

LEITFADEN

GRÜNE IT UND GRÜNE KI

Wie Informationstechnologie und Künstliche Intelligenz grün gestaltet werden können.

Impressum

Dieser Leitfaden wurde im Rahmen der Begleitforschung zum „GreenTech Innovationswettbewerb“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) entwickelt. Der GreenTech Innovationswettbewerb umfasst 41 Förderprojekte, die digitale und grüne Innovation in verschiedenen Sektoren der deutschen Industrie erforschen und in die Anwendung bringen.

[Mehr Informationen](#)

Autor*innen

Dr. Stefanie Kunkel (RIFS | am GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung), Emma Schütt (RIFS | am GFZ), Malte Reißig (RIFS | am GFZ), Prof. Grischa Beier (RIFS | am GFZ), Dr. Dina Barbian (eco2050 Institut für Nachhaltigkeit GmbH, Projekt „ESCADE“), Felix Behrens (Öko-Institut, Projekt „ECO:DIGIT“), Prof. Stefanie Betz (Hochschule Furtwangen), Prof. Dr. Dirk Bunke (Öko-Institut, Projekt „ECO:DIGIT“), Jens Gröger (Öko-Institut, Projekt „ECO:DIGIT“), Nicolai Hammes (DB Systel GmbH), Dr. Andreas Hantsch (eco2050 Institut für Nachhaltigkeit GmbH, Projekt „ESCADE“, Hantsch Sustainability Consulting), Marja Lena Hoffmann (Gesellschaft für Informatik e.V., Projekt „ECO:DIGIT“), Dominik Jürgens (tensorembodied GmbH, Projekt „Twin Space“), Johannes Knödtel (Universität Rostock), Friederike Schleinitz (DHL eCommerce & Umweltmanagerin), Dr. Marcus Voss (Birds on Mars GmbH), Dr. Maria Zeitz (KlimAktiv gGmbH, Projekt „GreenStreaming“)

Hinweis

Die Informationen in diesem Bericht wurden nach bestem Wissen und Gewissen unter Beachtung der Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis zusammengestellt. Die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben in diesem Bericht korrekt, und aktuell sind, übernehmen jedoch für etwaige Fehler, ausdrücklich oder implizit, keine Gewähr. Die Darstellungen in diesem Dokument spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung des Auftraggebers wider.

Empfohlene Zitation

Kunkel et al. (2026). Leitfaden Grüne IT und Grüne KI. Wie Informationstechnologie und Künstliche Intelligenz grün gestaltet werden können, *Diskussionspapier im Rahmen des Förderprogramms „GreenTech Innovationswettbewerb“*. <https://doi.org/10.48481/rifs.2026.014>

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

Dr. Stefanie Kunkel (RIFS am GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung)

Gestaltung

Zum goldenen Hirschen Berlin GmbH
Schlesische Str. 26, 10997 Berlin

Verfasst im Auftrag von

GreenTech Innovationswettbewerb im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Berlin, Deutschland

Herausgeber

RIFS am GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung

Veröffentlicht

Juni 2026

Copyright

© 2026 Die Autor*innen dieses Dokuments. Das Dokument ist unter einer CC BY 4.0 International Lizenz lizenziert.

Wichtigste Ziele und Maßnahmen

RELEVANZ UND ZIELE DES LEITFADENS

Die digitale Transformation verursacht zunehmend Umweltbelastungen. So soll sich etwa der globale Stromverbrauch für Rechenzentren zwischen 2023 und 2030 auf 1389 TWh mehr als verdoppeln^A. Die Menge an Elektroschrott aus Servern und Datenspeichereinheiten soll sich auf 800 000 t vervierfachen^A.

Ziel des Leitfadens ist es, Orientierung über zentrale Nachhaltigkeitshebel für eine Grünere IT zu geben. So soll der Leitfaden dazu beitragen, die wachsenden Umweltauswirkungen digitaler Systeme zu reduzieren und eine nachhaltig gestaltete digitale Transformation zu fördern.

Der Leitfaden berücksichtigt, dass Umweltwirkungen digitaler Technologien sowohl auf der technischen, als auch auf der sozio-ökonomischen Systemebene entstehen. Er umfasst daher verschiedene Systemkomponenten: digitale Dienstleistungen, Rechenzentren, Netzwerke, Hardware, und Software und adressiert verschiedene Akteursgruppen. Zudem wird Künstliche Intelligenz (KI) als sich rasch verbreitende Technologie gesondert betrachtet.

KOMPONENTE	MAßNAHME	UMSETZUNG
Digitale Dienstleistungen	Umweltwirkungen digitaler Dienstleistungen steuern	Sparsame digitale Dienstleistungen entwickeln und digitale Dienstleistungen für nachhaltigkeitsorientierte Ziele einsetzen.
Rechenzentren	Ressourceneffizient und mit erneuerbaren Energien betreiben	Erneuerbare Energien , effiziente Server- und Kühltechnologien sowie anerkannte Umweltstandards und Zertifizierungen für Hardware einsetzen.
Netzwerke	Netzinfrastruktur ressourcenoptimiert betreiben	Effiziente Übertragungsstandards nutzen, Netzausbau ökologisch optimieren (kooperativ, unter Berücksichtigung von ökologischen Kriterien).
Hardware	Lebensdauer verlängern	Reparaturfähigkeit und Modularität fördern, Refurbishment und Kaskadennutzung gegenüber Neuanschaffungen priorisieren.
Software	Rechenlast und Ressourcenverbrauch reduzieren	Effiziente Algorithmen und Datenstrukturen einsetzen, Software ressourcenschonend konfigurieren (auch in Hinblick auf Hardwarenutzung), sowie unnötige Datenhaltung vermeiden.
Künstliche Intelligenz	Notwendigkeit und Sparsamkeit prüfen	Vor dem Einsatz prüfen, ob KI erforderlich ist ; Ressourcenbedarf durch Modellwahl & Datenreduktion minimieren; KI für nachhaltigkeitsorientierte Ziele einsetzen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5	3	Ressourcen & Quellen	67
2	Handlungsfelder	17		3.1 Gesetze, Akteure, Fördermittel	68
	2.1 Digitale Dienstleistungen	18		3.2 Quellen und Ressourcen	73
	2.2 Rechenzentren	26			
	2.3 Netzwerke	33			
	2.4 Hardware	39			
	2.5 Software	47			
	2.6 Künstliche Intelligenz	54			

1 | EINFÜHRUNG

Warum grüne IT?

VORTEILE	NUTZEN FÜR UNTERNEHMEN	NUTZEN FÜR GESELLSCHAFT UND UMWELT	BEISPIEL AUS DER PRAXIS
Kosteneinsparung	Geringere Energie- und Hardwarekosten	Geringerer Ressourcenverbrauch und geringere Abhängigkeit von Ressourcenimporten ^A	Die Bundesagentur für Arbeit (BA) spart durch Grüne IT-Maßnahmen jährlich 12 000 MWh an Strom ein, was 1,68 Mio. Euro und 19 000 t CO ₂ e entspricht ^B . Eine Fallstudie aus dem Jahr 2013 ermittelt Energieeinsparungspotenziale von 87 % bei der Umstellung aller US Unternehmenssoftware auf Cloud-Betrieb ^C .
Imagegewinn	Besseres Standing bei Kund*innen & Partner*innen	Vorbildfunktion, mehr Glaubwürdigkeit	Nachhaltigkeit lässt sich heute gezielt sichtbar machen – etwa durch Ratings wie das CDP^D oder durch Auszeichnungen wie den Deutschen Nachhaltigkeitspreis (DNP)^E . Gleichzeitig zeigt der zunehmende Erfolg von Firmen mit nachhaltigen Unternehmenskonzepten, dass nachhaltige Geschäftsmodelle am Markt gut ankommen und das Unternehmensimage deutlich stärken können.
Compliance	Erfüllung von Reporting-Pflichten	Beitrag zur Erreichung von Klimazielen & Umweltschutz	Die Deutsche Bahn erfüllte ihre Berichtspflichten nach ESG-Kriterien u. a. durch CO ₂ -optimierte IT-Beschaffung und ein Monitoring ihrer Rechenzentren ^F . So sanken die Emissionen im Scope-3-Bereich (Beinhaltet die Scope-3-Kategorien 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 und 3.11.) in 2024 um 17 % im Vergleich zu 2019 ^G .

Warum grüne IT?

VORTEILE	NUTZEN FÜR UNTERNEHMEN	NUTZEN FÜR GESELLSCHAFT UND UMWELT	BEISPIEL AUS DER PRAXIS
Innovation	Neue Geschäftsmodelle, Zukunftssicherheit, resilientere Lieferketten	Verbreitung nachhaltiger Technologien	Die Firma Back Market verfolgt das Ziel zu zeigen, dass die Wiederaufbereitung gebrauchter IT-Geräte Ressourcen spart, mehr Unabhängigkeit von Hardware-Importen erlaubt und wirtschaftlich erfolgreich sein kann ^A . Ecosia betreibt seine Server mit 100 % Ökostrom und ist durch Aufforstung CO ₂ -negativ – ein Beleg dafür, dass grüne IT auch die Basis für innovative Geschäftsmodelle sein kann ^{B, C} .
Attraktivität als Arbeitgeber	Gewinnung motivierter Fachkräfte	Stärkung gesellschaftlicher Werte	Laut Stepstone ist Nachhaltigkeit für 66 % der Beschäftigten wichtig – 40 % würden den Job wechseln, wenn ihr Arbeitgeber umweltschädlich handelt ^D . Auch laut ManpowerGroup schließen 68 % der Arbeitnehmenden Unternehmen mit schlechter Umweltbilanz aus ^E .

Vorstellung des Leitfadens

ZIELE Dieser Leitfaden soll interessierten Akteuren (z.B. in öffentlichen Institutionen, Forschungsprojekten und Unternehmen) dabei helfen, sich mit den Themen „**Grüne Informations- und Kommunikationstechnologien**“, hier „**Grüne IT**“, sowie „**Grüne Künstliche Intelligenz**“, hier „**Grüne KI**“, auseinanderzusetzen.

Er soll Lesenden Handlungsempfehlungen aufzeigen, um **digitale Systeme umweltfreundlicher gestalten zu können**. Dabei werden **fünf Komponenten digitaler Systeme** berücksichtigt: digitale Dienstleistungen, Netzwerke, Rechenzentren, Hardware und Software. Anschließend wird das Feld „Grüne KI“ in einem Exkurs gesondert betrachtet.

Der **Mehrwert** des Leitfadens besteht darin, einen **soziotechnischen, systemübergreifenden Blick** auf Grüne IT zu eröffnen und somit das Nachdenken – etwa über Abhängigkeiten zwischen Geschäftsmodell, Hard- und Softwareanforderungen und ökologischen Kriterien – anzuregen. Eine **umfangreiche Quellensammlung** ermöglicht eine individuelle Vertiefung der vorgestellten Themengebiete.

GELTUNGS- BEREICH UND LIMITA- TIONEN

Wir geben einen Überblick zu verschiedenen Aspekten ökologisch nachhaltig gestalteter IT in verschiedenen Komponenten des digitalen Systems. Es werden die von den Autor*innen als am relevantesten erachteten Maßnahmen und Indikatoren genannt.

Der Leitfaden erhebt insofern keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im individuellen Anwendungskontext sollte abgewogen werden, welche Maßnahmen a) **im finanziellen und personellen Rahmen als umsetzbar** und b) als **ökologisch einflussreich** (hohes Vermeidungspotenzial) betrachtet werden. Die Maßnahmen sollten idealerweise in ein übergreifendes Nachhaltigkeitsmanagement, z.B. nach dem Umweltmanagementsystem **EMAS** oder nach Standards wie **ISO 50001 und ISO 14001**, eingebettet sein.

Zielgruppen

Die Handlungsempfehlungen und die zugehörigen Indikatoren differenzieren zwischen den folgenden **Zielgruppen**:

ZIEL-GRUPPEN

- **Bereitstellende/Herstellende**
(z.B. Anbieter*innen von Kommunikationsnetzwerken, Entwickler*innen),
- **Beschaffende**
(z.B. Einkäufer*innen von IT-Hardware und -Software in Unternehmen, Investor*innen),
- **Nutzende**
(z.B. IT-Fachpersonal, IT-Nutzer*innen in Unternehmen),
- **Politische Entscheidungstragende**
(z.B. Abgeordnete, Behördenmitarbeitende).

ANWENDUNGSBEISPIEL:

Eine Nachhaltigkeitsmanagerin kann Ansatzpunkte für die Abschätzung und Reduktion von Treibhausgas-Emissionen in der Planungs- und Entwicklungsphase einer digitalen Dienstleistung entwickeln.

Die Empfehlungen müssen je nach gewünschtem Umfang der Umsetzung des Themas Grüne IT jeweils von **unterschiedlichen Akteur*innen in der Organisation** umgesetzt werden.

Ein möglicher Ansatz zum Zusammenbringen der nötigen Kompetenzen könnte die **Gründung einer internen Task Force „Grüne IT“** sein, die Expertise in den Teilbereichen digitaler Systeme, wie z.B. Hardwarebeschaffung und Softwareentwicklung mitbringt, und kontinuierlich Kompetenzen in der Umsetzung Grüner IT aufbaut. Ein weiterer Ansatz könnte das Hinzuziehen von externen Nachhaltigkeitsexpert*innen sein.

IT als digitales System

IT betrachten wir in diesem Leitfaden als digitales System verschiedener Technologie-Komponenten, die im Zusammenspiel die Erfüllung des Zwecks des digitalen Systems (z.B. Datenerfassung und –auswertung) ermöglichen.



Digitale Dienstleistung: Nutzen, der einem Menschen von einer Software, ggf. über ein Netzwerk, zur Verfügung gestellt wird, z.B. eine Smartphone-App oder ein Videostream über einen Browser oder Client.



Software: Betriebssystem, Middleware, Anwendungssoftware, kundenspezifische Software (speziell für die Nutzer*innen entwickelt), u.a.



Netzwerk: Übertragungswege, Switches, Modems, Routers, Antennen, Terminals, Booster, Notstromversorgung, Strom- und Kälte- Infrastruktur, u.a.



Hardware: Endgeräte (Smartphones, Laptops, etc.) Office-IT, (Monitore, Drucker, etc.), Industrie 4.0 (Sensorik, Robotik), u.a.



Rechenzentrum: Server, Speichermedien, Schaltanlagen, Telekommunikationsequipment, Beleuchtung, Strom- und Kälteinfrastruktur, u.a.

Diese Komponenten sind bei der Betrachtung eines verteilten digitalen Systems nicht zwangsläufig hierarchisch aufeinander aufbauend, sondern auch parallel oder in Reihe.

Außerdem erfordert z. B. der Betrieb von Netzwerken und Rechenzentren den Einsatz von Hardware-Software-Kombinationen.

Umweltauswirkungen von IT

UMWELTAUSWIRKUNGEN VON IT

„Grüne“ IT definieren wir in diesem Leitfaden als im Hinblick auf ihre **Umweltauswirkungen** verbesserte bzw. optimierte **digitale Systeme**.

Als Umweltauswirkungen von IT betrachten wir **Wirkungen, die direkt oder indirekt durch digitale Systeme auf die umgebenden Mensch-/ Umwelt-Systeme** ausgeübt werden (*siehe Abb. 4, Folie 15*).

Direkte Effekte entstehen entlang des **Lebenszyklus** von IT-Komponenten (Herstellung, Nutzung, Lebensende bzw. Wiederverwendung) und umfassen in diesem Leitfaden primär **Energieverbrauch, Treibhausgas (THG)-Emissionen, Materialverbräuche, Abfallproduktion bzw. Potenzial der Zirkularität, Wassernutzung und Landnutzung durch digitale Systeme**.

Indirekte Effekte entstehen beim **Einsatz von digitalen Systemen in anderen Wirtschaftssektoren** und können positiv und negativ ausfallen, z.B. durch IT-unterstütztes Recycling (positiver Effekt auf die Umwelt) oder beschleunigten Konsum durch E-Commerce-Angebote (negativer Effekt auf die Umwelt)^{A, B}.

SYSTEMBESCHREIBUNG ALS ZUGANG ZU GRÜNER IT UND KI

In jedem Anwendungskontext sehen digitale Systeme anders aus. Daher können die effektiven Maßnahmen für grüne digitale Systeme variieren. Wir empfehlen daher, sich Grüner IT und KI entlang der **Beschreibung digitaler Systeme** anzunähern.

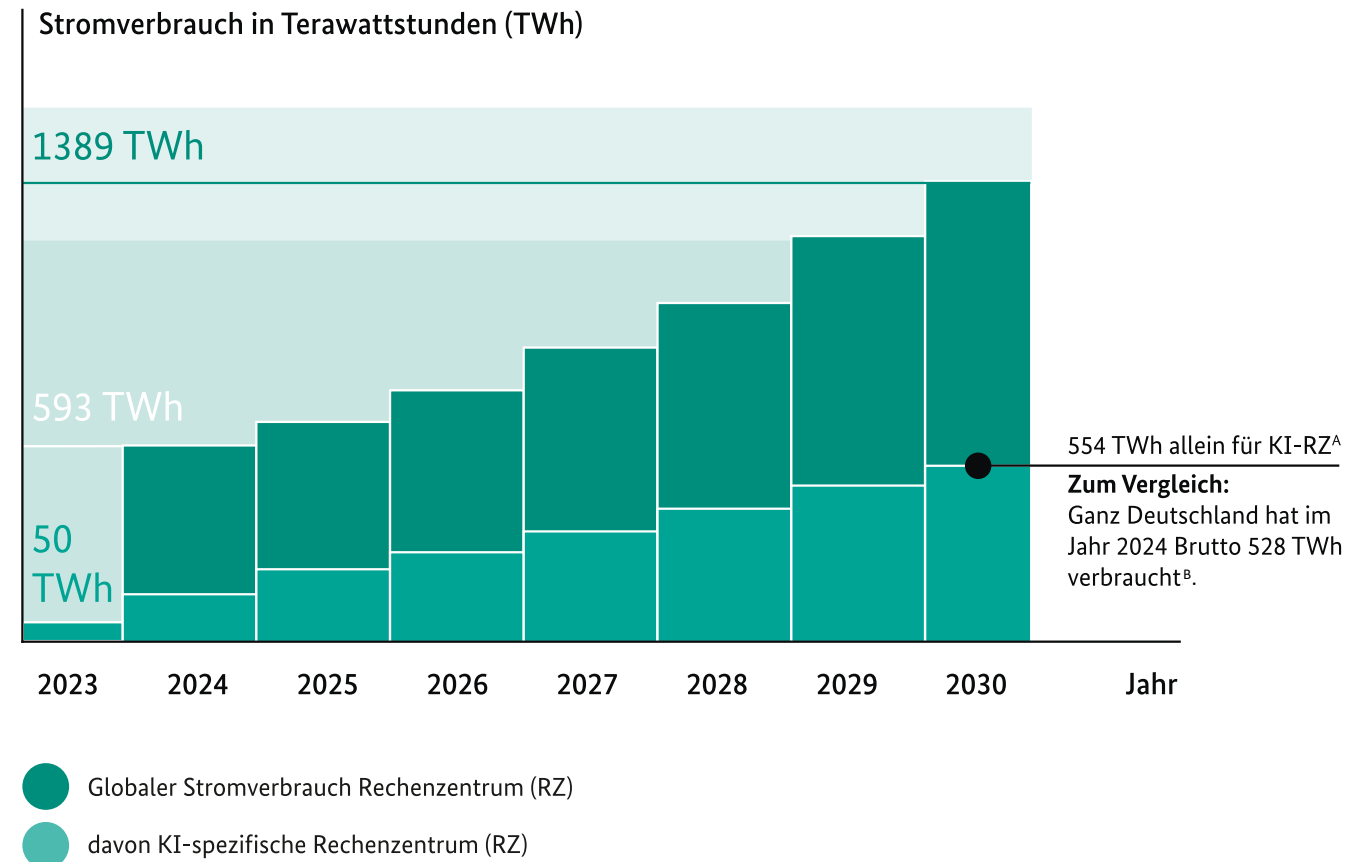
Startpunkt kann z.B. die Beschreibung einer beispielhaften digitalen Dienstleistung im betrachteten Anwendungskontext (z.B. ein zu entwickelndes Software-Tool in einem Forschungsprojekt) sein. Von diesem Punkt ausgehend kann die **„Wirkkette“ der digitalen Dienstleistung** entlang der verschiedenen **Komponenten und Lebenszyklusphasen** des digitalen Systems verfolgt werden. Diese Beschreibung hilft, **Akteure und Handlungsempfehlungen zu identifizieren**, um das gesamte digitale System grüner zu gestalten.

