



GREEN IT – Ressourceneffiziente Cloud- und Datenwirtschaft in Deutschland

ISST-Bericht

ISST-Bericht

Green IT

Ressourceneffiziente Cloud- & Datenwirtschaft in Deutschland

Die Bedeutung der Datenwirtschaft und der Nachhaltigkeit nimmt stetig zu, und es wird zunehmend anerkannt, dass diese beiden Bereiche miteinander verflochten sind. Der steigende Energiebedarf der IT-Industrie und der daraus resultierende ökologische Fußabdruck machen Green IT zu einem kritischen Faktor für nachhaltige Entwicklungen. In Deutschland wird der Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) mit zunehmender Dringlichkeit in Bezug auf Energieverbrauch und CO₂-Emissionen betrachtet. Das Erreichen der Ziele des Pariser Klimaabkommens und die Einhaltung des Energieeffizienzgesetzes der Bundesregierung erfordern innovative Ansätze zur Reduktion der Umweltbelastung, die durch die stetig wachsende Nutzung von Cloud-Diensten und Rechenzentren hervorgerufen wird.

Die Konzepte von Green IT und Green Computing bieten Lösungsansätze, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile versprechen. Unternehmen setzen zunehmend auf ressourceneffiziente Technologien und entwickeln Strategien, um ihre IT-Infrastrukturen umweltfreundlicher zu gestalten. Die Implementierung von energieeffizienten Praktiken, wie die Optimierung von Rechenzentren und die Entwicklung von Green Software, ist dabei ein wesentlicher Bestandteil. Es wird prognostiziert, dass der Markt für grüne IT-Dienste weiterhin stark wachsen wird, was die Notwendigkeit unterstreicht, nachhaltige IT-Lösungen zu fördern und zu implementieren, um den ökologischen Fußabdruck der Datenwirtschaft zu minimieren.

Dieser Report dient als Überblick über die Chancen und Möglichkeiten von Green IT. Es wird aufgezeigt, wie Unternehmen ihre Green IT Strategie entwickeln und implementieren können und welche Potentiale für die Ressourceneffizienz als auch für den ökologischen Fußabdruck bestehen.

ISST - Berichtreihe:

In der Reihe der »ISST-Bericht« veröffentlicht das Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST seine White Paper. Thematisch beleuchtet es Trends und Technologien in der Informatik und greift innovative Themen aus einigen Forschungsprojekten des Instituts auf. Sie geben Einblicke in den aktuellen Stand der Forschung zum Thema »Innovationen aus Daten«, dem Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer ISST.“

Autor*innen

Heinrich Pettenpohl
Inan Gür
Rebecca Schmook
Brian-Frederik Jahnke
Vanessa Bertke
Angelina Koch

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Boris Otto

ISST-Bericht

ISSN 0943-1624

Publiziert: Mai 2025

Kontakt

Fraunhofer-Institut für
Software- und Systemtechnik ISST
Emil-Figge-Straße 91
44227 Dortmund
info@isst.fraunhofer.de
Tel.: +49 231 97677-0

Inhalt

ISST-Bericht	2
1 Green IT – Ressourcenschonung in der Datenwirtschaft	5
2 Green IT: Effizienz und Vertrauen durch nachhaltige Konzepte	8
2.1 Beschreibung und Definition	8
2.2 Ziele, Vorteile und Maßnahmen von Green IT	9
2.3 Green IT-Strategien in Unternehmen	11
3 Effizient und ressourcenschonend in der Cloud – Green Cloud.	17
3.1. Cloud Nutzung und Relevanz der Cloud in Deutschland	17
3.2. Energieverbrauch und CO2 Emissionen von Rechenzentren	20
3.3 Edge Computing	22
4 Green Software Engineering und Künstliche Intelligenz	25
4.1 Green Software Engineering	25
4.2 Green IT und Künstliche Intelligenz	28
5 Wie das Fraunhofer ISST Unternehmen unterstützt	31
Kontakt	33
Literaturverzeichnis	34
Impressum	41

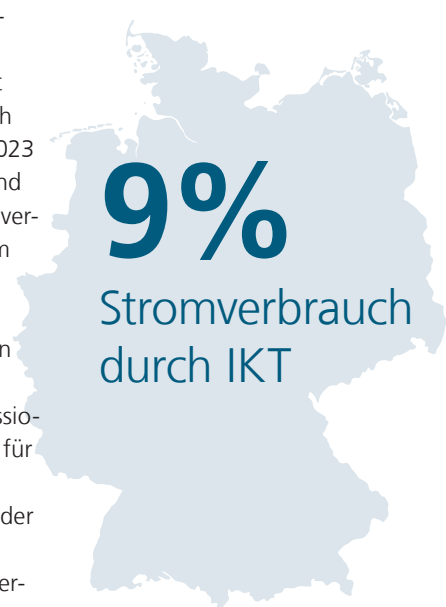
1 Green IT – Ressourcenschonung in der Datenwirtschaft

