweltfreundlicher ist, als KI-Modelle stets von Grund auf (neu) zu trainieren.
- **Datenminimalistische Ansätze**: Um den Energieverbrauch beim Training und Einsatz von KI zu senken, wird bewusst mit möglichst kleinen Datensätzen gearbeitet. Ziel ist es, Aufgaben mit minimalem Datenaufwand effizient und effektiv zu lösen.
  Allerdings werden häufig unnötig große Datenmengen eingesetzt – besonders in der Industrie, wo viele Daten verfügbar sind. Ab einem gewissen Punkt bringt mehr Training jedoch nur noch geringe Verbesserungen, verbraucht aber deutlich mehr Energie und widerspricht dem datenminimalistischen Ansatz.

- **Small Language Models (SLM):** *Small Language Models* sind kleinere Sprachmodelle, die deutlich weniger Rechenleistung, Speicher und Energie benötigen als große KI-Modelle (LLMs - Large Language Models). Sie können für viele spezialisierte Aufgaben ausreichend leistungsfähig sein und lassen sich teilweise direkt auf lokalen Geräten betreiben, wodurch Energieverbrauch und Datenübertragung reduziert werden können.
- **Politische Maßnahmen**: Die EU hat in ihrer Verordnung über künstliche Intelligenz (*AI Act*) erste Schritte eingeleitet, um die Umweltfolgen der KI-Produktion einzudämmen. So müssen Entwickler und Entwicklerinnen den Ressourcenverbrauch risikoreicher KI-Systeme dokumentieren, um deren Energie und Rohstoffbedarf im Lebenszyklus zu senken.

Eigene nachhaltige KI-Nutzung

Nicht nur große Tech-Unternehmen oder Betreiber von KI-Systemen haben einen Einfluss auf den Ressourcenverbrauch. Jeder Mensch kann versuchen den eigenen Umgang mit KI nachhaltig zu gestalten.

- KI nur dann einsetzen, wenn es sinnvoll ist: Eine KI-Technologie mit Bedacht, Sinn und Zweck nutzen. Es ist wichtig zu hinterfragen, warum eine KI etwas gefragt oder etwas an eine KI ausgelagert werden soll und was mit den Ergebnissen erreicht werden möchte.
    - **Nicht-KI-Technologien bevorzugen:** Eine einfache Suchanfrage über Suchmaschinenanbieter (wie etwa *Google*, *Bing* oder *Ecosia*) erfüllt meist auch ihren Zweck. Nicht für jede Frage ist es sinnvoll ein Large-Language-Model (LLM) zu konsultieren. Fragt man etwa nach dem Wetter oder will den Geburtstag einer bekannten Person herausfinden, reicht eine einfache Suchanfrage.
    - **Medien nur limitiert generieren lassen**: Bevor ein Bild, eine Grafik oder ein Video über eine KI erstellt werden soll, ist es wichtig, sich zu fragen, ob man dieses Bild nicht auch durch eine einfache Bildsuche findet (wie etwa ein Foto eines Tieres) oder in einem Tool selbst erstellen kann (wie etwa eine simple Grafik oder ein Diagramm). Viele Medien existieren bereits und müssen nicht neu erstellt werden.
- **Gute Prompts formulieren:** Es sollten klare und spezifische Prompts formuliert werden, denn es ist besser einen detaillierten Prompt zu erstellen als mehrere kleinere. Zudem können manche Aufgaben oder Fragen in einem Prompt gestellt werden und nicht jedes Mal einzeln (Mehr Details dazu im Themenblatt „KI und Prompting").
- **SLM und lokale Modelle nutzen:** Wenn möglich, kleinere lokale Modelle auf lokaler Hardware (z. B. auf dem eigenen Computer) herunterladen, installieren und nutzen, da sie in der Regel für eine Vielzahl von Aufgaben ausreichend sind. Über bestimmte Plattformen können Open Source Modelle heruntergeladen und auf lokalen Geräten betrieben werden.
- **Daten verantwortungsbewusst berücksichtigen**: LLMs lernen mit allen eingespeisten Daten, also etwa durch jeden Prompt und durch jede Information, die wir ihnen geben. Es ist wichtig, verantwortungsbewusst mit persönlichen Daten umzugehen und nicht alles in die KIs einzugeben.
- **Frag erstmal deinen Nachbarn:** Manche Fragen können leicht geklärt werden, in dem man eine andere Person fragt, etwa andere SchülerInnen, ArbeitskollegInnen, Eltern oder Nachbarn. Es regt nicht nur die kognitiven Fähigkeiten von uns und unseren Mitmenschen an, sondern fördert auch die sozialen Kompetenzen.

Ressourcen für den Unterricht

Es gibt einige Möglichkeiten, das Thema nachhaltige Entwicklung und Nachhaltigkeit im Zusammenhang mit KI im Unterricht anzusprechen. Im Folgenden gibt es eine kleine Auswahl an Ressourcen zu diesem Thema:

- Das Projekt *SustAIn* ist ein Kooperationsprojekt von *AlgorithmWatch*, dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) und dem DAI (*Distributed Artificial Intelligence*)-Labor an der TU Berlin (Technische Universität Berlin). In der zweiten Ausgabe des Magazins *SustAIn* wird aufgezeigt, in welchen Fällen KI nicht nachhaltig ist und wie bessere Lösungen aussehen könnten: https://edulink.lu/yf8q
- Die Universität Luxemburg bietet eine Comicreihe *„LUX:plorations – A Universe of Research“* an, erhältlich in fünf Sprachen. Im dritten Band widmet sich der Comic „Watt ass lass? D'Chronike vum Smart Grid“ (S. 15-S. 18) dem intelligenten Stromnetz: https://edulink.lu/gn02
- Mit dem Tool *„AI Footprints Estimator for Students“* von *Wayfinder Learning Lab* können Schüler und Schülerinnen den Energieverbrauch ihrer eigenen KI-Nutzung hinterfragen, indem sie die verschiedenen KI-Tools vergleichen. Da es sich hierbei um komplexe Berechnungen handelt, können sich Fehler einschleichen. Neben den Berechnungen zu seinem *AI Footprint*, bietet die Seite auch Unterrichtseinheiten und weitere Hintergrundrecherchen: https://edulink.lu/e7tl
  Dies ist auch über das Tool *VittaScience* möglich, welches über den KI Kompass bereitgestellt wird: https://ki-kompass.lu/tool/vittascience/
- Das französische Kulturministerium hat das Vergleichstool *Compar:IA* erstellt, in dem Tools und Datensätze verglichen werden können. Dabei wird ein beliebiger Prompt an zwei ausgewählte Tools übergeben und anschließend der CO_2 und Stromverbrauch der beiden verglichen: https://edulink.lu/numo
- Greenpeace Deutschland hat Unterrichtsmaterial zum Thema nachhaltige Entwicklung erstellt mit dem Thema „KI und Klima“. Das Material richtet sich an SchülerInnen aus dem *Enseignement Secondaire*. https://edulink.lu/cohu

Hinweise: Lehrkräfte sollten die Ressourcen daraufhin prüfen, ob sie zur jeweiligen Klasse und Kontext passen und die Nutzung gegebenenfalls anpassen.

Zur Umsetzung der dargestellten Unterrichtsideen sollten bevorzugt die Tools genutzt werden, die über die Webseite KI Kompass zur Verfügung gestellt werden.

Referenzen

AI Act (2025): Artikel 50: *Transparenzverpflichtungen für Anbieter und Betreiber von bestimmten KI-Systeme.* Aufrufbar über: AI Act Explorer: https://artificialintelligenceact.eu/de/article/50/ (letzter Zugriff: 19.03.2026).

Alice Sun (Live Science) (2025): *Why do AI chatbots use so much energy?,* Aufruf über: https://www.livescience.com/technology/artificial-intelligence/why-do-ai-chatbots-use-so-much-energy (letzter Zugriff: 17.03.2026)

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: *Nachhaltigkeit (nachhaltige Entwicklung).* Aufrufbar über https://www.bmz.de/de/service/lexikon/nachhaltigkeit-nachhaltige-entwicklung-14700 (letzter Zugriff: 19.03.2026)

Digital Europe (2025): *Powering Europe's future: How AI and digital grids can secure Europe's climate and industrial leadership.* Aufrufbar über: https://cdn.digitaleurope.org/uploads/2025/11/DIGITALEUROPE_position-paper_Roadmap-for-digitalisation-and-AI-in-energy.pdf (letzter Zugriff: 06.05.2026)

Epoch AI (2025): *How much energy does ChatGPT use?* Aufrufbar über https://epoch.ai/gradient-updates/how-much-energy-does-chatgpt-use (letzter Zugriff: 19.03.2026)

Europäisches Parlament (2024): *Elektro- und Elektronikschrott in der EU: Zahlen und Fakten (Infografik).* Aufrufbar über: https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20201208STO93325/elektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik (letzter Zugriff: 19.03.2026)

Goldmann Sachs (2025): *AI to drive 165% increase in data center power demand by 2030.* Aufrufbar über: https://www.goldmansachs.com/insights/articles/ai-to-drive-165-increase-in-data-center-power-demand-by-2030 (letzter Zugriff: 19.03.2026)

International Energy Agency. (2025). *Energy and AI (Special Report).* International Energy Agency.

Josh You (Epoh AI) (2025): *How much energy does ChatGPT use?,* Aufruf über: https://epoch.ai/gradient-updates/how-much-energy-does-chatgpt-use (letzter Zugriff: 17.03.2026)

Lexikon der Nachhaltigkeit (2015): *Nachhaltigkeit Definition*. Aufrufbar über: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/definitionen_1382.htm (letzter Zugriff: 19.03.2026)

Pengfei Li, Jianyi Yang, Mohammad A. Islam, Shaolei Ren (2025): *Making AILess "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*, Aufruf über: https://arxiv.org/abs/2304.03271 (letzter Zugriff: 17.03.2026)

Sophia Falk, Nicholas Kluge Corrêa, Sasha Luccioni, Lisa Biber-Freudenberger, Aimee van Wynsberghe (2025): *From FLOPS to Footprints: The Resource Cost of Artificial Intelligence*, Aufruf über: https://arxiv.org/abs/2512.04142 (letzter Zugriff: 17.03.2026)

SustainAnalytics (2025): *Can Big Tech Keep Its Climate Commitments as Data Centers Scale?* Aufrufbar über: https://www.sustainalytics.com/esg-research/resource/investors-esg-blog/can-big-tech-keep-its-climate-commitments-as-data-centers-scale (letzter Zugriff: 19.03.2026)

World Bank (2020): *Minerals for Climate Action – The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition,* Aufruf über: https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action (letzter Zugriff: 17.03.2026)

UNITAR, Sustainable Cycles (SCYCLE) Programme*: E-Waste Monitor,* Aufruf über: https://ewastemonitor.info/ (letzter Zugriff 17.03.2026)

Xin Chen, Xiaoyang Wang, Ana Colacelli, Matt Lee, Le Xie (2025): *Electricity Demand and Grid Impacts of AI Data Centers: Challenges and Prospects*, Aufruf über: https://arxiv.org/abs/2509.07218 (letzter Zugriff: 17.03.2026)