Stromverbrauch von Rechenzentren weltweit

Wie relevant der Einfluss von IT und auch spezifisch von KI auf die Umwelt sind, zeigen u.a. die auf den folgenden Folien dargestellten Daten.

STROMVERBRAUCH

Aufgrund des zunehmenden Bedarfs an Rechenzentren, insbesondere durch die rasante Verbreitung von KI, steigt deren Stromverbrauch weiter an. Prognostiziert wird, dass Rechenzentren in 2030 bis zu 3 % des weltweiten Stromverbrauchs ausmachen könnten (siehe Abb. 1)^A.

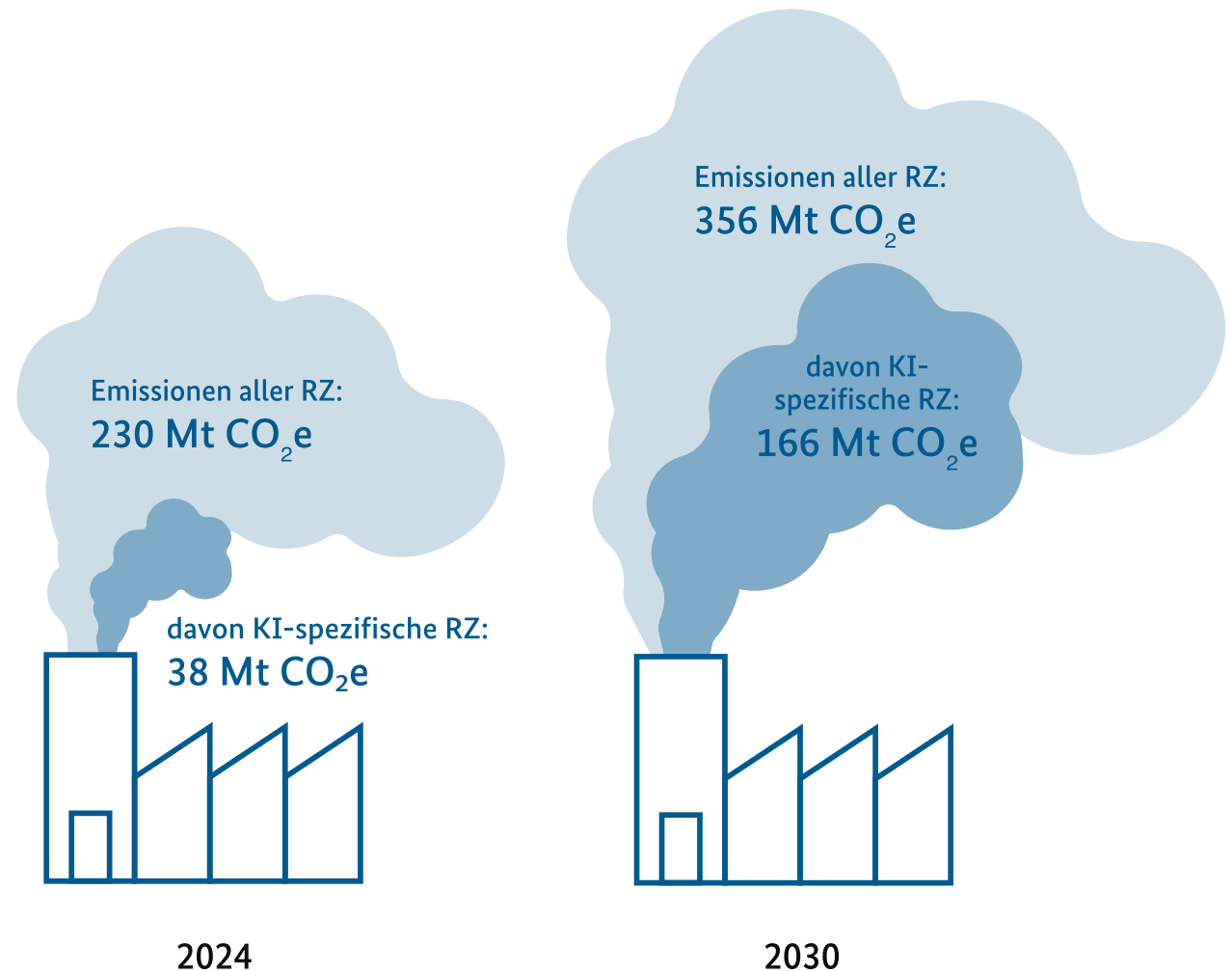


Treibhausgasemissionen von Rechenzentren

TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Treibhausgasemissionen von Rechenzentren entstehen überwiegend durch ihren Stromverbrauch, also in Scope 2. Dabei sind die Höhe des Stromverbrauchs sowie die CO₂-Äquivalent-Intensität des jeweiligen Strommix ausschlaggebend für die durch Rechenzentren verursachten Emissionen^A.

Die in *Abb. 2* dargestellten Emissionen gehen von der Erreichung der weltweiten Klimaziele im Energiesektor bis 2040 aus^A. Trotz eines prognostizierten Anstiegs des Stromverbrauch von Rechenzentren zwischen 2024 und 2030 um 100 %, würden so ihre Emissionen um etwa 55 % steigen. KI-spezifische Emissionen von Rechenzentren würden jedoch zeitgleich um mehr als 400 % steigen^A.



Wasserverbrauch für KI weltweit

WASSERVERBRAUCH FÜR KI

KI-Nutzung verbraucht auch Wasser – unter anderem durch die Kühlung von Rechenzentren und Chip-Herstellung.

Basierend auf dem Wasserfußabdruck (inkl. Konsum an importierten Waren wie Kleidung und Lebensmittel) beträgt der weltweite Wasserverbrauch in 2023 (*siehe Abb. 3*) soviel wie z.B. eine deutsche Stadt mit 66 Tsd. Einwohnern im Jahr verbraucht, z.B. Celle (Niedersachsen).

Wird der direkte Verbrauch an Trinkwasser der Haushalte betrachtet, entspricht der weltweite Wasserverbrauch in 2023 (*siehe Abb. 3*) von KI in etwa dem Wasserverbrauch Berlins im Jahr 2022^{A,B}.

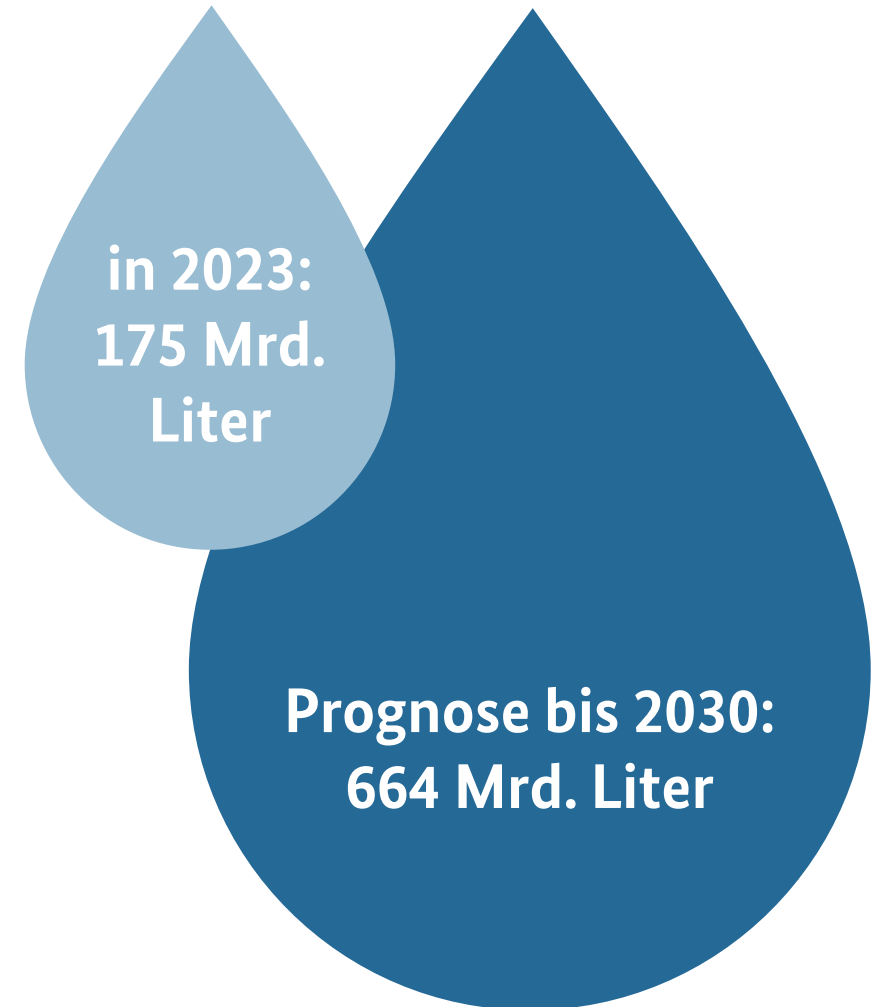


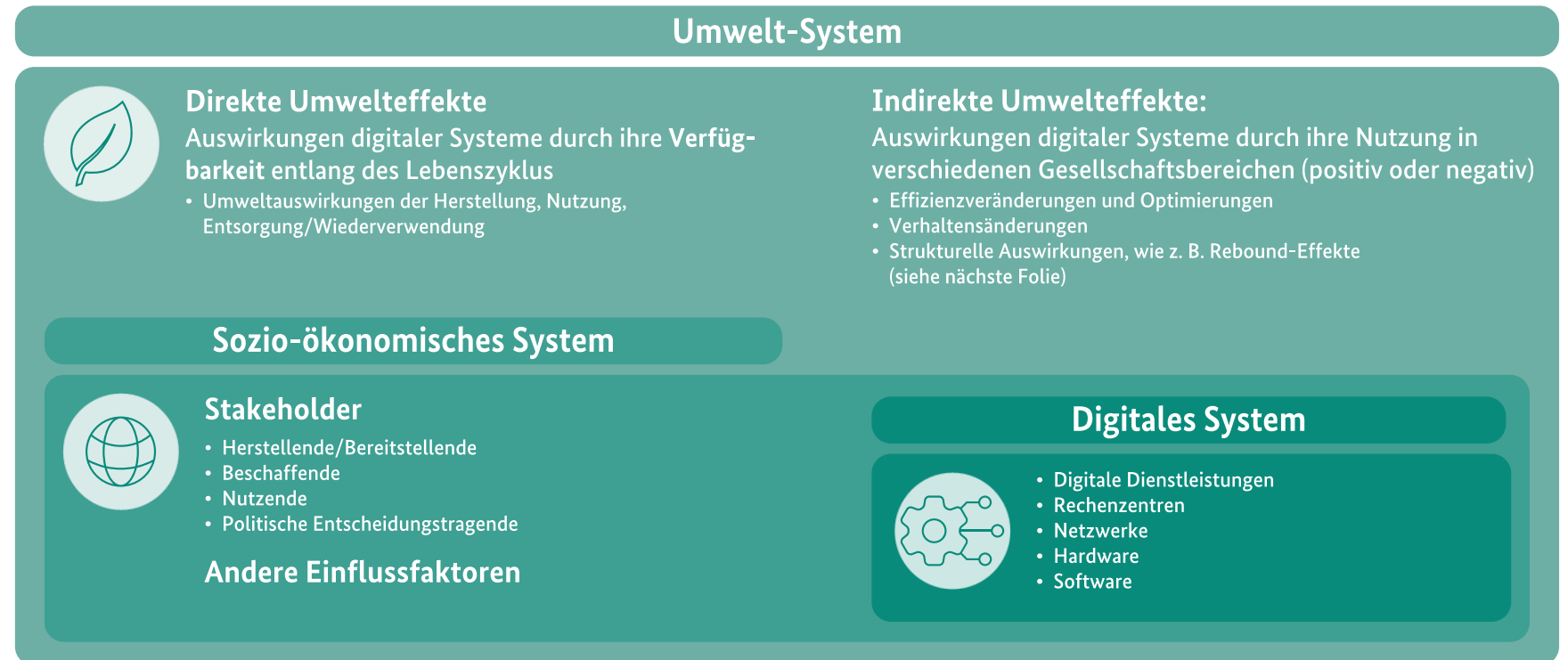
Abb. 3: Eigene Darstellung basierend auf [Gröger et al., 2025](#)

Quellen: A) [UBA, 2024](#), B) [Gröger et al., 2025](#)

Das digitale System im Umwelt-System

Das **digitale System** ist in das **sozio-ökonomische System** eingebettet und interagiert mit diesem. Dieses System ist Teil des **Umwelt-Systems** (siehe Abb. 4). Dort entfalten sich direkte und indirekte Umwelteffekte von IT. Die Systeme interagieren miteinander. Eine isolierte Betrachtung des digitalen Systems wäre daher unvollständig.

Dagegen erlaubt eine integrierte Perspektive auf technologische Innovationen, ihre Nutzung und ihre Umweltauswirkungen es, Wirkungsketten zu erkennen, einflussreiche Akteure zu identifizieren und effektive Maßnahmen für grünere digitale Systeme zu ergreifen.



Indirekte Effekte – der Rebound-Effekt

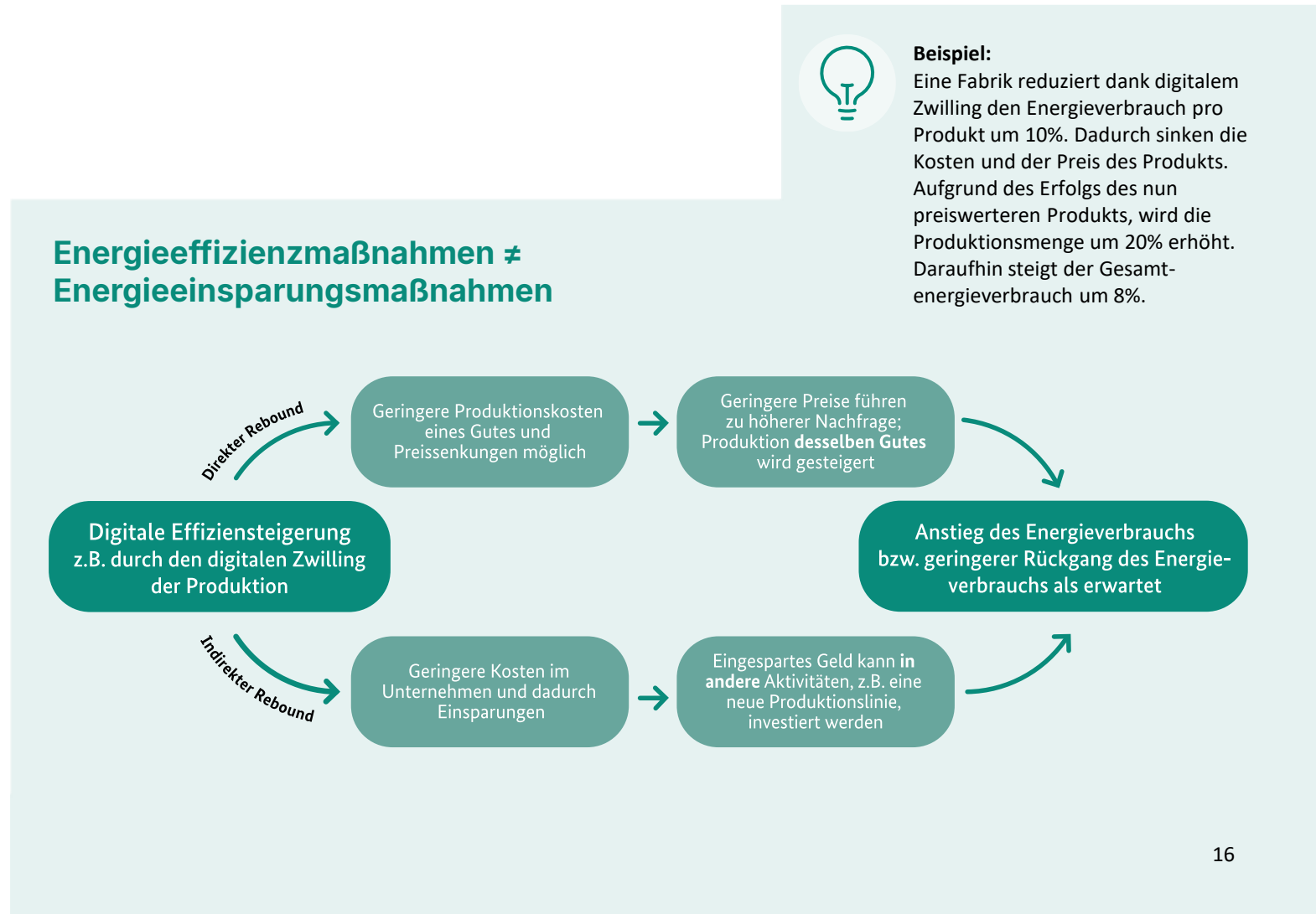
REBOUND-EFFEKT

Je energieeffizienter digitale Systeme bzw. ihre Komponenten (Hardware, Software, Rechenleistung) werden, desto tiefer sinkt (i.d.R.) ihr Preis. Entsprechend der marktwirtschaftlichen Logik von Angebot, Nachfrage und Preis werden diese **günstigeren Komponenten stärker eingesetzt**. So kann ein energieeffizienteres System dazu führen, dass der **absolute Energieverbrauch** weniger stark sinkt als erwartet oder sogar **zunimmt** (siehe Abb. 5). Ein prominentes Beispiel dafür sind immer effizientere Grafikkarten, die zu einer steigenden Nachfrage nach Rechenleistung für KI beigetragen haben^A.

Auch in anderen Sektoren kann die Digitalisierung für Effizienzsteigerungen und Rebound-Effekte sorgen, z.B. durch einen digitalen Zwilling von Produktionsprozessen (siehe Abb. 5).