Innovativ, effizient, umweltfreundlich – die Potentiale von Green IT

Das Thema Nachhaltigkeit spielt heutzutage eine immer wichtigere Rolle, insbesondere im Hinblick auf die Herausforderungen, die der Klimawandel mit sich bringt. Auch der Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sieht sich mit der Thematik konfrontiert. Nicht nur verbraucht die IKT-Branche erhebliche Mengen an Ressourcen und Energie – sie bietet auch Einsparpotenzial. In Deutschland lag der Stromverbrauch im Bereich der IKT-Branche im Jahr 2023 bei rund 50TWh, bei einem Bruttostromverbrauch von 517 TWh in Deutschland macht dies rund neun Prozent des Gesamtstromverbrauchs aus oder entspricht dem gesamten jährlichen Stromverbrauch von Portugal [1-3]. Bis 2033 soll der Strombedarf der IKT-Branche weiter auf 72 TWh im Jahr ansteigen.

Um den Verpflichtungen des Pariser Klimaabkommens nachzukommen, will die EU-Kommission in Europa bis 2040 die Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 90 Prozent senken¹. Unternehmen sind zur Erreichung des Ziels aufgerufen, ihren Anteil beizusteuern und ihre Emissionen zu reduzieren. Auch die Bundesregierung setzt mit dem Energieeffizienzgesetz Richtlinien für Energieeinsparmaßnahmen fest. Darin werden unter anderem der Aufbau und die Gestaltung von Rechenzentren behandelt, denn durch die steigende Nutzung von Cloud Computing wird der Ausbau von Rechenzentren weiter vorangetrieben.

Mit technologischem Fortschritt und steigender Anzahl von IT-Geräten gehen ein Ressourcenverbrauch und zunehmende CO₂-Emissionen, die mit umweltschädlichen Auswirkungen verbunden sind, einher. Die zunehmende Bedeutung von Green IT steht auch im direkten Zusammenhang mit der European Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), die Unternehmen verpflichtet, ihre Emissionen offen zulegen und konkrete Einsparungsziele sowie Maßnahmen zur Zielerreichung darzulegen. Insbesondere Unternehmen der IT-Branche, aber auch solche aus der Industrie, die ihre Produktionsprozesse zunehmend digitalisieren und KI einsetzen, müssen die Umweltauswirkungen ihrer IT-Infrastrukturen berücksichtigen. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die Emissionen der IT präzise zu messen und Ineffizienzen zu identifizieren, insbesondere in eigenen Rechenzentren, in privaten Cloud-Umgebungen sowie in komplexen Edge Cloud-, Multi-Cloud- und hybriden Cloud-Szenarien. Die Implementierung nachhaltiger IT-Lösungen ist daher nicht nur ein strategischer Imperativ zur Erfüllung regulatorischer Anforderungen, sondern auch ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion des ökologischen Fußabdrucks und zur Förderung einer nachhaltigen Unternehmensentwicklung. Daher ergibt sich zunehmend die Notwendigkeit von nachhaltigen Lösungen, mit denen sich auch Unternehmen und Organisationen auseinandersetzen müssen. Die Notwendigkeit von Green IT wird durch die Herausforderungen der zunehmenden Netzwerkengpässe, die sich aus dem steigenden Bedarf an Datentransfers ergeben, sowie durch Energieengpässe und die unbeständige Bereitstellung erneuerbarer Energien verstärkt. Zusätzlich erschweren unzureichende Möglichkeiten zur Energiespeicherung und die damit verbundene Ineffizienz eine nachhaltige Nutzung von IT-Ressourcen, was die Dringlichkeit nachhaltiger Lösungen in der IT-Infrastruktur unterstreicht.



9%

Stromverbrauch
durch IKT

¹ https://germany.representation.ec.europa.eu/news/eu-kommission-empfiehl-klimaziel-fur-2040-90-prozent-weniger-emissionen-2024-02-06_de

Green IT adressiert diese Probleme des hohen Ressourcen- und Energieverbrauchs, indem es sich auf die Entwicklung und den Einsatz von umweltfreundlicheren Technologien und Praktiken konzentriert. Green IT wird definiert durch umweltverträgliche Produkte und Dienstleistungen der Informations- und Kommunikationstechnik sowie die Nutzung von IKT zur Umweltschonung [4]. So umschließt Green IT sowohl das Design, die Herstellung und Nutzung sowie die Entsorgung von umweltverträglichen Produkten und Dienstleistungen der IKT.