Kurz gesagt: **Effizienzgewinne können durch günstigere Preise und daher höhere Nachfrage und Produktion (teilweise) vereitelt werden.**

Abb. 5: Eigene Abbildung zum Rebound-Effekt von digitalen Zwillingen. Studien zum Thema Rebound z.B. [Kunkel & Tyfield, 2021](#), [Brockway et al., 2021](#)
Quellen: A) [Luccioni et al., 2025](#)



2 | HANDLUNGSFELDER

2.1 | DIGITALE DIENSTLEISTUNGEN



Bereitstellende

MAßNAHMEN UND ZIELE

1. Direkte Umwelteffekte der digitalen Dienstleistung optimieren und transparent machen.



Direkte Umwelteffekte entstehen entlang des Lebenszyklus von IT-Komponenten (Herstellung, Nutzung, Lebensende bzw. Wiederverwendung) und umfassen hier primär Energieverbrauch, Treibhausgas (THG)-Emissionen, Materialverbräuche, Abfallproduktion, Wassernutzung und Landnutzung durch digitale Systeme.

- Umwelteffekte entlang des Lebenszyklus des zugrundeliegenden digitalen Systems erfassen und sichtbar machen (z.B. indem digitale Dienstleistungen ihre eigenen ökologischen Auswirkungen mittels eines Energie-Dashboards der Entwickler*in/Nutzer*in zeigen)^A.
- *Siehe dazu auch Folien zu Software, Hardware, Netzwerk und Rechenzentren.*

INDIKATOREN

- **Direkt: Digitale Arbeit** einer funktionalen Einheit, um z.B. CO₂-Emissionen von einer Stunde Streaming zu berechnen, etwa mittels des Video-Streaming Rechners aus dem Projekt „Green Streaming“^B oder mittels des Kalkulationswerkzeugs aus dem Projekt „ECO:DIGIT“^C (*siehe auch Praxisbeispiel*)
 - **CPU:** GHz*bit*s, **RAM:** GB*s, Speicher: GB*s, **Netz:** Mbit/s*s, je beanspruchte Hardware im digitalen System
 - Berechnung des jeweiligen Anteils an der Ökobilanz der Komponenten für die benötigte digitale Arbeit, z.B.
 - Energieverbrauch / Energiekennzahlen der Komponenten und Emissionsfaktoren für elektrische Energie (international aufgeschlüsselt)^D
 - Enthaltene Giftstoffe, z.B. gemäß der RoHS-Richtlinie (*siehe Kapitel 3.1*)
 - Für Hardware benötigter Rohstoff- und Wassereinsatz
 - Summe über alle Komponenten des digitalen Systems.



Bereitstellende

MAßNAHMEN UND ZIELE

2. Indirekte Umwelteffekte, die durch die Nutzung von digitalen Dienstleistungen (dDL) entstehen, schon beim Produktdesign digitaler Dienstleistungen abschätzen und optimieren^{A, B}. Mögliche Fragen:

- Wofür soll meine geplante dDL eingesetzt werden und was ist mein Geschäftsmodell?
- Wie verändert meine dDL das Nutzer*innenverhalten und das Verhalten meiner Geschäftspartner*innen (z.B. Zulieferer) bei großen Nutzungszahlen und über die Zeit?
- Wie wirken sich diese Veränderungen auf die Umweltauswirkungen, z.B. den Rohstoff- und Energieverbrauch, der dDL aus? Wenn z.B. viele Nutzer*innen den gleichen Dienst nutzen, wirken sich kleine Einsparungen oder Mehrverbräuche pro Service-Einheit stark aus.
- Wie kann meine dDL Nutzer*innen helfen, ökologisch vorteilhaftere Entscheidungen zu treffen? Welche ökologischen Einsparungen / Mehraufwände erwarte ich durch die Nutzung meiner dDL?

Bewusstseinsbildung anregen und Entscheidungshilfe direkt in der Anwendung bereitstellen:

- DDL veranschaulichen verschiedene ökologisch relevante Entscheidungsoptionen für die Nutzer*in (z.B. Optionen für CO₂-optimierte Routenplanung oder ökologischere Kaufentscheidungen).

INDIKATOREN

- **Indirekt:** Qualitative oder quantitative Abschätzungen über den **erwarteten Umweltschaden und -nutzen (Nettoeffekt)** der angebotenen digitalen Dienstleistung, z.B. gemäß der ITU L.1480^C
 - Baseline-Methode: Änderungen werden bezüglich eines Referenzwertes (der Baseline) gemessen.
 - Modellierung und Simulation: Entwicklung verschiedener Nutzungsszenarien digitaler Technologien in Teilsystemen unter Berücksichtigung von indirekten Effekten wie Reboundeffekten: z.B. traditionelle gegenüber intelligenten Verkehrssystemen und Auswirkungen auf Emissionen und das Mobilitätsverhalten^{D, E}.



Beschaffende / Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Digitale Dienstleistungen zur Erreichung von ökologischen Zielen nutzen

- Direkte Umwelteffekte digitaler Dienstleistungen im Betrieb reduzieren.
- Digitale Dienstleistungen zur Umsetzung ökologischer Ziele in der Organisation nutzen (indirekte Auswirkungen optimieren), z.B. Monitoring von CO₂ -Emissionen entlang der Lieferkette; Umsetzung eines datenbasierten Umweltmanagementsystems sowie (teil-) automatisiertes Demand Side Management – also der intelligenten Steuerung und zeitlichen Verschiebung von Energieverbräuchen, z.B. in Abhängigkeit von Nachfrage oder der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien^A.

Angemessenheit der digitalen Dienstleistungen prüfen

- Die sparsamsten digitalen Dienstleistungen, die für das jeweilige Problem angemessen sind, anwenden.
- Bewusstseinsbildung bei Mitarbeitenden befördern^B.

INDIKATOREN

- **Direkte Umwelteffekte:** Gesamtenergieverbrauch und -kosten der IT-Infrastruktur im Unternehmen (Weitere Indikatoren auf den Folien zu Software, Hardware, Netzwerk und Rechenzentren)
- **Indirekte Umwelteffekte:** Ermöglichte und verhinderte Umwelteffekt digitaler Dienstleistung abschätzen
 - Technikfolgenabschätzung und Vorsorgeprinzip
 - „Impact/Ethical Statements“ z.B. im Rahmen von Nachhaltigkeits-Berichten und Forschungsprojekten
 - Verantwortungsbewusste F&E

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Verpflichtendes Reporting** über direkte und indirekte Umweltauswirkungen von digitalen Dienstleistungen einführen (positiv und negativ). Zu diesem Zweck **alle Schnittstellen im digitalen System** (von Produzent*innen über Rechenzentren und Netzwerk bis zum Endgerät) dazu verpflichten, ihre Umweltauswirkungen automatisch und maschinenlesbar an die Endgeräte zu kommunizieren.
- **Digitaler Produktpass (DPP) mit Umweltauswirkungen** für digitale Dienstleistungen im Rahmen der Verordnung für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (ESPR, *siehe Kapitel 3.1*) einführen, wie zum Beispiel mit dem Batterie-Pass^A.
- **Stärkere Aufklärungsarbeit bei Nutzer*innen** zu Auswirkungen digitaler Dienstleistungen leisten, z.B. durch Mittel der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE).

INDIKATOREN

- Energie- und Ressourcenverbrauch des gesamten IT-Sektors entlang der Lieferkette pro Jahr, z.B. unter Nutzung von Input-Output-Analysen^B.
- Ausgestaltung der DPP-Verordnung und Standards für den DPP (Stand 2025: Diverse Stakeholder-Prozesse zur Definition des DPP im Gang, z.B. GS1, ZVEI/DIN)
 - Diskutiert wird noch, welche Umweltindikatoren im Detail im DPP erscheinen sollen, z.B. wo genau der Lebenszyklus endet, oder ob der Anteil kritischer Rohstoffe angegeben werden soll.

Praxisbeispiel 1

Messung von Ressourcenverbräuchen Digitaler Dienstleistungen

ECO  DIGIT

Das Projekt **ECO:DIGIT**, Teil des Förderprogramms **GreenTech Innovationswettbewerb**, entwickelt eine Plattform, die es ermöglicht, den Ressourcenverbrauch und die CO₂e-Emissionen (direkte Auswirkungen) digitaler Dienstleistungen transparenter und standardisiert zu bewerten^A (siehe Abb. 6, folgende Folie).

ZIELE:

- Entwicklung einer **Simulationsumgebung zum Test von Software** auf virtualisierten Hardware-Plattformen.
- Aus den Testergebnissen können u.a. **eine Optimierung der Soft- und Hardware-Infrastruktur** im Hinblick auf deren Umweltwirkungen entlang des Lebenszyklus (Herstellung, Nutzung, Lebensende) abgeleitet werden.
- Einige berücksichtigte Umweltindikatoren/-kategorien: Kumulierter Energiebedarf, Abiotischer Ressourcenverbrauch, Wasserverbrauch und Elektronikschrottmenge.

DATENQUELLEN:

- **Hardware** (je Hardware-Plattform):
Herstellungsaufwand: Materialliste (BOM) und Einsatz problematischer Stoffe, Nutzungsphase: Energieverbrauch, Nutzung problematischer Stoffe, Technische Lebensdauer, Entsorgung: Elektroschrott.
- **Digitale Basisressourcen:** Performance-Kennzahlen und durchschnittliche Auslastung.
- **Plattform-Profil:** Datensatz zur Beschreibung der Plattform;
Aufwand: Umweltwirkungen z.B. CO₂ -Äquivalente der jeweiligen Hardware-Plattform <-> Nutzen der Plattform; Aufwand / Nutzen = Effort-Benefit-Ratio (EBR) für die betrachteten Umweltindikatoren.
- **Software:** Virtualisierte Hardware-Plattformen, Ausführung eines Standardnutzungsszenarios oder Dauerbetrieb, Logging-Tools zur Aufzeichnung der von der Software genutzten digitalen Arbeit (DW), Umweltwirkung ergibt sich aus der Multiplikation der Effort-Benefit-Ratio und der digitalen Arbeit (EBR * DW).

Praxisbeispiel 1

Messung von Ressourcenverbräuchen Digitaler Dienstleistungen

ECO DIGIT

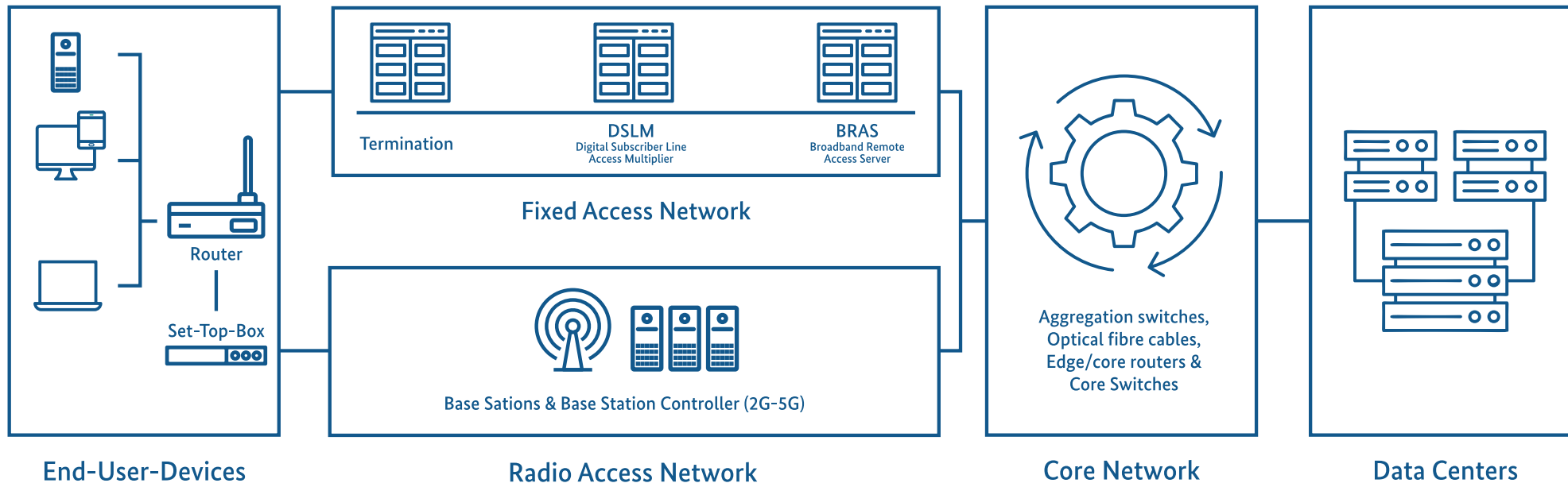


Abb. 6: Schematische Darstellung verschiedener Komponenten eines digitalen Systems zur Bereitstellung von Web-Anwendungen.
Quelle: [Gröger et al, 2024](#), S.2, Ökobilanz digitaler Dienstleistungen: Methodik zur Bestimmung der Umweltwirkungen von Software, Cloud-Services und anderen digitalen Diensten in verteilten IT-Infrastrukturen, Methodenskizze, Oeko-Institut.

Praxisbeispiel 2

Digitale Dienstleistungen zur Dokumentation von Umweltwirkungen entlang der Lieferkette



Ein Großteil der Umweltauswirkungen vieler Unternehmen entsteht entlang der Lieferkette (Scope 3), entweder „upstream“ bei Lieferanten oder „downstream“ bei Kunden. So entstehen z.B. bei Microsoft 97% der Emissionen in Scope 3^A.

Digitale Technologien bieten verschiedene Möglichkeiten, diese Umweltauswirkungen besser zu dokumentieren und zu verstehen. Zum Beispiel bieten einige Unternehmen die Dienstleistung an, sich mithilfe eines KI-Sprachmodells über Nachhaltigkeits-Regulierungen in verschiedenen Unternehmensprozessen zu informieren und diese im eigenen Unternehmen umzusetzen.

Auch bieten spezialisierte Software-Tools von Firmen wie SAP oder IBM, die in Unternehmensressourcenplanungs-Systeme (ERP) integriert werden können, die Möglichkeit, CO₂-Emissionen entlang der Lieferkette zu analysieren und Optimierungspotenziale aufzudecken.

2.2 | RECHENZENTREN

Rechenzentrumsbetreiber

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Zertifizierung** nach Umweltzeichen Blauer Engel für Rechenzentren anstreben.
- **Eigene EEG-Kapazitäten** (PV, Wind, Fernwärme) ausbauen und ggf. zusätzlich Verträge mit regionalen **EEG-Anbietern** abschließen.
- **Abwärme** maximal nutzen oder in Fernwärmesysteme integrieren.
- Tradeoffs zwischen **Performance, Energieeffizienz und Hardwarelebenszyklus abwägen**: Energieeffizienz eigener digitaler Infrastruktur erhöhen, z.B. durch Virtualisierung und Serverkonsolidierung; dabei jedoch Hardwarelebenszyklus berücksichtigen, da in der Regel die größten Umweltauswirkungen in der Herstellung entstehen.
- Redundanzen so weit wie möglich verringern, und Hardware möglichst nicht nach Ablauf der Gewährleistung entsorgen, sondern Weiternutzung prüfen (weitere Informationen auf den Folien zur Komponente „Hardware“).

INDIKATOREN

- Blauer Engel für Rechenzentren (DE-UZ₂₂₈)^A, sowie Blauer Engel für Server und Datenspeicherprodukte (DE-UZ 213)^B
- Energieverbrauch (EV) = EV IT-Equipment + EV Kühlung + EV Rechenleistung
- Wasserverbrauch für Kühlung
- THG-Emissionen Energieverbrauch x Carbon Intensity Forecast (g CO₂e pro kWh)
- On-Site Energy Fraction (OEF)
- Anteil Erneuerbarer Energien:: Renewable Energy Factor (REF) (EN 50600-4-3)
- Power Usage Effectiveness (PUE): Gesamt-EV des Rechenzentrums / EV des IT-Equipments. Zielwert ab 2030: $PUE \leq 1.3$ laut EnEfG (*siehe Kapitel 3.1*)
- Hardwarebedarf
- Materialverbrauch
- Landnutzung
- Abfall/E-Waste
- Auslastung der Rechenzentren
- Weitere Indikatoren siehe: Dashboard EAVE^C, Projekt ESCADE^D
- Umfangreiche Normung siehe z.B.: EN50600-Serie, ISO/IEC-30314-Serie

Rechenzentrumsbetreiber

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Effizienz der Serverkühlung** überprüfen (z.B. nur so kalt wie nötig; „Rechenzentrumsschnupfen“ verhindern), Heißflüssigkeits-Direktkühlung der Server anstreben, Rechenzentren-Klimatisierung mit trockener Rückkühlung, halogenfrei und bevorzugt mit natürlichen Kältemitteln anstreben.
- **Wassernutzung verringern** und Wiederverwendung von Wasser optimieren, idealerweise durch geschlossenen Wasserkreislauf.
- **Flächeneffiziente Rechenzentren** und Ausgleichsflächen schaffen, z.B. Rechenzentren in Windkraftanlagen bauen.
- Umweltdaten von Rechenzentren für Beschaffende, Nutzende und politische Entscheidungstragende messen und bereitstellen.
- Für **Energieeffizienz** siehe auch Abschlussbericht des UBA zu Bewertungssystem für energieeffiziente Rechenzentren^A, mit kommenden gesetzlichen Vorgaben z.B. zu PUE und Wiederverwendung von Energie.

INDIKATOREN

- Product Environmental Footprint der Hardware (*siehe Folie zur Komponente „Hardware“*)
- Verschleiß von/Investition in Hardware
- Land Usage Effectiveness
- Water Usage Effectiveness (WUE)
- Weitere Indikatoren können z.B. dem Simulator EAVE^B aus dem GreenTech-Projekt ESCADE oder KPI4DCE 2.0 des UBA (Kennzahlensystem zur umfassenden Beurteilung der Energie- und Ressourceneffizienz von Rechenzentren)^C entnommen werden.

Beschaffende / Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Rechenzentren-Anbieter wählen, die Nachhaltigkeitskriterien berücksichtigen.
- Hinweis für die Wahl des Anbieters: Große Cloud-Anbieter erreichen aktuell höhere Effizienzen, stehen aber möglicherweise im Gegensatz zu Souveränitätserwägungen.
- Auch die **DIN EN 50600-Reihe als Standard für Sicherheit bei Rechenzentren** berücksichtigen, um so einen geeigneten Rechenzentren-Betreiber zu finden. Darin werden auch Effizienz-Bestimmungen aufgestellt.
- Entscheidungsunterstützungssystem zur **Analyse und Optimierung von Hardwarekonfigurationen**, KI-Modellen und KI-Anwendungsfällen in Rechenzentren nutzen → z.B. Flowchart entwickeln, welches auf Basis von Nachhaltigkeitskriterien vom Rechenproblem zur Auswahl des Rechenzentrums leitet (z.B. in Hinblick auf Standortwahl, vgl. Projekt „ESCADE“^A).
- Rechenintensive Aufträge z.B. **außerhalb der Geschäftszeiten planen**, um Verbrauchs- und ggf. Kostenspitzen zu vermeiden.
- **Datenmanagement optimieren**, z.B. durch regelmäßiges Löschen unnötiger Daten.
- Server vom Power-Mode in den Balanced-Mode schalten.

INDIKATOREN

- Nachgefragte Rechenleistung aus zertifizierten Rechenzentren z.B. durch Blauer Engel für Rechenzentren (DE-UZ 228)^B
- Power Usage Effectiveness (PUE)
- Anteil Erneuerbarer Energien: Renewable Energy Factor (REF)
- Carbon Usage Effectiveness (CUE)
- Water Usage Effectiveness (WUE)

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Nachhaltigkeitskriterien in der öffentlichen Beschaffung anheben.
- **Elektroschrott bepreisen**, um Hardwaredurchsatz von Rechenzentren zu verringern.
- Den Markt für **Sekundärhardware** stärken.
- Anreize für Betreiber schaffen, sich auch aus ökologischen Gründen **Partner-Rechenzentren** zu suchen, die räumlich entfernt sind. Vorteil, im Hinblick auf Naturgefahren, Unfälle, Sabotage gewappnet zu sein; sowie Möglichkeit, **Redundanzen** zu verringern.
- Nah- und Fernwärme-Integration von Rechenzentren befördern.

INDIKATOREN

- Berücksichtigung der Kriterien des Blauen Engels in Rechenzentren der Bundesverwaltung
- Energiebedarf und Ressourceneinsatz von Rechenzentren in Deutschland
- Sekundärrohstoffeinsatz und Einsparung von Primärrohstoffen in Rechenzentren (gemäß des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms^{A)})

Praxisbeispiel 1

Blauer Engel für Rechenzentren



MAßNAHMEN BEI NEUBAU EINES RZ - BSP. „GREEN IT CUBE“

- Neubau (2014–2015) mit dem Ziel, von Beginn an ein energieeffizientes und ressourcenschonendes Rechenzentrum zu errichten^A.
- Umsetzung innovativer Wasserkühlung statt Luftkühlung, wobei die Kühlung direkt an den Türen der Serverschränke erfolgt^{A, B}.
- Durch die kompakte Bauweise entfällt die Raumluftkühlung, was Platz spart und den Energiebedarf reduziert^{A, B}.
- Dreidimensionale Verkabelung der Racks über sechs Ebenen ermöglicht kurze Signalwege und niedrige Energieverluste^{A, B}.
- Nutzung von 100 % Ökostrom als Energiequelle^{A, B}.
- Wärmerückgewinnung: Die Abwärme des Kühlsystems wird zur Heizung benachbarter Büro- und Kantinenflächen genutzt^{A, B}.
- Optimierte Effizienzwerte: PUE 2024 = 1,06 (sehr effizient), WUE 2024 = 2,07, CER 2024 = 15,7 g CO₂/kWh^{A, B}.
- Zertifiziert mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel für Rechenzentren“ seit 2020, Rezertifizierung 2024^A.

MAßNAHMEN BEI BESTEHENDEM RZ - BSP. BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (BSH)

- Das BSH in Hamburg ist seit 2016 die erste und einzige deutsche Behörde, deren Rechenzentrum mit dem Blauen Engel zertifiziert ist.
- Seit 2015 wurden an dem bestehenden Rechenzentrum des BSH modernisierende, grüne Maßnahmen getroffen, um Ressourcen zu schonen und Energie zu sparen^C. Dazu gehören:
 - Modernisierung der Kältemaschinen
 - Umsetzung unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV)
 - Kaltgangeinhausung
 - Erhöhung der Kaltgangtemperatur
 - Optimierung der Konfiguration der Gebäudeleittechnik
 - Verlagerung der Netzwerkverkabelung aus dem Unterboden auf die Racks^C.
- Dadurch wurde der Energieverbrauch reduziert. Der PUE verbesserte sich von 2,5 auf 1,2. Dies stellte nicht nur einen wichtigen Schritt zu Grüner IT dar, sondern ermöglichte auch Kosteneinsparungen^C.

Praxisbeispiel 2

Energieeffizienz in Rechenzentren



- Energieeffiziente Rechenzentren kombinieren optimierte Hardware, Lastmanagement, Abwärmenutzung und Monitoring, um den Energieverbrauch systematisch zu senken.
- Dabei spielen besonders KI-gestützte Optimierungstools eine wachsende Rolle: Sie überwachen den Energiebedarf, identifizieren ineffiziente Prozesse und leiten daraus Empfehlungen zur Effizienzsteigerung ab.
- Ein Beispiel hierfür ist das **Projekt ESCADE**, das Methoden zur Analyse und Optimierung der Energiebilanz entwickelt. Das daraus hervorgegangene Dashboard **EAVE (Energy Analytics for Cost-Effective & Sustainable Operations)** (siehe Abb. 8) ermöglicht die Auswertung von Energieverbrauch, CO₂-Emissionen und PUE-Werten in Rechenzentren. Es erstellt auf Basis dieser Daten Maßnahmenempfehlungen zur Senkung des Energieverbrauchs und verbessert so die Transparenz und Nachhaltigkeit im Rechenzentrumsbetrieb.
- Solche Analysewerkzeuge tragen dazu bei, die Energieeffizienz von klassischen Rechenzentren ebenso wie von KI-Anwendungen zu steigern und bilden damit einen wichtigen Schritt hin zu einer nachhaltigen digitalen Infrastruktur.

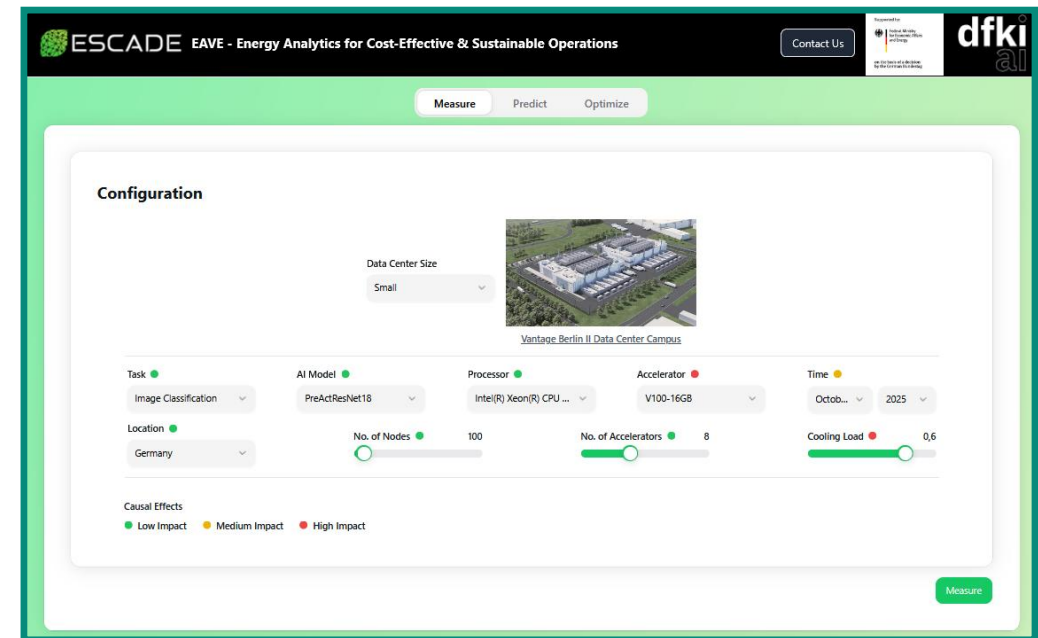


Abb. 8: Screenshot aus der EAVE-Anwendung von ESCADE (DFKI, 2026)

Quellen: [ESCADE, 2026](#), [DFKI, 2026](#)

2.3 | NETZWERKE

Bereitstellende / Herstellende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Energiemanagement:** Energieeffizienz der eigenen digitalen Infrastruktur erhöhen.
- Steuerung der Kühlungssysteme optimieren.
- Optimum von Auslastung und Bereitstellung finden, um Energie-Leerlaufverbrauch zu verringern.
- Transparenz schaffen für Energieverbrauchsäquivalente, bezogen auf durchschnittliche Nutzung für verschiedene Lösungen (Edge/Cloud) der Datenübertragung.
- Netzwerkdienste zentralisieren und virtualisieren ^A.
- Energieversorgungs-Verträge mit regionalen Anbietern erneuerbarer Energie abschließen. Funktürme mit Solar ausstatten und eigene Kapazitäten erneuerbarer Energien ausbauen.
- **Datenmanagement:** Datenverkehr reduzieren, z.B. durch Caching und Komprimierung.
- Datenübertragungs-Effizienz überprüfen und effiziente Übertragungsstandards nutzen.
- **Lebenszyklus der Hardware verlängern:** siehe Folien zur Komponente „Hardware“
- Biodiversität und Landnutzung bei Netzwerk-/Glasfaserausbau berücksichtigen: Bepflanzung hinsichtlich ökologischem Nutzen optimieren, Landnutzung und Versiegelung minimieren.

INDIKATOREN

- Energieverbrauch und THG-Emissionen gesamt und pro übertragener Dateneinheit (Energieintensität)
- Idle Power Ratio
- Verschleiß von und Investition in Hardware
- Biodiversität und Landnutzung: z.B. Flächenverbrauch, Versiegelung, Landnutzungsintensität, Vegetationsperioden; Indikatorensets z.B. durch Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) und Strategische Umweltprüfung (SUP) (siehe Leitfäden des Bundesumweltministeriums) ^B



Beschaffende / Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Informationen beim Anbieter über (o.g.) Nachhaltigkeitsaspekte einholen und Nachhaltigkeits-Zertifizierungen des Unternehmens prüfen, um nachhaltigkeitsorientierte Anbieter priorisieren zu können.
- **Transparenz durch neue Messmethoden** nutzen, um anhand der Messung jeweils sparsamste Lösungen auszuwählen (Mobil/fix, cloud/edge).
- Rechenintensive Aufträge z.B. außerhalb der Geschäftszeiten planen, um Verbrauchs- und ggf. Kostenspitzen zu vermeiden.

INDIKATOREN

- Anzahl der **Zulieferer mit nachgewiesenen Nachhaltigkeitsmaßnahmen** (in Prozent aller Zulieferer)
- Energieverbrauchsäquivalente pro übertragener Dateneinheit

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Alte Technologien wie Global System for Mobile Communication (GSM) abschalten.
- Kooperativen **Ausbau von Glasfaser** einführen und standardisieren, **Umweltkriterien** berücksichtigen.
- Berichtspflichten über Umweltauswirkungen der IT-Netzwerkinfrastruktur kontinuierlich verbessern und Anreize für lange Hardware-Nutzungsdauer schaffen.
- **Umweltstandards** von Netzwerken bei der Beschaffung öffentlicher IT-Infrastruktur berücksichtigen.

INDIKATOREN

- Energieverbrauch der Netzinfrastruktur (kWh/Jahr) und pro übertragener Dateneinheit (kWh/GB)
- Anteil erneuerbarer Energien im Netzbetrieb: : Renewable Energy Factor (REF)
- Austauschzyklen von Hardware (Routern, Antennen, Servern), Recyclingquoten
- Siehe auch Handlungsleitfaden Beschaffung_des IT-Planungsrates^A

Praxisbeispiel

Projekt GreenStreaming



Das Projekt **GreenStreaming**, Teil des Förderprogramms **GreenTech Innovationswettbewerb**, analysiert alle Komponenten der Streaming-Wirkkette (*siehe Abb. 9, nächste Folie*), um den **Energieverbrauch von Streaming-Diensten zu verstehen und zu optimieren**.

ZIELE:

- Bewertung des Energieverbrauchs von einer Stunde Streaming an einem Endgerät unter Einbeziehung der gesamten Streaming-Wirkkette (ab Rohdatei; Filmproduktion explizit ausgeschlossen)
- Bewertung der Dienstleistung eines Streaming-Anbieters über ein Jahr.

DATENQUELLEN:

- Messungen an Endgeräten (WiFi-Router, Smart-TV, Smartphone, Streaming-Stick) bei verschiedenen Einstellungen hinsichtlich z.B. Helligkeit und Datenrate.
- Gesamte übermittelte Datenmenge eines Streaming-Anbieters.
- Messungen des Energieaufwands für Encoding.
- Nachhaltigkeitsberichte (z.B. Telekom zur Bewertung der Emissionen im Netzwerk).
- Eigene Modellierung von Cloud-Dienstleistungen oder CDN-Servern.

Praxisbeispiel

Projekt GreenStreaming

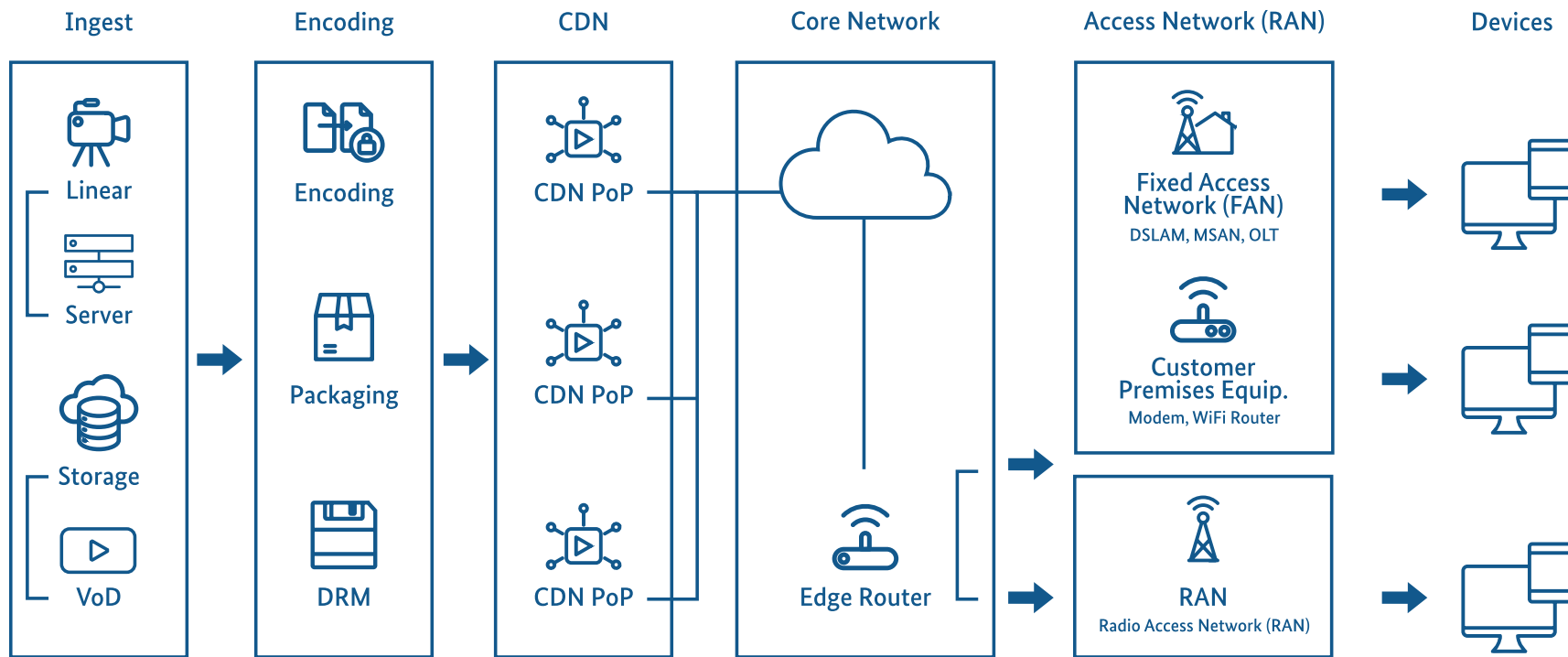


Abb. 9: Die Wirkkette im Videostreaming.

Quellen: [Seeliger et al., 2024](#), S.11, Green Streaming Guidelines on Evaluating the Energy Consumption and Reducing the CO₂ Emissions of Video Streaming, Fraunhofer Fokus.

2.4 | HARDWARE

Bereitstellende / Herstellende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Umweltauswirkungen entlang des Lebenszyklus optimieren:

- **Produktdesign:** Lebenszyklus-Umwelteffekte des Produkts minimieren. Suffizienz, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, Recyclingfähigkeit, Modularität, Langlebigkeit (s.a. „9 R“ Prinzipien^A) als Leitprinzipien anwenden. Öko-Design-Richtlinien^B beachten. **Zertifizierung anstreben**, z.B. Energy Star, Blauer Engel oder TCO^C.
- **Fertigung:** Umweltfreundliche Zulieferer wählen. Energie- und Materialverbräuche reduzieren. Recyceltes, wiederverwendetes oder aufbereitetes Material nutzen. Gefährliche Chemikalien vermeiden (siehe auch RoHS und REACH in Kapitel 3.1).
- **Nutzungsphase:** Daten über Hardware-Energieverbräuche und andere Umwelteffekte Nutzer*innen transparent zur Verfügung stellen. Eco-Modus per Default zur Verfügung stellen. Software-Downgrades auf ältere Hardwareversionen möglichst lange ermöglichen.
- **Lebensende:** bessere Recycling- und Wiederverwendungsmöglichkeiten schaffen, z.B. Rückgabe-Systeme für Hardware und Anreize zur Rückgabe implementieren. **Kreislaufwirtschaft fördern**, z.B. durch Zusammenarbeit mit Recycling-Anbietern.

INDIKATOREN

- Ökobilanzierung nach ISO 14040 und ISO 14044 (Product Environmental Footprint, z.B. Rohmaterialintensität, Wasserentnahmepotential, Landnutzungspotential, Energieverbrauch u.a.)
- Kriterien nach EMAS^D, GRI^E u.v.m.
- Öko-Design-Standards, z.B. Reparierbarkeitsindex^F; seit 2025 produktweise Integration in EU-Energielabel
- Anteil von Recycling-Material
- Anteil recyclingfähiger und nicht recyclingfähiger Bestandteile der Hardware
- Indikatoren aus Zertifizierungen für energieeffiziente Produkte, wie von ENERGY STAR; Blauer Engel, z.B. DE-UZ 78 für Computer Tastaturen, Mäuse mit mindestens 1000 Vollladezyklen eines Akkus; TCO-Label mit Mindestgarantiezeiten und Umweltzertifizierungen von Fabriken nach ISO 14001 (Umweltmanagement) und ISO 50001 (Energiemanagement)^G; EPEAT-Siegel



Beschaffende / Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Lebensdauer von Hardware verlängern, da in der Produktion i.d.R. deutlich höhere Emissionen als in der Nutzungsphase entstehen.