Darüber hinaus wird die Relevanz von Green IT Services durch das prognostizierte Marktwachstum für die nächsten Jahre deutlich. Verschiedene Marktforschungsinstitute sagen dabei ein globales Marktwachstum von mindestens zehn Prozent und teilweise über 17 Prozent voraus. Das geschätzte Marktvolumen liegt dabei je nach Marktforschungsinstitut bei 30 bis 50 Mrd. USD im Jahr 2030 (siehe Abbildung 1). Gemäß des Marktforschungsinstituts Market Research Future gewinnen grüne Technologien, die Entwicklung fördern und gleichzeitig Umweltschäden minimieren, an Bedeutung. Trotz hoher Kosten für umweltfreundliche Produkte und Lösungen unterstützen öffentliche und private Initiativen gegen den Klimawandel den Markt. Insbesondere grüne Rechenzentren, die energieeffiziente Technologien verwenden, sind aufgrund ihres hohen Energiebedarfs ein wachsender Marktsektor. Die Vorteile nachhaltiger Lösungen gewinnen an Anerkennung. Diese steigende Anerkennung lässt erwarten, dass der Markt für grüne Technologien in den kommenden Jahren weiterwächst [5]. Laut der Organisation Straits Research treiben die wachsenden Umweltbedenken und der Fokus auf die Reduzierung von Kohlenstoffemissionen Unternehmen dazu, nachhaltigere Geschäftsmodelle zu entwickeln. Auch Microsoft, AWS und Google haben sich zum Ziel gesetzt, bis 2030 kohlenstoffnegativ zu werden und bis 2050 alle bisher ausgestoßenen Emissionen zu neutralisieren². Diese Entwicklungen steigern die Nachfrage nach grünen IT-Dienstleistungen, da Unternehmen sowohl regulatorischen Anforderungen gerecht werden müssen als auch aufgrund ihrer umweltfreundlichen Ausrichtung neue Kunden gewinnen möchten [6].

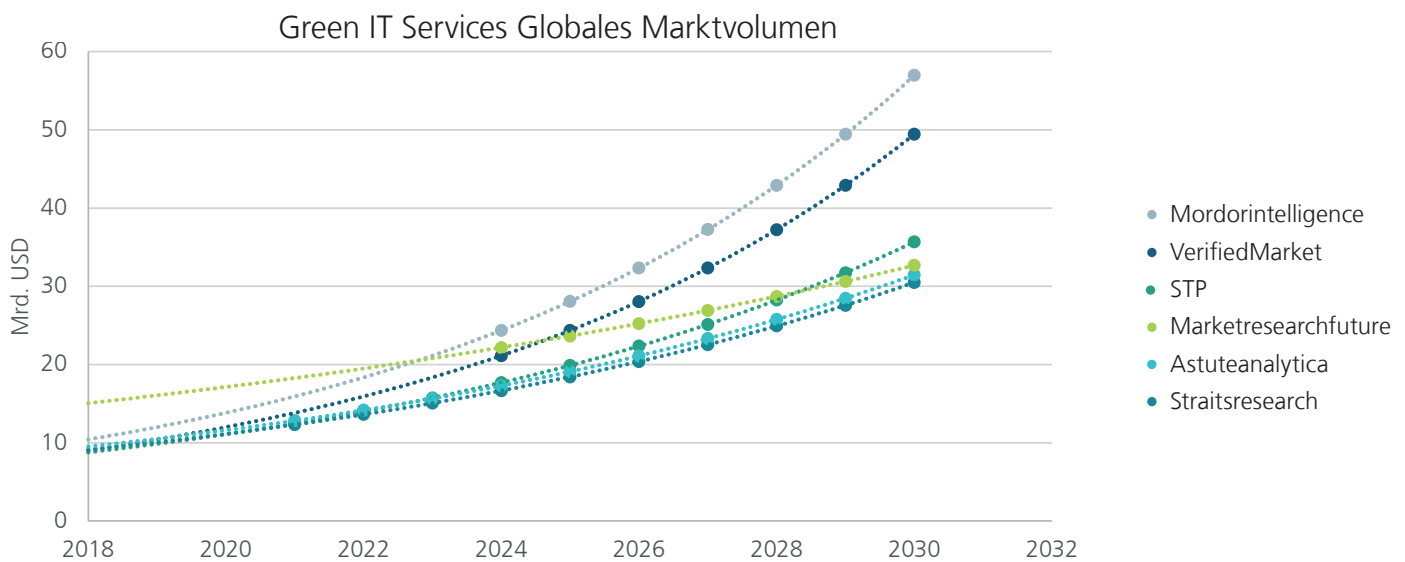


Abbildung 1: Green IT Services prognostiziertes globales Marktwachstum³⁴⁵⁶⁷⁸

- 2 <https://news.microsoft.com/de-de/features/microsoft-im-einsatz-fuer-nachhaltigkeit/>
- 3 <https://sustainabletechpartner.com/news/green-it-services-market-forecast-sustainability-opportunities-remain-strong/>
- 4 <https://www.verifiedmarketreports.com/product/green-information-technology-it-services-market/>
- 5 <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/green-it-services-market>
- 6 <https://straitresearch.com/report/green-it-services-market>
- 7 <https://www.astuteanalytica.com/industry-report/green-it-services-market>
- 8 <https://www.marketresearchfuture.com/reports/green-technology-and-sustainability-market-10473>

Chancen von Green IT

Nachhaltige Lösungen und Maßnahmen mittels Green IT bieten zahlreiche Chancen für Unternehmen, ihre Umweltbilanz zu verbessern und zugleich wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Der Energieverbrauch von IT-Systemen kann durch die Implementierung energieeffizienter Technologien und Methoden erheblich verbessert werden. Dies führt wiederum zu einer Senkung der Betriebskosten sowie einer Verringerung der CO₂-Emissionen und anderer Umweltbelastungen.

Neben den positiven nachhaltigen Aspekten und wirtschaftlichen Vorteilen kann die Umsetzung von Green IT zur Verbesserung der Auswirkung und des Images von Unternehmen beitragen. Viele Kunden und Geschäftskunden legen Wert auf umweltfreundliche Methoden und Lösungen. »Green Marketing« ist mittlerweile eine weit verbreitete Marketingstrategie. Durch die Betrachtung von Nachhaltigkeitsaspekten können Unternehmen im Marktwettbewerb bestehen und bleiben konkurrenzfähig.

Gegenstand dieses Whitepaper

Dieses Whitepaper des Fraunhofer ISST verschafft einen aktuellen Überblick in die Thematik Green IT, indem es die Vorteile und notwendigen Maßnahmen für eine erfolgreiche Gestaltung von Green IT in Unternehmen beleuchtet. Insbesondere wird in diesem Zusammenhang ein Fokus auf die Rolle des Cloud Computings und der damit einhergehenden Gestaltung von Rechenzentren gelegt, wie am Beispiel des Edge Computing als Option zum Cloud Computing gezeigt wird. Es werden aktuelle Trends identifiziert und die zukünftige Rolle nachhaltiger IT-Infrastrukturen betont. Des Weiteren werden der Einfluss und die Auswirkungen auf Green Software Engineering thematisiert und abschließend die Auswirkungen Künstlicher Intelligenz auf den Bereich der Green IT betrachtet. Dieses Whitepaper dient Unternehmen als Leitlinie, um den wachsenden Herausforderungen durch computing-intensive Anwendungen, steigende Datenmengen und komplexere IT-Landschaften zu begegnen. Es zeigt auf, wie Unternehmen durch eine ressourcenschonende IT-Infrastruktur marktfähig bleiben, Regularien erfüllen und sich an aktuellen Benchmarks orientieren.



2 Green IT: Effizienz und Vertrauen durch nachhaltige Konzepte

2.1 Beschreibung und Definition

Der Begriff des Green IT geht bis in die 1990er Jahre zurück, jedoch gewann das Thema erst mit der Verbreitung des Internets und dem Anstieg an Endgeräten an Aufmerksamkeit [7]. Unter Green IT verstehen sich im Allgemeinen umweltverträgliche Produkte und Dienstleistungen in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), sowie die Nutzung von IKT zur Umweltschonung. IKT umfasst Technologien, die Informationen speichern, verarbeiten oder übertragen, wie beispielsweise Computer und Server, Netzwerktechnologien oder Telekommunikationsgeräte. Green IT schließt den gesamten Lebenszyklus der Technologien ein, von der Herstellung über das Design und die Nutzung bis hin zur Entsorgung. Insbesondere werden die Auswirkungen auf das Klima und andere Umwelteinwirkungen, wie beispielsweise die Inanspruchnahme kritischer Rohstoffe, berücksichtigt [4].