- **Nutzungsdauer von mindestens 6 Jahren**, bis zu 10 Jahre sind oft möglich^A.
- **Wechseln des Geräts für eine höhere Energieeffizienz lohnt sich oft nicht**: Z.B. bei einer zehnprozentigen Energieeffizienzsteigerung des neuen Notebooks im Vergleich zum alten liegen die Amortisationszeiten in der Regel zwischen 33 und 89 Jahren^B.
- Softwarebedingte oder leistungsbedingte **Obsoleszenz verringern** durch gekoppelte Hardware-Software Optimierung, z.B. auch prüfen ob Fehler bei Software liegen, bevor Gerät erneuert wird.
- Erstellung von Lastprofilen der Software, um **Hardware (Prozessoren) geeignet zu dimensionieren** (vgl. Projekt „TwinSpace“^C).
- **Modulare Open-Source Hardwarekomponenten** bevorzugen. Komponenten sollten möglichst austauschbar sein, da z.B. Akkus oft verschleißen und zum Neukauf führen.
- **Generalüberholte (refurbished) Hardware beschaffen**
- Hoch qualitative und **damit langlebige Hardware beschaffen** (z.B. auf tauschbare Akkus achten)

INDIKATOREN

- Energieverbrauch eigener genutzter Hardware
- Nutzungsdauer von Hardware
- Investition in Hardware-Reparatur
- Investition in generalüberholte Hardware
- Investition in Hardware, die Öko-Design-Standards folgt und nach Umwelt-Labels wie dem Blauen Engel, TCO oder anderen zertifiziert ist

Beschaffende / Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Nutzung von Hardware **auch über Garantiezeiten** hinaus (z.B. differenzieren, welche Operationen auf älterer Hardware gerechnet werden können).
- Hardware einer **Zweitnutzung** zuführen, z.B. durch Weiterverwendung an Schulen, **Generalüberholung** oder Rückgabe an den Hersteller.
- Mit Verwertungsdienstleistern zusammenarbeiten.
- **Längere Garantien**, Support, etc. für die Hardware vereinbaren. Aufrüstungen in Anspruch nehmen.
- Nachweis von Maßnahmen zur Reduzierung des Umwelt-Fußabdrucks, z.B. im Bereich Energieeffizienz, als Vergabekriterium verwenden.
- Verschiedene IT-Ausstattungsvarianten, z.B. von Computerarbeitsplätzen, ökologisch vergleichen^A.

Auf Umweltauswirkungen in der Produktion achten:

- Daten über Umweltauswirkungen vom Hersteller einfordern: Gibt es eine Ökobilanzierung? Woher kommen Fertigungsmaterialien? Welche Emissionen und andere Umweltauswirkungen entstehen in der Lieferkette von Produkten? Welche Maßnahmen für Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und Recycling werden getroffen?
- Einhaltung von Standards beim Hersteller prüfen.
- Schadstoffarme Geräte anschaffen.

INDIKATOREN

- Umweltlabel und Standards bei Vergabeverfahren, z.B. Blauer Engel, Amfori (ehemals BSCI)^B, Energy Star oder TCO^{C, D}, SA8000^E, RBA^F.
- Je Hardwaregebiet spezialisierte Indikatoren, z.B. Öko-Vergleichsrechner für Arbeitscomputer des UBA^A

Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Energieverbrauch in der Nutzung messen und optimieren, z.B. durch Abschalten nicht-benötigter Features von Hardware oder durch Wahl einer ressourcensparsamen Konfiguration von Hardware für das jeweilige Anwendungsfeld.
- Geräte, wenn möglich, im Darkmode nutzen (bei OLED), um Strom zu sparen.
- Hardware-Pflege durch Mitarbeitende (z.B. Akkus) verbessern.
- Stand-by-Zeiten von Hardware reduzieren (z.B. nächtliches Abschalten der Office-IT).
- Geräte durch Hüllen, Folien und andere schützende Optionen vor mechanischem Verschleiß schützen.

INDIKATOREN

- Nutzungsdauer von Hardware
- Betriebsstatistiken
- Energieverbräuche

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Öko-Design und Kreislaufwirtschaft** priorisieren, z.B. durch steuerliche Anreize bzw. Besteuerung einer nur einmaligen Ressourcennutzung, oder durch Vorgabe eines Mindestanteils an recycelten Materialien. Siehe auch deutsche und EU-Kreislaufwirtschaftsstrategie.
- **Gesetzgebung zur Längernutzung** von Hardware prüfen.
- Erweiterte Herstellerverantwortung^A und Berichtspflichten über Umweltwirkungen in der Lieferkette (Lieferanten, Cloud-Anbieter) umsetzen.
- **Austausch von Akkus und anderen Komponenten** herstellerübergreifend ermöglichen.

INDIKATOREN

Alle Werte bezogen auf den IT-Sektor:

- Primärrohstoffverbrauch (RMC)^A als Indikator für die Kreislaufwirtschaft
- Rohstoffkonsum pro Kopf: RMC/Kopf
- Gesamtrohstoffproduktivität (BIP + Importe)/RMI
- Sekundärrohstoffeinsatz und Einsparung von Primärrohstoffen als Maß des derzeitigen zirkulären Wirtschaftens: **DERec/DMI** oder **DIERec/RMI**
- CO₂-Fußabdruck^B
- Primärrohstoffeinsatz (RMI)
- Gesamtmaterialbedarf (TMR)
- Kumulierte Energienachfrage (CED)
- Treibhauspotenzial (GWP)
- Wasserverbrauchspotenzial (WDP)
- Landnutzungspotenzial (LOP)^C

Praxisbeispiel

Lebenszeitverlängerung von Hardware

Die Lebenszeitverlängerung von Hardware, etwa durch **Refurbishment** und bessere **Reparierbarkeit**, ist eine einflussreiche Strategie zur Reduktion von Umweltauswirkungen von digitalen Technologien^A.

Beim **Refurbishment** (Generalüberholung) erneuern Unternehmen gebrauchte Hardware, durch den Austausch von Akkus, Bildschirmen, u.a. und säubern das Gerät gründlich für den Wiederverkauf. **Reparierbarkeit** und **Austauschbarkeit** kann Geschäftsmodellgrundlage sein. So wird etwa an Hardware geforscht, deren Design unter einer Open-Source-Lizenz veröffentlicht wird. Beispiele hierfür sind Arduino, Raspberry Pi, Open Source Ecology (OSE) und Laptops der Marke Framework. Durch die offene Dokumentation und die Verfügbarkeit von Ersatzteilen sollen Geräte leichter repariert und länger genutzt werden können, um so auch ihre Umweltauswirkungen zu reduzieren.



Praxisbeispiel

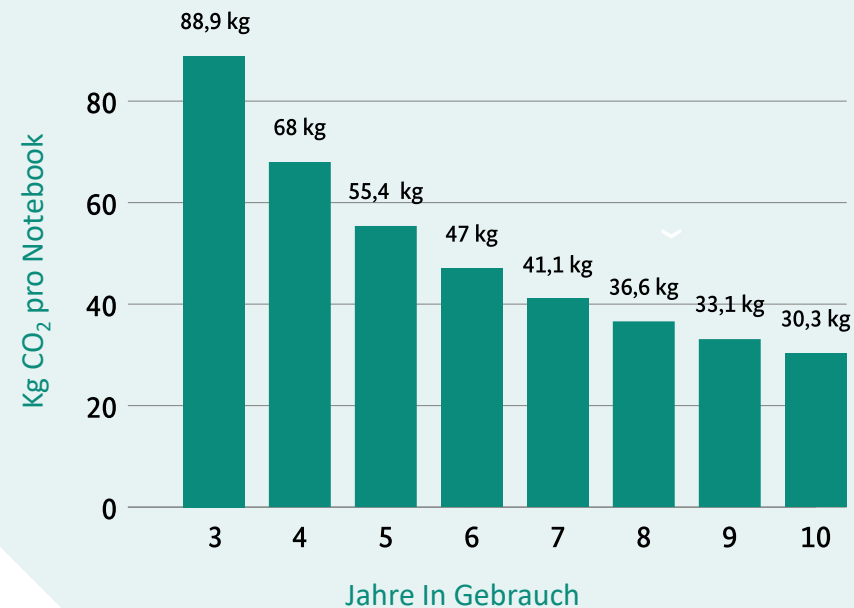
Lebenszeitverlängerung von Hardware

Beispiel Notebook: Die **durchschnittlichen jährlichen Emissionen eines Notebooks** sinken deutlich, je länger ein Notebook verwendet wird (*siehe Abb. 11*)^A. Grund hierfür ist, dass die Produktion eines Notebooks mit Abstand den größten Anteil der Emissionen (und auch der verwendeten Rohstoffe) ausmacht. Die Emissionen durch Stromverbrauch in der Nutzungsphase des Notebooks sind im Verhältnis geringer.

Daher gilt: Bestehende Hardware möglichst lange zu nutzen, ist in vielen Fällen ökologisch vorteilhafter, als neue, energieeffizientere Hardware anzuschaffen.

Abb. 11: Durchschnittliche jährliche Emissionen bei Notebooknutzung,
Eigene Darstellung basierend auf TCO, 2025
Quellen: A) [TCO, 2025](#)

Durchschnittliche Jährliche Emissionen
bei längerer Nutzung eines Notebooks



2.5 | SOFTWARE



Bereitstellende / Herstellende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Nachhaltigkeitskriterien/grüne Coding-Prinzipien^A /Tactics^K/Patterns^H in der Software-Entwicklung berücksichtigen:

- **Hardwareeffizienz & Energieeffizienz** in der Hardwarenutzung optimieren: Durch **Softwaregestaltung** potenzielle Hardware-Nutzungsdauer und -autonomie maximieren, z.B. durch langfristige Update-Bereitstellung, Modifizierbarkeit, Interoperabilität und andere Software-Qualitätsmerkmale^B. Das **Ziel ist, softwarebedingte Hardware-Obsoleszenz zu vermeiden**.
- **Energieeffizienz der Software**: Quellcodebasierte Tools einsetzen^D, um Energieverbräuche zu messen und Verbräuche an aktuelle CO₂-Intensität des Stroms anzupassen. **Effiziente Algorithmen und Datenstrukturen verwenden**, um Speicherbedarfe zu senken. Bei bereits sehr effizientem Code, spielt Code-Effizienz jedoch nur eine untergeordnete Rolle^E, sodass der Fokus auf der Hardware liegen sollte.
- **Ressourcenmanagement**, z.B. den **Bedarf an Hardwarekapazitäten anpassen** durch Übergang in sparsamere Modi, abhängig von den momentanen Anforderungen der Software und zur Verfügung stehenden Ressourcen^F. **Datenmanagement** optimieren, sodass nicht benötigte Daten gelöscht werden.
- **Virtualisierung und Container-Technologie** verwenden^G.
- **Software-Downgrades** auf ältere Hardwareversionen möglichst lange ermöglichen.
- Jede Schnittstelle sollte den **ausgelösten Energieverbrauch** kommunizieren.

INDIKATOREN

- Blauer Engel für Ressourcen- und energieeffiziente Softwareprodukte (DE-UZ 215)^I
- Kriterienkatalog für nachhaltige Software^F
- Rechenbedarf in Abhängigkeit der Prozessorgröße (Load Profile Description Language (LPDL))^C
- Laufzeit
- Energieverbrauch (z.B. in einem Nutzungsszenario, siehe Praxisbeispiel „TwinSpace“)^J
- Erwartete Hardware-Auslastung (minimale Anforderungen an Hardware; Auslastung im Leerlauf, bei normaler Nutzung)
- CO₂-Effizienz, Software Carbon Intensity (SCI) für Cloud, AI und Web^H
- Deinstallierbarkeit^I
- Rückwärtskompatibilität^I
- Energieeffizienz-Kennwerte von Komponenten & Werkzeugen^L

Quellen: A) [SUSO, 2023](#), B) [Condori-Fernandez & Lago, 2018](#), C) [TwinSpace, 2026](#), D) [Lieder, 2023a](#), E) [Lieder, 2023b](#), F) [Hilty et al., 2017](#), G) [Verdecchia et al., 2021](#), H) [Green Software Foundation, 2025](#), I) [Blauer Engel, 2026](#), J) [Anthony et al., 2020](#), K) [S2 Group, 2026](#), L) [Schulze et al., 2026](#)



Beschaffende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Anbieter von Software mit Nachhaltigkeits-Zertifizierung priorisieren.
- Erneuerbare Energien für die Ausführung von Software verwenden.
- Aspekte des „**Shiftings & Shapings**“ berücksichtigen ^A:
 - **Demand Shifting**: Energieverbrauch dann anfallen lassen, wenn das Netz wenig ausgelastet ist.
 - **Spatial Shifting**: Energieverbrauch an Orten anfallen lassen, wo erneuerbare Energiequellen verfügbar sind.
 - **Temporal Shifting**: Energie zu Zeiten verbrauchen, in denen erneuerbare Energien verfügbar sind.
 - **Demand Shaping**: Weniger Performance zugunsten geringerer Emissionen ermöglichen.

INDIKATOREN

- Blauer Engel für Ressourcen- und energieeffiziente Softwareprodukte (DE-UZ 215)^B.
- Erwartete Hardwareinvestitionen und -auslastung
- Verhältnis von proprietären Lizenzkosten zu Ausgaben für OpenSource



Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- Effiziente und **angemessen dimensionierte Software** und digitale Dienstleistungen einsetzen, z.B. sparsame Browser^A.
- **Open Source Software** nutzen und mitentwickeln.
- Automatisches Starten und Laden von Programmen und Diensten ausschalten.
- **Datensparsamkeit**: Prinzip der zweckgebundenen Datenverarbeitung: nur notwendige Personen erhalten Daten(zugriff); große Anhänge lieber zentral ablegen als per Mail versenden.
- **Datenlöschungen** bzw. Löschrufen einführen – regelt das vorzuhaltende Datenvolumen
- Konsequenz weitere im DSGVO-Kontext regulierte Aspekte anwenden, die auch Umweltvorteile mit sich bringen.
- Nudging verwenden, um Software sparsamer und effizienter zu verwenden.

INDIKATOREN

- Energieverbrauch
- Arbeitsspeicher
- Eingenommener Speicherplatz (lokal/cloud)

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- **Standardisierung „ressourceneffizienter Software“** (aktuell in Diskussion bei ISO/DIN) befördern.
- **Messverfahren** für Umweltauswirkungen von Software standardisieren.
- Den software-bedingten **Ressourcenbedarf stärker steuern**. Z.B. durch Einführung verpflichtender Transparenz über durch Software entstehende Ressourcenverbräuche oder durch Einführung von Sektorzielen in der Optimierung von Umweltwirkungen.
- Förderung von Open Source Projekten, z.B. durch Sovereign Tech Fund oder ähnliche Initiativen
- Einsatz von Open Source Software in öffentlicher Verwaltung
- Beobachten von Quasi-Monopolen der Cloudanbieter

INDIKATOREN

- Nationaler Energie- und Ressourcenverbrauch in Rechenzentren

Praxisbeispiel

Energiemessungen in TwinSpace

ZIEL:

Das Projekt TwinSpace zielt darauf ab, den ökologischen Fußabdruck digitaler Technologien durch frühzeitige Optimierung der Energieeffizienz zu reduzieren. Durch die Nutzung virtueller Software-Zwillinge und die Abstraktion von konkreten Implementierungen, soll der Energieverbrauch von eingebetteter Software minimiert und die Hardware passend dimensioniert werden. Im Kontext des Projekts werden auch Durchsatz- und Energieverhalten von Software(-Zwillingen) betrachtet (*siehe Abb. 12, folgende Folie*).

Vorgehen bei Energiemessungen

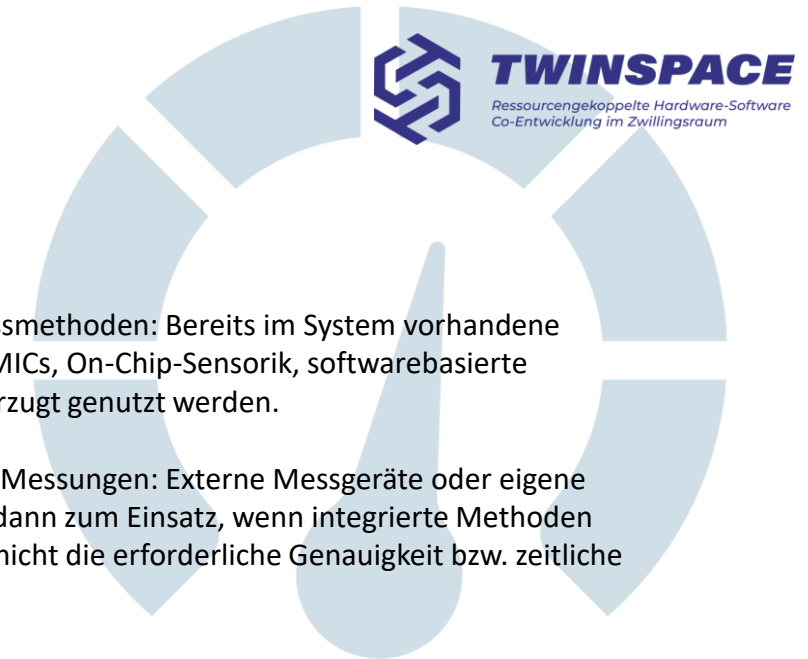
- Messziel definieren: Klarheit über den Zweck der Messung (Vergleich, Optimierung, Dimensionierung) bestimmt die Wahl der Metriken.
- Einordnung des Anwendungsszenarios: Unterscheiden zwischen Embedded, Server/Cloud-Systemen. Cloud erfordert andere Metriken (Workload-Ebene).
- Strukturierter Mess-Workflow: Definieren von Ziel & Metrik, Ableitung der Anforderungen, Wahl der Methode, Messung, Bewertung.

DATENQUELLEN:

- Präferenz integrierter Messmethoden: Bereits im System vorhandene Messinfrastruktur (z. B. PMICs, On-Chip-Sensorik, softwarebasierte Schnittstellen) sollte bevorzugt genutzt werden.
- Gezielter Einsatz externer Messungen: Externe Messgeräte oder eigene Messaufbauten kommen dann zum Einsatz, wenn integrierte Methoden nicht verfügbar sind oder nicht die erforderliche Genauigkeit bzw. zeitliche Auflösung liefern.

INDIKATOREN:

- **Energie-to-Solution:** Gesamtenergie für eine Aufgabe (Vergleiche).
- **Effizienz (TOPS/W):** Vergleich von Architekturen.
- **Leistungsaufnahme:** Momentaner Verbrauch; relevant für Thermik und Dimensionierung.
- **Energy-Delay-Product / Energy-Delay-Squared-Product (EDP / ED²P):** Kombinierte Metriken zur Bewertung von Energie-/Performance-Trade-offs.