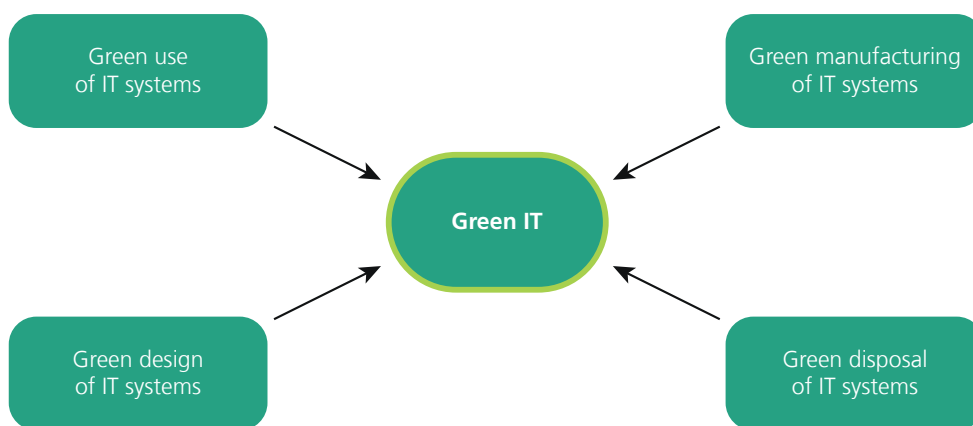


Abbildung 2: Aspekte von Green IT nach [8]

Mit dem Begriff Green IT geht auch der Begriff Green Computing bzw. Green Cloud Computing einher. Die Grenzen zwischen Green IT und Green Computing verschwimmen und so werden sie häufig als Synonym verwendet [9]. Green Cloud Computing fokussiert sich vor allem auf die Nutzung und Gestaltung umweltfreundlicher Rechenzentren sowie die Entwicklung grüner Netzwerke und grünem Datenmanagement [10]. Dabei umschließt Green Computing ebenfalls, wie Green IT, den gesamten Lebenszyklus - von der Entwicklung über die Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung - von Computern, Chips und anderen Technologiekomponenten bis hin zu Servern mit Blick auf eine Begrenzung der Umweltschädigungen. Kohlenstoffemissionen sollen reduziert werden und der Energieverbrauch von Herstellern, Rechenzentren und Endnutzenden gesenkt werden [9].

Es kann in »Green-through-IT« und »Green IT« unterschieden werden. Green IT umfasst die Maßnahmen, die zu einem energieeffizienten Betrieb führen und zielt auf die Vermeidung von Emissionen und Energie ab. Beispielsweise kann dazu die elektronische Zustellung von Dokumenten zählen. Bei »Green-through-IT« dient die IT als Ermöglicher von Energieeffizienz [11]. Dies kann beispielsweise der Einsatz von Videokonferenzen sein, um Geschäftsreisen zu vermeiden [12]. Ein ähnliches Ziel verfolgt die Perspektive »IT-for-Green«. IT wird als Problemlöser eingesetzt, um Umweltbelastungen zu reduzieren, beispielsweise durch intelligente (Echtzeit-) Steuerung von Logistiksystemen [13].

2.2 Ziele, Vorteile und Maßnahmen von Green IT

Da Green IT den gesamten Produktlebenszyklus von IT-Produkten und -Geräten umschließt, beginnen die Maßnahmen für eine nachhaltige IT-Gestaltung bereits bei der Gestaltung und Herstellung von IT-Produkten. Das Design und die Herstellung von Hardware sollten auf Langlebigkeit ausgerichtet sein, damit die Geräte möglichst lange eingesetzt und keine Ressourcen verschwendet werden. Die EU begegnet der Problematik bereits mit Gesetzen wie der Ökodesign-Verordnung, die die umweltgerechte Gestaltung von Produkten reguliert [14]. Zudem sollte bei der Hardwareherstellung und Softwareentwicklung auf eine Verringerung der Ressourcen- und des Energieverbrauchs geachtet werden. Ein weiterer Aspekt ist eine nachhaltige und ausbaufähige Softwarearchitektur [15]. Darüber hinaus spielen auch soziale und faire Arbeitsbedingungen in einem nachhaltigen Herstellungsprozess eine Rolle [7].

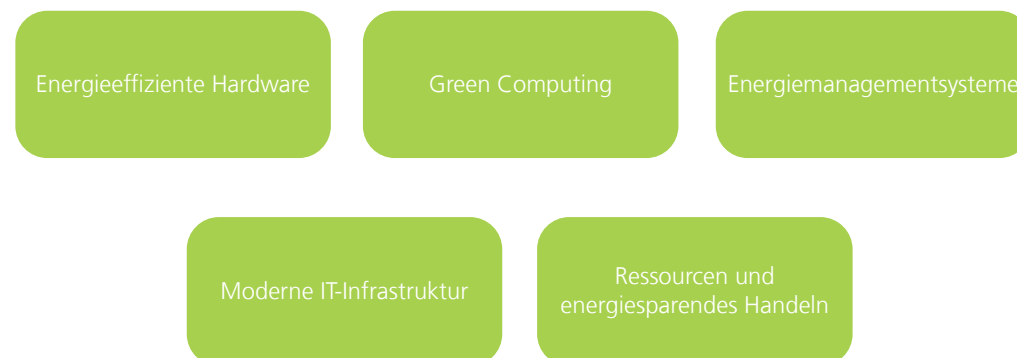


Abbildung 3: Ziele und Maßnahmen von Green IT

Unternehmen können bereits bei der Auswahl der Hardware auf umweltschonende Labels und Zertifizierungen der Hersteller achten und die Basis einer nachhaltigeren IT-Infrastruktur schaffen. Der Aufbau und die Implementierung einer modernen IT-Infrastruktur mit energieeffizienten Geräten können dazu beitragen, Energie zu sparen. Ebenso können Energiemanagementsysteme eingesetzt werden. Sie analysieren den Energieverbrauch und zeigen Chancen zum effizienteren Energieeinsatz auf [16]. Zudem können Umweltinformationssysteme, welche beispielsweise umweltrelevante Informationen in einem Unternehmen erfassen, verarbeiten und bereitstellen sollen, eingesetzt werden [17].

Insbesondere bei der Nutzung von IT in Unternehmen gibt es Maßnahmen, die Energie und Ressourcen sparen. Das beginnt bereits bei der Verwendung des Stand-by-Modus von Geräten, das zur Reduzierung des Energieverbrauchs führt. Ein papierloses Büro bzw. das Vermeiden von Ausdrucken spart zudem nicht nur Ressourcen, sondern auch Materialkosten z.B. für Papier, Toner oder Drucker. Darüber hinaus führen mobile Arbeitsprozesse, wie die Ermöglichung von Homeoffice zu einer Verringerung von Fahrtwegen [18] Und eine fachgerechte und energiesparende Entsorgung sowie das Recycling von Altgeräten zu Einspareffekten.

Besonders Cloud Computing ist ein wesentlicher Bestandteil von Green IT. Rechenzentren sind zumeist energieeffizienter als unternehmensinterne Server [19]. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Cloud-Anbieter aufgrund höherer Nutzungsdichten und energieoptimierter Hardware über erweiterte Möglichkeiten verfügen, ihre Rechenzentren energieeffizienter zu gestalten. Im Vergleich zu lokalen IT-Abteilungen ergibt sich aus der Größe der Rechenzentren ein signifikanter Anreiz, deren Betrieb effizient zu optimieren [20].

Für Unternehmen ergeben sich durch Green IT-Maßnahmen eine Reihe von wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen. Durch energieeffizientere Hardware und optimierte Prozesse lassen sich die Energiekosten senken und eine bessere Energieeffizienz erzielen. Des Weiteren werden durch die Implementierung von Green IT die Treibhausgasemissionen gesenkt und die Unternehmen tragen zum Umweltschutz bei. Die Relevanz von Green IT wird nicht nur durch das wachsende Engagement der Politik, die Unternehmen durch entsprechende gesetzliche Regelungen zur Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit zu bewegen, unterstrichen, sondern auch durch die Notwendigkeit, im Marktwettbewerb attraktiv für Kunden zu bleiben. Das steigende Bewusstsein der Verbraucher für nachhaltige Praktiken hat dazu geführt, dass umweltfreundliche Produkte zunehmend nachgefragt werden, was Green IT als strategisches Instrument zur Stärkung des Kundenvertrauens positioniert. Unternehmen, die eine nachhaltige Wettbewerbsstrategie verfolgen, können nicht nur ihre Wettbewerbsfähigkeit langfristig sichern, sondern gesetzliche Regularien wie den CSRD effizient erfüllen [21].