Praxisbeispiel

Projekt TwinSpace

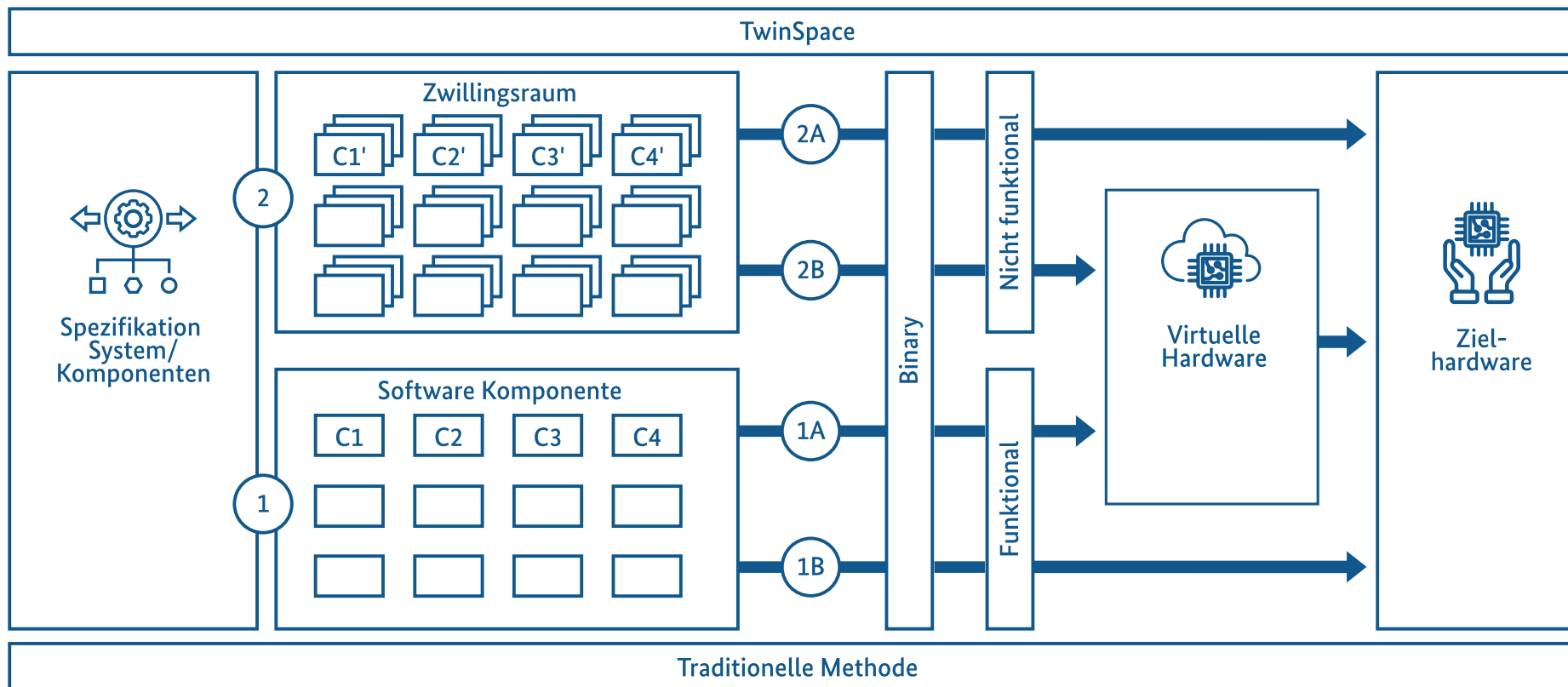


Abb. 12: Eigene Darstellung in Anlehnung an [TwinSpace, 2026](#): TwinSpace-Architektur Diagramm
Quelle: [TwinSpace, 2026](#)

[🔗 Weitere Informationen zum Projekt](#)

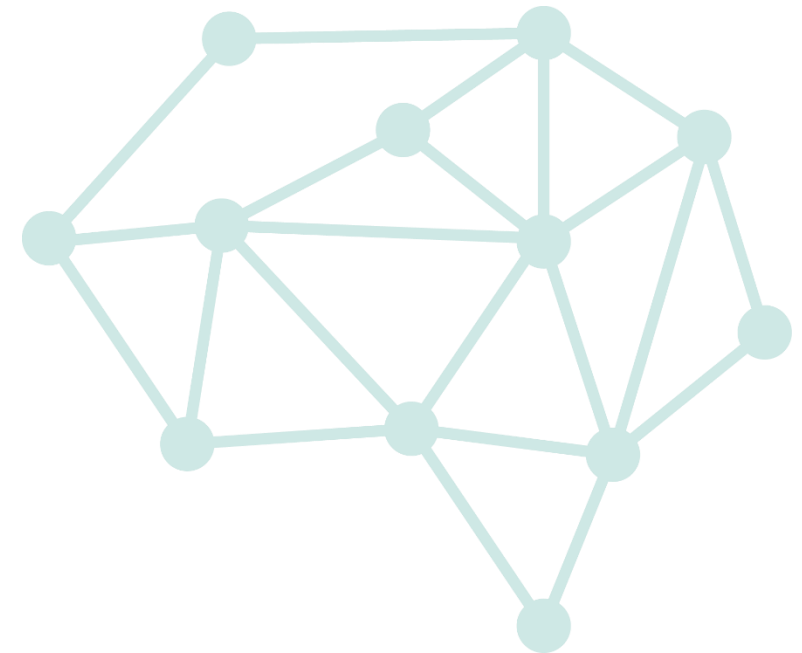
2.6 | GRÜNE KI

Grundlagen von Künstlicher Intelligenz (KI)

BEGRIFF:

„Ein KI-System ist ein maschinengestütztes System, das für explizite oder implizite Ziele aus den empfangenen Eingaben ableitet, wie es Ergebnisse wie Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen erzeugen kann, die physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können. Verschiedene KI-Systeme unterscheiden sich in ihrem Grad an Autonomie und Anpassungsfähigkeit nach dem Einsatz.“ – OECD (2024b)^A

Vom Spezialisten zum Generalisten: Während klassische KI-Systeme oft für Nischenaufgaben optimiert waren (**Narrow AI**), markieren **Foundation-Modelle** einen Wandel hin zu vielseitiger einsetzbaren KI-Systemen. Diese Systeme - im EU AI Act als „General Purpose AI“ bezeichnet - werden auf sehr großen Datenmengen trainiert und können für unterschiedliche Anwendungen adaptiert werden^{B, C}.



Grundlagen von Künstlicher Intelligenz (KI)

Warum jetzt Grüne KI? Die Leistungsfähigkeit von KI-Modellen wird durch exponentiell steigende Parametergrößen und Rechenaufwand (FLOPs) erkauft (*siehe Abb. 13*)^A. Dies führt zu steigenden Energie- und Ressourcenverbräuchen.

Zudem haben Modelle wie „ChatGPT“ oder „Claude“ die KI zum **Massenprodukt** gemacht. Neben dem enormen **Trainingsaufwand** wird durch die tägliche Nutzung der Modelle die **Inferenz** zum kritischen ökologischen Faktor.

Während viele **klima-positive** Anwendungen bislang überwiegend auf spezialisierter „**Narrow AI**“ beruhen, ist der Nutzen von generativer KI für das Klima bislang nur eingeschränkt empirisch belegt^B. Umso wichtiger ist es, Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte frühzeitig in die Entwicklung und Nutzung von KI-Systemen einzubeziehen (*siehe Abb. 14, folgende Folie*).

Daher wächst die Bedeutung der Frage, wie KI **im Einklang mit Umwelt und Mensch** entwickelt und verwendet werden kann.

Rechenaufwand für das Training von Frontier-Modellen

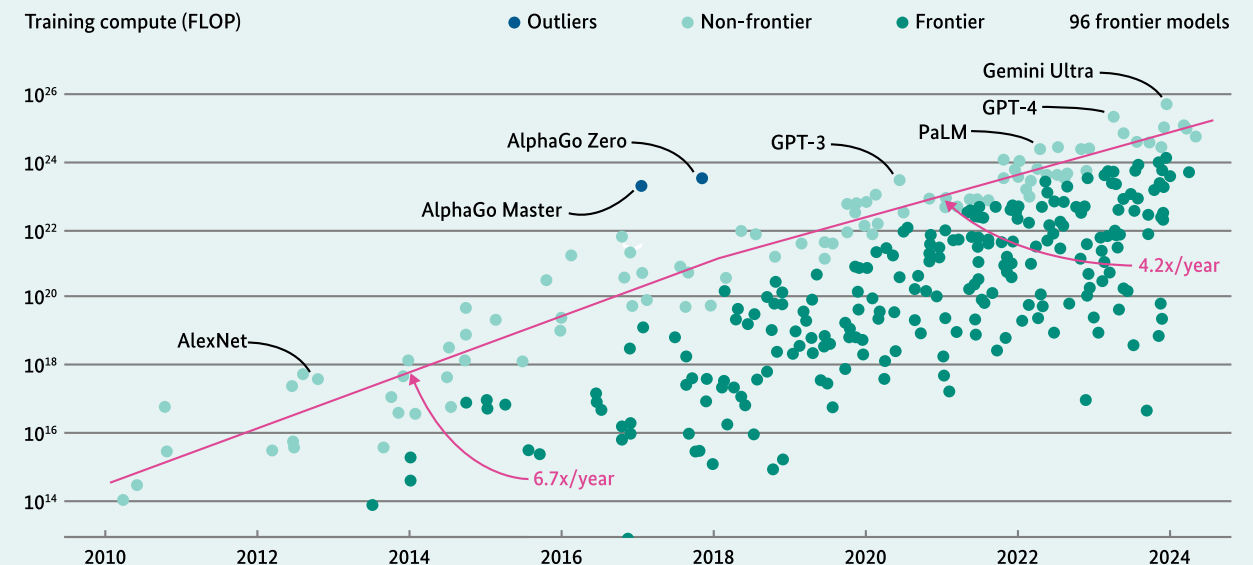


Abb. 13: Trends in der Skalierung von Frontier-Modellen von 2010-2024, [Sevilla et al., 2024](#). Basierend auf [Sevilla & Roldán, 2024](#)

Quellen: A) [Schwartz et al., 2020](#) B) [Joshi et al., 2026](#)

Grundlagen KI-Systeme & Gesellschaft

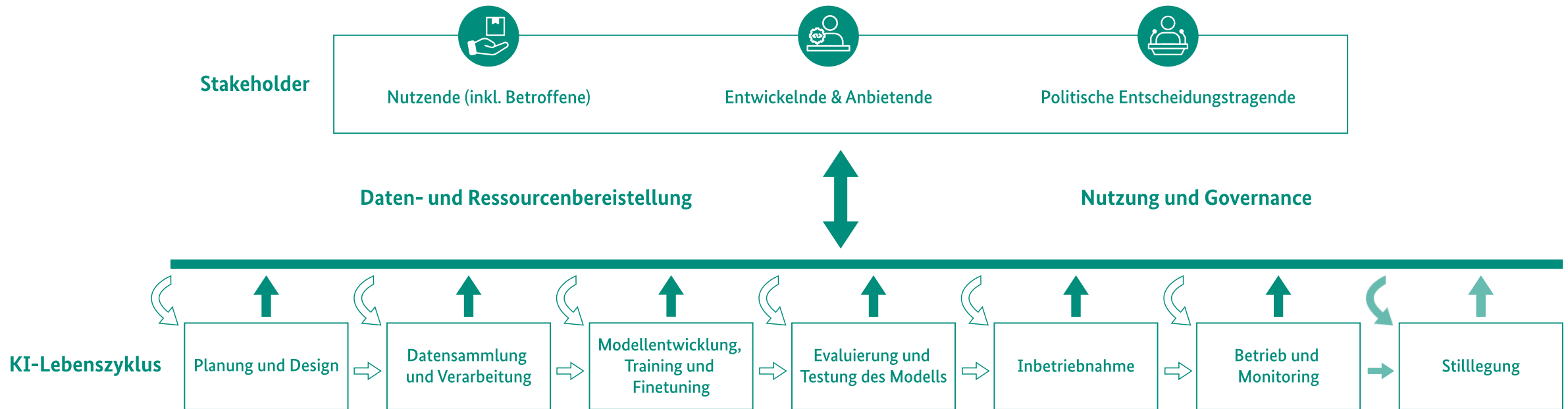


Abb. 14: Interaktion zwischen gesellschaftlichen Stakeholdern von KI-Systemen und dem KI-Lebenszyklus. Grafik basiert auf [OECD, 2019](#) und [OECD, 2024a](#)



Entwickelnde / Anbietende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Entwicklung und Training sparsamer KI (Optimierung direkter Umwelteffekte):

- Verlagerung der KI-Rechenprozesse in Regionen mit erneuerbaren Energiequellen (siehe Kapitel 2.5)
- Wiederverwendung von Modellen
- Optimierung von Algorithmen hinsichtlich Energieeffizienz
- Einsatz von Methoden zur Reduktion der Modellgröße (z.B. Pruning für geringeren Energieaufwand bei nahezu gleicher Modellgenauigkeit; Quantisierung (8-Bit/16-Bit statt 32-Bit); kleinere, weniger präzise Modelle^{A)})

Beratung der Nutzenden hinsichtlich direkter Umwelteffekte:

- Bereitstellung von einfachen Tools (Software, Leitlinien, Visualisierungen) für Nutzende, um Energie- und Ressourcenverbrauch bei der Anwendung transparent zu machen
- Beratung von Nutzenden für ressourcensparsamen Einsatz von KI (z.B. in Hinblick auf die notwendige Leistungsfähigkeit von KI-Modellen)

INDIKATOREN

- Energieeffizienz der Hardware
- Lebensdauer der Hardware
- Effizienz des Algorithmus
- Modellgröße und Komplexität
- Datenqualität und -menge
- Daten-Management-Effizienz
- Anzahl verwendeter Parameter
- Art der Hardware (CPU, GPU, TPU, ...)
- Mit Umweltzeichen zertifizierte Rechenzentren (geringer PUE u.a.)



Entwickelnde / Anbietende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Beim Entwickeln und Anbieten von Foundation Models:

- Datenkuratierung für das KI Training und Finetuning offenlegen und optimieren, u.a. hinsichtlich der Gewichtung wissenschaftlich belegter Quellen zu Umwelt, Klima und Klimawandel.
- Transparent machen, wieviel Strom, Wasser, Emissionen und Ressourcen eine Anfrage an KI-Modelle verbraucht.

Optimieren der Rechenzentren und Hardware für KI:

- Lebenszeitverlängerung der Hardware: Entwicklung modularer Hardware mit erweiterbarer Lebensdauer; Entwicklung sparsamerer Hardware für KI; kritisches Hinterfragen, ob stets die neueste Hardware notwendig ist oder ältere Hardware ausreichen würde, Scheduling der Aufträge dahingehend optimieren.
- Transparenz für spezifische Ressourcen- und Energieverbräuche von KI in Rechenzentren schaffen und Verbräuche senken z.B. durch Tools wie des Projekts „ESCADE“^A.
- Strommessung per Inferenz-Komponente/Berechnung/KPI, nicht mehr per Serverschrank, um dem hohen Strombedarf von KI verbraucher-bezogen Rechnung zu tragen.

INDIKATOREN

Beim Entwickeln und Anbieten von Foundation Models:

- Energie- und Ressourcenverbrauch entlang des Lebenszyklus
- Anzahl der Rechenoperationen
- CO₂-Emissionen, sowie Wasser- und Energieverbrauch je Token, Session und/oder Berechnung/KPI
- Wiederverwendungsgrad von Modellen (z.B. open source Bereitstellung)
- Anteil erneuerbarer Energien im Training und in der Bereitstellung
- Energieverbrauch der KI-Anwendung für Nutzende
- Feedback-Qualität über Umweltauswirkungen

Bei Verfügung über Rechenzentren:

- siehe Kapitel 2.2



Nutzende

MAßNAHMEN UND ZIELE

- KI und digitale Dienste mit eingebetteter KI bewusst nutzen
 - Ist es für meine Aufgabenstellung notwendig, KI zu nutzen oder gibt es sparsamere Wege die Aufgabe zu lösen?
 - Kann ich meine Nutzungszeit beschränken?
- KI-Systeme für ökologische Zwecke einsetzen und riskante Einsatzgebiete vermeiden (Optimierung indirekter Effekte):
 - Einsatzgebiete präferieren, das möglichst hohen ökologischen Nutzen bringen, wie die Integration erneuerbarer Energien und die Beförderung der Kreislaufwirtschaft (siehe auch Praxisbeispiele)
 - Einsatzgebiete vermeiden, die Umweltrisiken beinhalten, z.B. KI für Exploration von Öl und Gas oder beschleunigten Konsum durch gezielte Werbung
- Bei Sprachmodellen: Green Prompting (energie- und ressourceneffizientes Prompt-Schreiben) erlernen und anwenden
- Einfaches Feedback über Energieverbrauch (ggf. Wasserverbrauch) nach Ausführung einer KI-Anwendung einholen (z.B. EAVE^A, AI Energy Score^B, Green Algorithms Calculator^C).
- Inferenz-optimierte Modelle bevorzugen (auf Basis öffentlicher Benchmarks)
- Zugrunde liegendes Umweltbewusstsein von Sprachmodelle bei deren Verwendung beachten^E.

INDIKATOREN

- Siehe z.B. EAVE^A, AI Energy Score^B, Green Algorithms Calculator^C, Sustain^D
- Stromverbrauch eigener digitaler Geräte
- Ökologischer Schaden/Nutzen des Einsatzgebietes von KI
- Anzahl Lizenzen für KI-Dienste
- Anzahl genutzter Token bei KI-Diensten

Politische Entscheidungstragende

MAßNAHMEN UND ZIELE

Regulatorische Maßnahmen:

- Verpflichtende Transparenz und Zertifizierung von ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit von KI-Systemen für große Unternehmen einführen; z. B. Transparenzpflichten für Datennutzung, Energie- und Wasserverbrauch insb. für Foundation Modelle und KI-Rechenzentren, und Einsatzgebiete von KI.
- Stärkere Berücksichtigung direkter und indirekter ökologischer Auswirkungen im EU AI Act und im Digital Services Act (z.B. ökologisches Risiko des Einsatzgebietes, Rohstoffverbrauch und Elektroschrott).
- Modernisierung des Kartellrechts, um problematischen Monopolen vorzubeugen^A.
- Makroökonomische Maßnahmen, wie die Bepreisung von CO₂ und des Ressourcenverbrauchs, sowie die Einführung einer Digitalsteuer stärken^A.

Förderungs- und Anreizsysteme:

- Förderung von längerer Nutzung und von Recyclingprogrammen für KI-Hardware.
- Grüne Rechenzentren^B und Kreislaufwirtschafts-Ansätze für KI Hardware fördern.
- Digitale Produktpässe für ICT-Komponenten einführen, wie 2025 für Smartphones und Tablets eingeführt.

Kompetenzaufbau und Bildung:

- Forschungsförderung für Grüne KI in der Praxis ausbauen (z.B. „Green AI Hub Mittelstand“).
- KI-Kompetenz und Umweltbewusstsein durch Bildungsinitiativen in der Bevölkerung stärken.
- Grüne IT und Grüne KI in das Bildungssystem integrieren, um früh Bewusstsein und Fähigkeiten aufzubauen.

INDIKATOREN

- Nachhaltigkeitsbezogene Regulierung von KI
- (Öffentliche) Investitionen in Forschung zu nachhaltiger KI, sowie in dazugehörigen Bildungsprogramme
- Förderungsgrad längerer Nutzung und Recyclingprogramme
- Anteil der Lebenszyklusphasen von KI, der durch nachhaltigkeitsfokussierte Regularien abgedeckt ist
- Anzahl an Fachkräften mit Kompetenzen für nachhaltige KI

Praxisbeispiel 1

KI für oder gegen den Klimaschutz?

KI kann zur **Reduzierung von Emissionen und Anpassung an den Klimawandel beitragen**. Dafür muss KI jedoch bewusst mit dem Ziel des Umweltschutzes entwickelt und eingesetzt werden.

BEISPIELE FÜR VIELVERSPRECHENDE EINSATZGEBIETE:

- Verbessern der Integration von Erneuerbaren Energien ins Stromnetz, was bis zu 175 GW in bestehenden Stromleitungen nutzbar machen könnte^A.
- Entdecken neuer, umweltfreundlicher Proteine für die Lebensmittelindustrie, um Fleisch zu ersetzen, wobei bis zu 3 GtCO₂e jährlich bis 2035 reduziert werden können^B.
- Aufdecken von Einsparpotenzialen in Irrigationssystemen in der Landwirtschaft^C.
- Unterstützung von Forschung zu Folgen des Klimawandels, um u.a. Politik zu beraten und effiziente Präventions- und Anpassungsmaßnahmen zu ermöglichen^D.