Abbildung 4: Vorteile für Unternehmen durch Green IT ⁹

⁹ <https://www.deloitte.com/de/de/issues/sustainability-climate/green-it-als-herausforderung-und-chance.html>

Herausforderungen:

Neben Vorteilen stellen sich auch Herausforderungen mit Green IT. Im Bereich Green IT kann mangelndes Interesse an nachhaltigen Praktiken eine erhebliche Herausforderung für Unternehmen darstellen. Oftmals fehlt es an einem Bewusstsein für den hohen Energie- und Ressourcenverbrauch in der IT, was die Dringlichkeit nachhaltiger Maßnahmen untergräbt. Eine unzureichende Kommunikation zwischen den Abteilungen trägt zusätzlich zu diesem Problem bei, da Informationen über den Ressourcenverbrauch und die notwendigen Maßnahmen nicht effektiv geteilt werden. Dies führt zu einem Mangel an Feedback zu den tatsächlichen Auswirkungen von implementierten Maßnahmen, wodurch sich die Wirksamkeit der Initiativen nicht optimal entfalten kann. Darüber hinaus können fehlende Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten innerhalb der Organisation dazu führen, dass nachhaltige Praktiken nicht systematisch verfolgt werden. Schließlich befürchten viele Mitarbeitende negative Einwirkungen, durch die Implementierung neuer, umweltfreundlicher Technologien ihre Performance einzubüßen, was die Bereitschaft zur Veränderung weiter hemmt.

Eine weitere Herausforderung ist ein Rebound-Effekt, der entstehen könnte: In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass eine bessere Energieeffizienz zu höherer Nutzung und wiederum größerem Verbrauch führen [22]. Diese Faktoren zusammen verdeutlichen, wie wichtig es ist, ein ganzheitliches und integriertes Konzept für Green IT zu entwickeln, um die Herausforderungen effektiv anzugehen.

2.3 Green IT-Strategien in Unternehmen

Bei der Implementierung von Green IT bzw. Green Computing sehen sich Unternehmen jedoch auch mit Hindernissen konfrontiert. Ein einheitliches Vorgehen zur Umsetzung eines nachhaltigen IT-Managements fehlt bislang [23]. Es muss zunächst eine geeignete IT-Infrastruktur aufgebaut bzw. die bestehende angepasst werden, um die Wege zu Green IT zu eröffnen. Geeignete Tools und Standards müssen ausgewählt und migriert werden. Dabei gibt es eine Reihe technischer Herausforderungen wie beispielsweise Schnittstellenprobleme zwischen bestehender Software und neuer Hardware. Außerdem ist das Kosten-Nutzenverhältnis von betrieblichen Umweltinformationssystemen unklar. Die geringe Verankerung des Umweltmanagements in der Unternehmenskultur und die fehlende Anreize und Sensibilisierung der Mitarbeitenden für Umweltmanagement sind darüber hinaus mögliche Hindernisse [24].

Unternehmen können darauf reagieren und das Thema Nachhaltigkeit durch externes Knowhow oder Fortbildungen im Unternehmen vorantreiben. Darüber hinaus können spezielle Positionen geschaffen werden. Beispielsweise wird ein Sustainability Management eingesetzt. Dieses befasst sich etwa mit dem Aufbau eines Nachhaltigkeitsmanagements im Unternehmen oder mit dem Reporting und der Überwachung von Nachhaltigkeitskennzahlen, wie beispielsweise dem Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) zur Messung von Treibhausgasmissionen oder den Einsatz erneuerbarer Energien. Des Weiteren sensibilisiert es die Mitarbeitenden für das Thema Nachhaltigkeit. Beispielsweise setzt Bayer eine Green-IT Koordination ein, die zwischen Geschäftsleitung und den Abteilungen die Green-IT-Initiativen abstimmt.

Das GHG Protocol misst die Treibhausgasemissionen von Unternehmen. Generell werden darin drei Scopes unterschieden: Scope 1 umfasst die direkten Emissionen von Unternehmen. Dies schließt den Verbrauch von Erdgas, Heizöl oder Benzin durch Unternehmensgebäude oder Fahrzeuge ein. Scope 2 stellt indirekte Emissionen dar und macht für viele Unternehmen den größten Anteil aus. Dazu gehören vor allem der Bezug von Strom oder Wärme. Scope 3 umfasst die anderen indirekten Emissionen und beinhaltet beispielsweise den Transport von eingekauften Materialien, von geleasteten Gütern oder Reisen von Mitarbeitenden [25].

Das Green-IT-Konzept – also der systematische Einsatz von energie- und ressourcenschonender Informationstechnik – wird im Unternehmen zum Dreh- und Angelpunkt, sobald man die Emissionsbilanz nach dem GHG Protocol prüfungsfest machen will. Denn praktisch alle digitalen Aktivitäten erscheinen irgendwo in den drei Scopes: Diesel-Notstromer oder Kältemittel-Leaks fallen unter Scope 1, der Strom für Rechenzentren und Büro-IT unter Scope 2, und Herstellung, Transport, Nutzung sowie End-of-Life der Hardware bilden umfangreiche Teile von Scope 3 (vor allem Kategorie 1 »Purchased Goods & Services«). Indem die IT-Abteilung ihre Infrastruktur konsequent virtualisiert, überflüssige Server im Leerlauf abschaltet und Kühlung sowie Leistungsaufnahme über DCIM-Systeme optimiert, sinkt der absolute Stromverbrauch messbar und dies reduziert sofort die Scope-2-Emissionen (GHG Protocol).