Abb. 15: Luke Thornton, Unsplash

Quellen: A) [IEA, 2025](#), B) [Stern, 2025](#), C) [Preite, 2024](#), D) [Kaack et al., 2022](#)

Praxisbeispiel 1

KI für oder gegen den Klimaschutz?



KI als „General Purpose Technology“ kann auch **umwelt- und klimaschädliche Zwecke** befördern und dazu beitragen, dass nicht nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster fortbestehen.

BEISPIELE FÜR UMWELTSCHÄDLICHE EINSATZGEBIETE:

- Schnellere und kosteneffizientere Exploration von Erdöl- und Erdgasvorkommen^D.
- Verbesserter, personalisierter Vertrieb von Massenware und Anreiz zum Überkonsum, z.B. durch Fast-Fashion Marken wie Temu oder Shein^E.
- Desinformation über Umweltthemen sowie politische Einflussnahme zu Ungunsten progressiver Umweltpolitik im digitalen Raum^F.

Somit kommt es auf das Ausmaß und die Steuerung des Einsatzes von KI in den jeweiligen Anwendungsbereichen an.

Praxisbeispiel 2

Mit KI zur Kreislaufwirtschaft

Im Rahmen des GreenTech Innovationswettbewerbs untersuchen Forschungs-Projekte, wie KI die Kreislaufwirtschaft unterstützen kann.

DiCES (Digital Transformation of Circular Economy for Industrial Sustainability):

- DiCES integriert verschiedene Kreislaufstrategien in einem Wertschöpfungssystem. Das Projekt kombiniert digitale Technologien, KI-Modelle und ökonomisch-ökologische Entscheidungsmodelle, um die optimale Kreislaufwirtschaftsstrategie basierend auf Produkt- und Systemdaten auszuwählen (*siehe Abb. 17, folgende Folie*). Ziel ist die Förderung einer ganzheitlichen Kreislaufwirtschaft mit pilothaften, Implementierungen bei Miele und bei der RWTH Aachen ^{A, B}.

fashionsort.ai

- fashionsort.ai entwickelt eine KI-gestützte Lösung für die automatisierte Sortierung von Textilien in der europäischen Textilindustrie. Mit Bild- und RFID-Erkennung ordnet das System Textilien der Wiederverwendung oder dem Recycling. Ziel ist die Erhöhung der Kosteneffizienz von Geschäftsmodellen in Secondhand, Recommerce, Repair, Upcycling und Recycling ^{A, C}.

SAAT (Sustainable Agriculture Through Artificial Intelligence and Digital Technologies)

- SAAT entwickelt KI-gestützte Technologien zur nachhaltigen Mischkulturenproduktion. Ein Feldplanungstool optimiert die Anbauverteilung verschiedener Pflanzengattungen, während ein autonomes Erntesystem Früchte sortenrein erfasst. Ziel ist eine klimaresiliente, nachhaltige Landwirtschaft und die Übertragbarkeit auf industrielle Anbauweisen ^A.

Praxisbeispiel 2

Mit KI zur Kreislaufwirtschaft

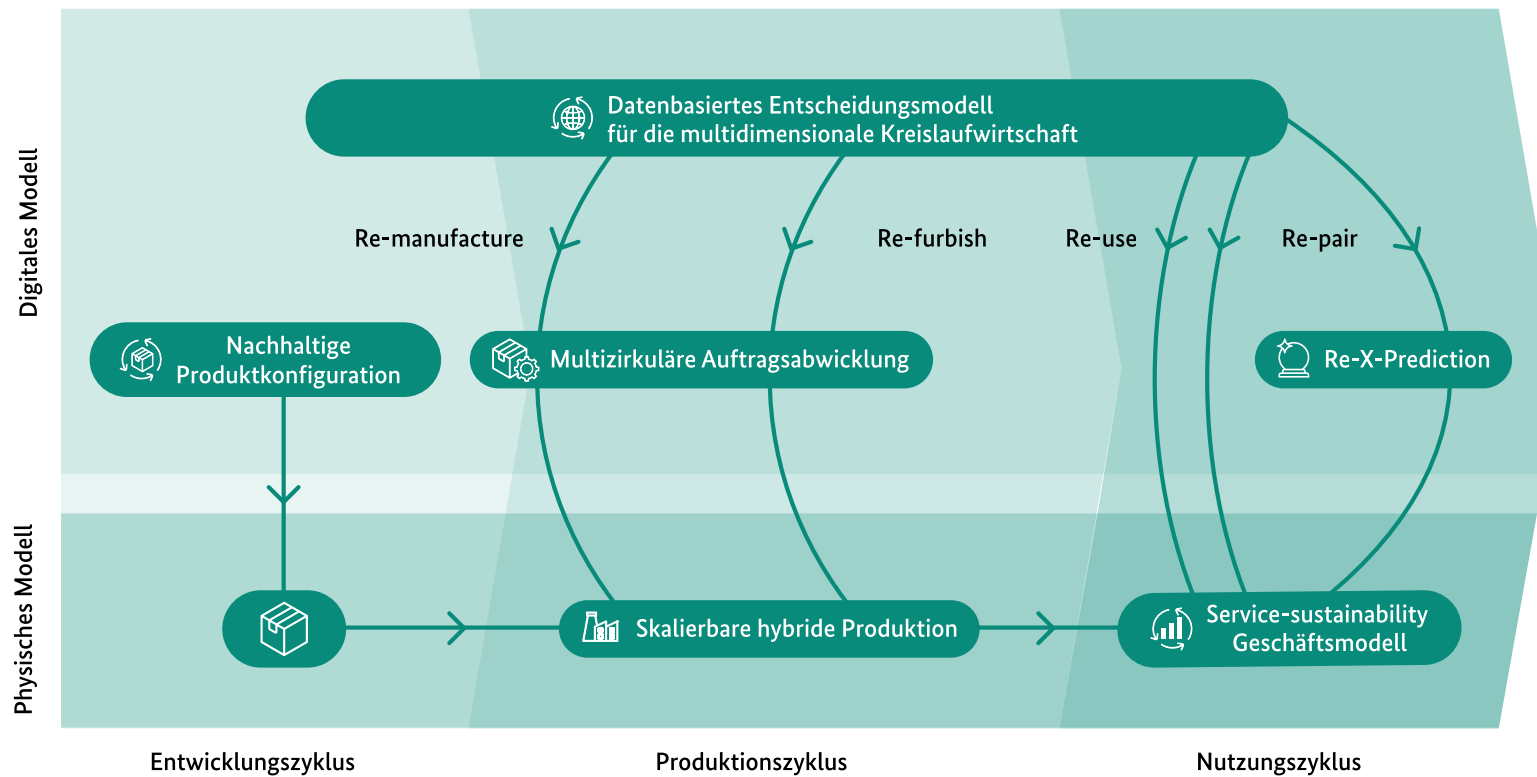


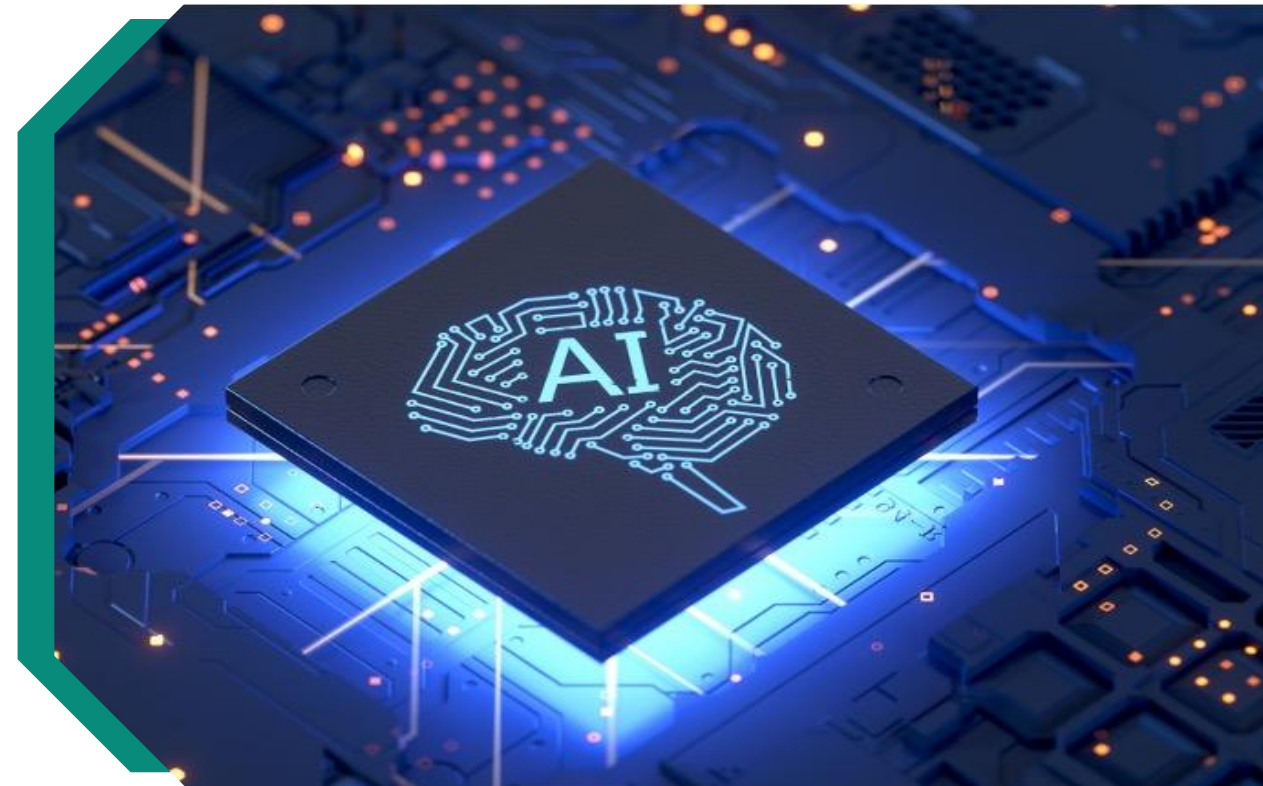
Abb. 17: Darstellung eines datenbasierten Entscheidungsmodells für die multidimensionale Kreislaufwirtschaft, Basiert auf Projekt „[DiCES](#)“
Quellen: A) [DiCES, 2026](#)

[Weitere Informationen zum Projekt](#)

Praxisbeispiel 3

Neuromorphe Systeme als energieeffiziente Computer für KI

- Neuromorphe Computersysteme sollen die energieeffizientere Berechnung von KI-Rechenoperationen ermöglichen und damit einen Baustein für die Eindämmung des wachsenden Energiebedarfs von KI darstellen. Sie basieren auf neuromorphen Chips, welche die Struktur des Gehirns – des effizientesten uns bekannten Computers – nachahmen.
- Ein Beispiel für ein solches neuromorphes Computersystem besitzt das Deep-Tech-Spin-off SpiNNcloud an der Technischen Universität Dresden.
- Deren Supercomputer besteht aus 35 000 neuromorphen Computerchips, den **SpiNNaker2-Chips** und über 5 Mio. Prozessorkernen (Stand: 15.04.2025), finanziert durch ein EU-Forschungsprojekt.
- Auch die Rechenzentrumsarchitektur orientiert sich in seiner Aufbauweise an den leistungsfähigen Strukturen des Gehirns. Dabei werden biologische Prinzipien wie Plastizität und dynamische Rekonfigurierbarkeit angewandt^A.



3 | RESSOURCEN & QUELLEN

3.1 | GESETZE, AKTEURE & FÖRDERMITTEL

Gesetze auf EU-Ebene

AUSWAHL VON EU-RICHTLINIEN UND VERORDNUNGEN IM BEREICH GREEN IT

Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE)

- Kostenlose, verpflichtende Registrierung im nationalen Register
- Verpflichtende Kennzeichnung fast aller Elektro- und Elektronikgeräte mit:
- Auch Pflichten für Lebensende der Produkte; für angemessene Entsorgung des Elektroschrotts

Verordnung über nachhaltige Produkte (ESPR)

- Ausweitung der Ökodesign-Anforderungen u.a. auf Elektronik und Software
- Vorgaben zu Energieverbrauch, Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit
- Einführung eines Digitalen Produktpasses für Transparenz über Umwelteigenschaften
- Große und später auch mittlere Unternehmen werden verpflichtet werden, jährliche Informationen über unverkaufte Verbraucherprodukte auf ihrer Website offenzulegen
- Entwicklung verbindlicher Vorschriften für die umweltgerechte Vergabe öffentlicher Aufträge

Richtlinie zum Recht auf Reparatur

- Nach Ablauf der Garantie muss Hersteller Reparatur zu angemessenem Preis innerhalb angemessener Zeiträume anbieten.
- Ersatzteile, Werkzeuge und Reparaturinformationen müssen für Verbraucher zugänglich sein.
- Reparaturanreize wie Gutscheine und Fördergelder für Reparaturen

Richtlinie zur Beschränkung gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (RoHS)

- Einschränkung gefährlicher Stoffe (wie z.B. Blei, Quecksilber) in elektronischen Geräten
- Gilt für alle Produkte mit einem elektrischen und elektronischen Bauteil
- Förderung von gesundheits- und umweltfreundlichen Materialien

Verordnung über die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)

- Bewertung der Sicherheit chemischer Stoffe (z.B. Inhaltsstoffe von Hardware) mit dem Ziel der Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die menschliche Gesundheit und die Umwelt vor schädlichen Stoffen



Deutsche Gesetze & Initiativen

AUSWAHL VON GESETZEN UND INITIATIVEN IM BEREICH GREEN IT

Elektro- und Elektronikgerätegesetz (Umsetzung von WEEE)

- Verpflichtende Rücknahme für Altgeräte je nach Größe der Verkaufsfläche
- Über ordnungsgemäße Entsorgung von Altgeräten muss informiert werden

IT-Beschaffungsrichtlinien des Bundes (UfAB)

- Vorgaben für nachhaltige Beschaffung öffentlicher IT
- Berücksichtigt werden Energieeffizienzklassen, Recyclinganteil, Lebensdauer u.a.

Energieeffizienzgesetz (EnEfG)

- Mindesteffizienzkriterien für Betreiber von Rechenzentren und derer Informationstechnik
- Unternehmen sollen Pläne zum Endenergiesparen vorlegen
- Regelt Auskunfts-, Informations- und Berichtspflichten

Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess)

- Förderung der Ressourceneffizienz, auch im IT-Sektor, durch zirkuläre Konzepte
- Maßnahmen umfassen effiziente Geräte, effiziente Software, öffentliche Beschaffung u.a.

Umweltzeichen Blauer Engel

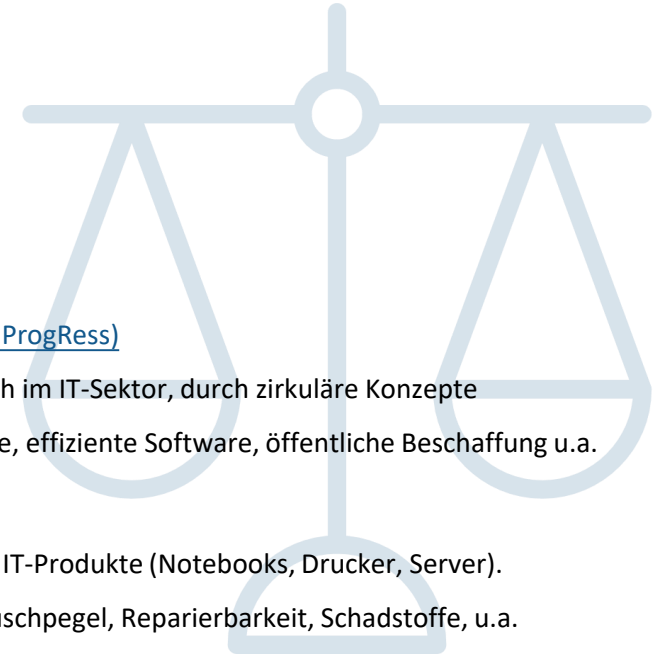
- Freiwilliges (staatliches) Label, auch für IT-Produkte (Notebooks, Drucker, Server).
- Berücksichtigt Energieverbrauch, Geräuschpegel, Reparierbarkeit, Schadstoffe, u.a.

Green-IT-Initiative der Bundesregierung

- Ziel ist es, die Bundes-IT möglichst umweltverträglich zu gestalten
- Fokus auf Effizienz in Rechenzentren, Virtualisierung, Beschaffungsrichtlinien (wie die AVV Klima)

Klimaschutzgesetz

- Öffentliche Einrichtungen sind verpflichtet, klimafreundlich zu beschaffen (s. auch UfAB)
- Energieeffizienz steigern, mit Ziel Energie und Emissionen zu reduzieren
- Relevanz für Behörden-IT und staatliche Rechenzentren



Zentrale Akteur*innen und Fördermöglichkeiten

AUSWAHL ZUM THEMA GRÜNE IT/KI UND NACHHALTIGKEIT (STAND 2025)

Umweltbundesamt (UBA): Deutschlands zentrale Umweltbehörde

- „Zu Umweltthemen forschen, die Politik beraten, Umweltgesetze umsetzen und die Öffentlichkeit informieren“

Blauer Engel: das deutsche Umweltzeichen der Bundesregierung

- „Unabhängig und glaubwürdig setzt er anspruchsvolle Maßstäbe für umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen“
- Bietet Orientierung beim Einkaufen

Bundesverband Green Software

Borderstep Insitut

Öko-Institut

EnergyStar (USA)

TCO (Schweden)

Green Web Foundation: eine Non-Profit, die sich ein Fossil-Free Internet bis 2030 zum Ziel genommen hat

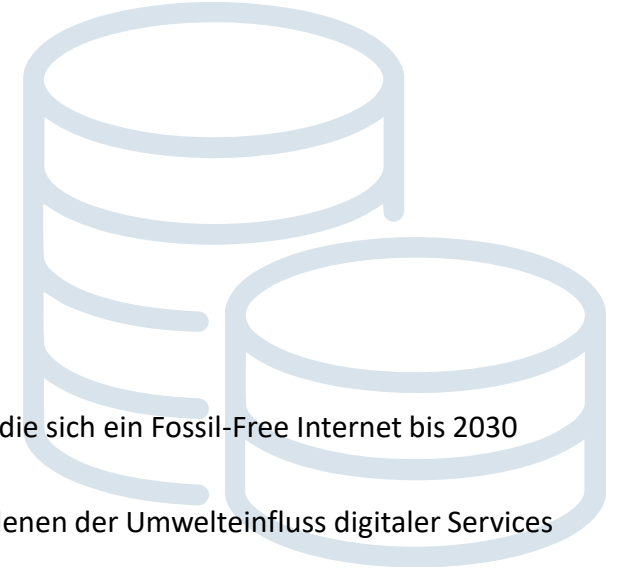
- Bieten z.B. Open Source Tools an, mit denen der Umwelteinfluss digitaler Services gemanagt werden kann
- Finanzierung stammt allerdings hauptsächlich von Unternehmen

Bits & Bäume: Zusammenschluss von Organisationen aus den Bereichen Umwelt-, Klima-, Digital- und Entwicklungspolitik und Wissenschaft

- setzen sich für eine nachhaltige und sozial-gerechte Digitalisierung ein

Ellen MacArthur Foundation: Stiftung für zirkuläre Wirtschaft

- International agierend mit verschiedenen Sektoren und Stakeholdern, um Evidenz-basierte Lösungen zu finden für eine zirkuläre Wirtschaft, um Probleme wie Klimawandel und Verlust der Biodiversität zu lösen



Zentrale Akteur*innen und Fördermöglichkeiten

AUSWAHL ZUM THEMA GRÜNE IT/KI UND NACHHALTIGKEIT (STAND 2025)

Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN)

- Green-IT-Initiative
- Community „Nachhaltige Digitalisierung“

Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit

- Förderung für verschiedene Themen, wie Elektrifizierung von Kleinen Unternehmen: Austausch oder Umrüstung von Produktionsanlagen hinzu elektrischem Betrieb oder Betrieb mit erneuerbaren Energien; Transformationspläne: Unterstützung bei Planung und Umsetzung der eigenen Transformation zur Treibhausgasneutralität

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)

- Förderprogramme für energieeffiziente Rechenzentren

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)

- KMU-innovativ zur Förderung von Forschung in KMU, u.a. in Ressourcen und Kreislaufwirtschaft, in IKT, sowie in Klima und Energie

LIFE Programme der EU

- Förderung lokaler Projekte zu verschiedenen Umwelt- oder Klimathemen wie z.B.: Kreislaufwirtschaft oder Energiewende

→ [Förderprogramme Bund und Land Niedersachsen](#)

→ [Förderdatenbank des Bundes](#)



3.2 | QUELLEN UND WEITERFÜHRENDE RESSOURCEN

Wissenschaftliche Artikel

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Axenbeck et al.	2025	Global Embodied Emissions of Digital Technologies: The Hidden 42 % (Pre-Print)	→ Mehr
Betz et al.	2024	Lessons Learned from Developing a Sustainability Awareness Framework for Software Engineering Using Design Science	→ Mehr
Bieser et al.	2024	The greenhouse gas (GHG) reduction potential of ICT: A critical review of telecommunication companies' GHG enablement assessments	→ Mehr
Bommasani et al.	2021	On the Opportunities and Risks of Foundation Models (Pre-Print)	→ Mehr
Brockway et al.	2021	Energy efficiency and economy-wide rebound effects: A review of the evidence and its implications	→ Mehr
Condori-Fernandez & Lago	2018	Characterizing the Contribution of Quality Requirements to Software Sustainability	→ Mehr
Guldner et al.	2024	Development and evaluation of a reference measurement model for assessing the resource and energy efficiency of software products and components—Green Software Measurement Model (GSMM)	→ Mehr
Horner et al.	2016	Known unknowns: indirect energy effects of ICT	→ Mehr
Kaack et al.	2022	Aligning artificial intelligence with climate change mitigation	→ Mehr
Kern et al.	2018	Sustainable Software Products – Towards Assessment Criteria for Resource and Energy Efficiency	→ Mehr
Kunkel et al.	2026	Greener Than Humans? Environmental Attitudes in Large Language Models (Pre-Print)	→ Mehr
Kunkel & Tyfield	2021	Digitalisation, sustainable industrialisation and digital rebound – Asking the right questions for a strategic research agenda	→ Mehr
Lannelongue et al.	2021	Green Algorithms: Quantifying the Carbon Footprint of Computation	→ Mehr
Luccioni et al.	2025	From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate	→ Mehr
Nasiri & Hashemzadeh	2025	The Evolution of Disinformation from Fake News Propaganda to AI-driven Narratives as Deepfake	→ Mehr
Palensky & Dietrich	2011	Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads	→ Mehr
Pohl et al.	2019	How LCA contributes to the environmental assessment of higher order effects of ICT application: A review of different approaches	→ Mehr
Preite & Vignali	2024	Artificial intelligence to optimize water consumption in agriculture: A predictive algorithm-based irrigation management system	→ Mehr
Rohde et al.	2024	Broadening the perspective for sustainable artificial intelligence: sustainability criteria and indicators for Artificial Intelligence systems	→ Mehr
Rolnick	2022	Tackling Climate Change with Machine Learning	→ Mehr

3.2 | QUELLEN UND WEITERFÜHRENDE RESSOURCEN

Wissenschaftliche Artikel

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Safitra et al.	2023	Green Networking: Challenges, Opportunities, and Future Trends for Sustainable Development	→ Mehr
Schwartz et al.	2020	Green AI	→ Mehr
Segovia-Martin et al.	2023	Efficiency traps beyond the climate crisis: exploration–exploitation trade-offs and rebound effects	→ Mehr
Verdecchia et al.	2021	Green IT and Green Software	→ Mehr

Berichte

Arnfolk et al.	2004	The Future Impact of ICTs on Environmental Sustainability	→ Mehr
Berkhout & Hertin	2001	Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence – Report to the OECD	→ Mehr
Bitkom	2021	Zur Software-bedingten Obsoleszenz	→ Mehr
Blauer Engel	2020	Der Blaue Engel für klimaschonende Co-Location-Rechenzentren (DE-UZ 214)	→ Mehr
BMU	2019	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (2020–2023) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen	→ Mehr
BMUKN	2026	Leading Practices Green-IT	→ Mehr
BMWE	2026	EU-Ökodesign-Richtlinie für eine umweltgerechte Gestaltung von Produkten	→ Mehr
BMWK	2025	Stand und Entwicklung des Rechenzentrumsstandorts Deutschland	→ Mehr
DB Systel	2023	Digital.Trend.Studie Green IT – Das Spannungsfeld zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit	→ Mehr
Deutsche Bahn	2024	Nachhaltigkeitskennzahlen 2024	→ Mehr
Deutsche Energie-Agentur (dena)	2012	Green IT: Potenzial für die Zukunft	→ Mehr
Die Bundesregierung	2026	KI-Strategie Deutschland	→ Mehr
Doing the Doughnut Tech	2022	The pilot workshops	→ Mehr
Energy Star	2023	Data Center Estimates in the United States and Canada – Technical Reference	→ Mehr

Berichte

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Expertengruppe Green-IT	2021	Nachhaltige Beschaffung und Nutzungsdauerverlängerung von IKT-Geräten in der öffentlichen Verwaltung	→ Mehr
Gröger	2023	Environmental impacts of artificial intelligence	→ Mehr
Gröger et al. (Oeko-Institut)	2024	Ökobilanz digitaler Dienstleistungen	→ Mehr
Hilty et al.	2017	Kriterienkatalog für nachhaltige Software	→ Mehr
IEA	2023	Data Centers and Data Transmission Networks	→ Mehr
IEA	2025	Energy and AI	→ Mehr
ifo	2022	Wie abhängig ist Deutschland von Rohstoffimporten? Eine Analyse für die Produktion von Schlüsseltechnologien	→ Mehr
ITU	2024	AI and the Environment – International Standards for AI and the Environment Sustainability	→ Mehr
ITU & UNITAR	2024	Global E-waste Monitor 2024	→ Mehr
Joshi et al. (Beyond Fossil Fuels)	2026	The AI Climate Hoax: Behind the Curtain of How Big Tech Greenwashes Impacts	→ Mehr
Köhn et al. (UBA)	2020	Energie- und Ressourceneffizienz digitaler Infrastrukturen: Ergebnisse des Forschungsprojektes „Green Cloud-Computing“	→ Mehr
Luccioni et al.	2026	AI Energy Score	→ Mehr
ManpowerGroup	2024	A People-First Green Business Transformation	→ Mehr
Masanet et al.	2013	The Energy Efficiency Potential of Cloud-Based Software: A U.S. Case Study	→ Mehr
OECD	2019	Scoping the OECD AI Principles – Deliberations of the expert group on artificial intelligence at the OECD (AIGO)	→ Mehr
OECD	2024a	Meeting of the Council at Ministerial Level, 2–3 May 2024 – Report on the Implementation of the OECD Recommendation on Artificial Intelligence	→ Mehr
OECD	2024b	Meeting of the Council at Ministerial Level, 2–3 May 2024 – Revised Recommendation of the Council on Artificial Intelligence	→ Mehr
Radgen et al.	2025	Aufbau eines Registers für Rechenzentren in Deutschland und Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren	→ Mehr
Rohde et al.	2021	Nachhaltigkeitskriterien für künstliche Intelligenz: Entwicklung eines Kriterien- und Indikatorensets für die Nachhaltigkeitsbewertung von KI-Systemen entlang des Lebenszyklus	→ Mehr
Schulze et al. (UBA)	2026	Abschlussbericht: SoftAWERE - Energieeffizienz-Kennwerte von Komponenten und Werkzeugen der Softwareentwicklung und Vorarbeiten zur Etablierung einer Kennzeichnung für energieeffiziente Software.	→ Mehr

3.2 | QUELLEN UND WEITERFÜHRENDE RESSOURCEN

Berichte

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Seeliger et al. (Fraunhofer FOKUS)	2024	Green Streaming – Guidelines on Evaluating the Energy Consumption and Reducing the CO ₂ Emissions of Video Streaming	→ Mehr
Smith & Adams (Green Web Foundation)	2024	Thinking about using AI? Here's what you can and (probably) can't change about its environmental impact	→ Mehr
Stanford University – HAI	2025	The 2025 AI Index Report	→ Mehr
Stede et al.	2024	Metastudie „Nachhaltigkeitseffekte der Digitalisierung“	→ Mehr
Stern et al.	2025	Green and intelligent: the role of AI in the climate transition	→ Mehr
The Stepstone Group	2023	Studie: Drei von vier Beschäftigten würden sich eher bei nachhaltigen Unternehmen bewerben	→ Mehr
Umweltbundesamt	2018	Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit	→ Mehr
UNEP	2024	Artificial Intelligence (AI) end-to-end: The Environmental Impact of the Full AI Lifecycle Needs to be Comprehensively Assessed	→ Mehr
WWF	2025	Politische Impulse 2025 – Rahmenbedingungen für eine echte Kreislaufwirtschaft in Deutschland	→ Mehr

Handbücher

Global Action Plan	2009	Green ICT Handbook - A Guide to Green ICT	→ Mehr
GR491	2021	Handbook of Sustainable Design of Digital Services	→ Mehr
S2 Group, Vrije Universiteit Amsterdam	2026	Archive of Awesome and Dark Tactics (AADT)	→ Mehr
Siemens	2023	Responsible AI	→ Mehr

3.2 | QUELLEN UND WEITERFÜHRENDE RESSOURCEN

Konferenz-Beiträge

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Chen	2023	Analysis of Marketing Strategies of Cross-border E-commerce Platforms in the United States-Shein	→ Mehr
Fraunhofer IZM	2026	Electronic Goes Green 2024+	→ Mehr
Sevilla et al.	2022	Compute Trends Across Three Eras of Machine Learning	→ Mehr
Wilson et al.	2023	Evidence Synthesis of Indirect Impacts of Digitalisation on Energy and Emissions	→ Mehr

Leitfäden

Blauer Engel	2025	Server und Datenspeicherprodukte, DE-UZ 213 – Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2025	→ Mehr
Blauer Engel	2024	Computer, Tastaturen und Mäuse (DE-UZ 78) -Vergabekriterien, Ausgabe Juli 2024	→ Mehr
Blauer Engel	2023	Rechenzentren (DE-UZ 228) – Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2023	→ Mehr
Blauer Engel	2022	Mobiltelefone, Smartphones und Tablets (DE-UZ 106) – Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2022	→ Mehr
Blauer Engel	2021	Bürogeräte mit Druckfunktion (Drucker und Multifunktionsgeräte) (DE-UZ 219) – Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2021	→ Mehr
Blauer Engel	2020	Ressourcen- und energieeffiziente Softwareprodukte (DE-UZ 215) – Vergabekriterien, Ausgabe Januar 2020	→ Mehr
BMUKN	2023	Leitfäden zu UVP und SUP	→ Mehr
Greenpeace	2017	Greenpeace Report: Guide to Greener Electronics 2017	→ Mehr
IT-Planungsrat	2023	Green-IT-Strategie des IT-Planungsrates – Handlungsleitfaden Beschaffung	→ Mehr
ITU	2025	L.1480: Enabling the Net Zero transition: Assessing how the use of information and communication technology solutions impacts greenhouse gas emissions of other sectors	→ Mehr
ITU	2023	Circular and Sustainable Public Procurement – ICT Equipment Guide	→ Mehr
ITU & The World Bank	2023	Green data centers: towards a sustainable digital transformation - A practitioner's guide	→ Mehr

3.2 | QUELLEN UND WEITERFÜHRENDE RESSOURCEN

Blog-Beiträge

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Adesso (Lieder)	2024	Green Coding – Guidelines für die Entwicklung nachhaltiger Software	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2024	Green IT – Bausteine einer ökologisch nachhaltigen Unternehmens-IT	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2023	Nachhaltiges Digitales Design – Guidelines für nachhaltige UX und UI	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2023	Nachhaltige KI – Künstliche Intelligenz ökologisch nachhaltig entwickeln und betreiben	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2023	Nachhaltige Softwarearchitektur – Guidelines für ökologisch nachhaltige Softwarearchitekturen	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2023	Nachhaltigkeit von Programmiersprachen – Lieber Java als TypeScript?	→ Mehr
Adesso (Lieder)	2023	Nachhaltigkeit von Software testen – Wie testet man Nachhaltigkeit als Qualitätseigenschaft von Software?	→ Mehr
AKCP	2026	Data Center Energy Use Trends and Efficiency Strategies	→ Mehr
Ecosia	2025	2024: Jahresrückblick bei Ecosia	→ Mehr
Ecosia	2019	Warum „CO2-neutral“ nicht genug ist	→ Mehr
Green Coding (Hoffmann)	2023	Software Life Cycle Assessment done in the wild - (SLCA part 1)	→ Mehr
Green Coding (Hoffmann)	2023	Carbon Aware Development - (SLCA part 2)	→ Mehr
Green Coding (Tarara)	2023	CPU Utilization – A Useful Metric?	→ Mehr
Hutson (IEEE Spectrum)	2024	1-bit LLMs Could Solve AI’s Energy Demands: “Imprecise” language models are smaller, speedier—and nearly as accurate	→ Mehr

Online-Tools

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Cabin.	2026	Privacy-first Web Analytics	→ Mehr
DFKI	2026	EAVE – Energy Analytics for Cost-Effective & Sustainable Operations	→ Mehr
Ecograder	2026	Ecograder	→ Mehr
EcoPing	2026	EcoPing (CarbonRunner)	→ Mehr
Green Algorithms	2026	Green Algorithms - Towards environmentally sustainable computational science	→ Mehr
Green Software Foundation	2024	Green Software Maturity Matrix	→ Mehr
Green Web Foundation	2026	Tools	→ Mehr
Gröger	2026	Digitaler CO ₂ -Fußabdruck	→ Mehr
Jut-So	2026	Jut-So Rechner	→ Mehr
Karlskrona Manifesto for Sustainability Design	2026	Sustainability Awareness Framework (SusAF)	→ Mehr
Kepler´s Project (Sustainable Computing)	2026	Kubernetes Efficient Power Level Exporter (Kepler)	→ Mehr
KOINNO	2026	Toolbox für die innovative Beschaffung	→ Mehr
Luccioni et al.	2025	AI Energy Score	→ Mehr
Schmidt et al.	2026	ML CO ₂ Impact	→ Mehr
Spécinov	2026	Kastor	→ Mehr
Sustainable Web Design	2026	What is sustainable web design	→ Mehr
Umweltbundesamt (UBA)	2018	Computer am Arbeitsplatz: Tool für Kosten und Umweltauswirkungen	→ Mehr
WholegrainDigital	2026	The original Website Carbon Calculator	→ Mehr

Podcasts

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Adesso	2023	Green Cloud - schon lange kein Hypethema mehr! Die Hyperscaler machen es vor?	→ Mehr

Softwarebibliotheken

Anthony et al.	2020	Carbontracker: Tracking and Predicting the Carbon Footprint of Training Deep Learning Models?	→ Mehr
Cloud Carbon Footprint	2026	Cloud Carbon Footprint	→ Mehr
Courty et al.	2024	mlco2/codecarbon: v2.4.1	→ Mehr
Gröger	2023	softwarefootprint	→ Mehr
Henderson et al.	2020	Experiment Impact Tracker	→ Mehr
Noureddine	2026	JoularX	→ Mehr
Petit	2023	scaphandre	→ Mehr
The Green Web Foundation	2026	CO ₂ .js	→ Mehr

Stellungnahmen

Becker et al.	2015	The Karlskrona Manifesto for Sustainability Design	→ Mehr
Green Screen Coalition	2024	Within Bounds: Limiting AI's Environmental Impact	→ Mehr

Webseiten

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Backmarket	2026	Über uns	→ Mehr
BatteryPass-Ready	2026	Battery Pass ready	→ Mehr
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	2023	Smartphones – Ökodesign-Energielabel	→ Mehr
CDP	2026	Carbon Disclosure Project	→ Mehr
circular.fashion	2026	circular.fashion	→ Mehr
Climate Change AI	2024	Climate Change AI Summer School 2024	→ Mehr
DICES	2026	Digital transformation of circular economy for industrial sustainability	→ Mehr
Digital Sustainability Center (DISC)	2024	Awesome and Dark Tactics	→ Mehr
ECO:DIGIT	2026	Veröffentlichungen	→ Mehr
ECO:DIGIT	2026	ECO:DIGIT: IT-Nachhaltigkeit messbar machen	→ Mehr
Engagement Global	2026	Kompass Nachhaltigkeit	→ Mehr
EPEAT	2026	EPEAT – Global Electronics Council	→ Mehr
ESCADE	2026	ESCADE - Energy-Efficient Large-Scale Artificial Intelligence for Sustainable Data Centers	→ Mehr
Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik	2026	Green ICT - Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland	→ Mehr
Green-AI Hub Mittelstand	2026	Green-AI Hub Mittelstand	→ Mehr
Greenspector	2026	Greenspector	→ Mehr
Green Software Foundation	2025	Green Software Patterns	→ Mehr
Grow Circular	2021	9R Framework – Circular Business Models	→ Mehr
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung	2026	Data Center	→ Mehr
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung	2026	FAIR - Das Universum im Labor	→ Mehr
GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung	2026	Green IT Cube: Höchstleistungsrechenzentrum für GSI und FAIR	→ Mehr

Webseiten

Autor*in	Jahr	Titel	Link
Hugging Face	2026	Hugging Face	→ Mehr
ITU	2026	AI for Good	→ Mehr
Kepler's Project	2026	Kubernetes Efficient Power Level Exporter (Kepler)	→ Mehr
Konsortium des TwinSpace Projekts	2026	LPDL – Eine maßgeschneiderte Sprache zur Dokumentation von Lastprofilen	→ Mehr
Konsortium des TwinSpace Projekts	2026	TwinSpace	→ Mehr
Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis e.V.	2026	Deutscher Nachhaltigkeitspreis	→ Mehr
TCO Certified	2026	33 praktische Tipps für das Kreislaufmanagement von IT-Produkten	→ Mehr
TCO Certified	2026	Sustainable IT for Beginners	→ Mehr
Umwelt-Campus Birkenfeld	2026	KI-Referenzmodell für Energie- und Ressourceneffizienz und dessen industrielle Anwendung	→ Mehr



HELMHOLTZ