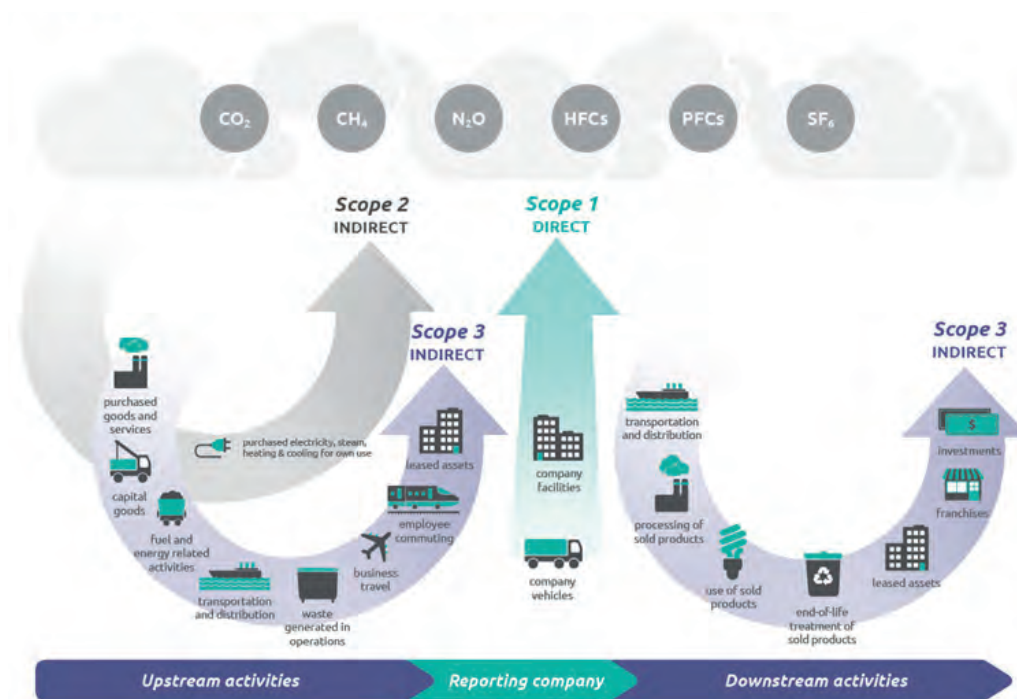


Abbildung 5: Greenhouse Gas Protokoll Übersicht¹⁰

Green IT-Strategien

Im digitalen Zeitalter ist es für Unternehmen unerlässlich, auf die sich schnell verändernden Märkte zu reagieren und eine klare Strategie zu entwickeln, um den Herausforderungen ihrer Umgebung gerecht zu werden. Eine nachhaltige Strategie, insbesondere im Bereich Green IT, ermöglicht es Unternehmen, klare Ziele und Maßnahmen zu setzen, um ihre IT-Systeme energieeffizient zu gestalten und die Umweltbelastung zu minimieren. Eine Strategie kann dabei unterschiedliche Formen annehmen. Sie kann als Muster für einen kontinuierlichen Strom von Handlungen dienen, eine Organisation innerhalb ihres Umfelds einordnen und als Perspektive eines langfristigen Ziels dienen [26]. Unternehmen, die eine spezifische Strategie für Green IT verfolgen, setzen klare Ziele und Maßnahmen, um ihre IT-Systeme energieeffizient zu gestalten, Ressourcen zu schonen und ihre Umweltbelastung zu minimieren. Diese Ziele sind häufig eng mit den übergeordneten Unternehmenszielen verknüpft, was zu einer strukturierten und zielgerichteten Vorgehensweise führt. Unternehmen, die in energieeffiziente Technologien investieren und fortschrittliche Managementtools zur Überwachung ihres Energieverbrauchs nutzen, profitieren nicht nur von Kosteneinsparungen, sondern erfüllen auch neue Umweltgesetze und reduzieren das Risiko von Non-Compliance.

¹⁰ <https://www.assekurata.de/glossary/greenhouse-gas-protocol/>

In diesem Kontext können spezielle Positionen, wie beispielsweise ein Sustainability Management oder Green-IT-Koordinierende, entscheidend dazu beitragen, das Nachhaltigkeitsmanagement zu optimieren und die Mitarbeitenden für umweltfreundliche Initiativen zu sensibilisieren.

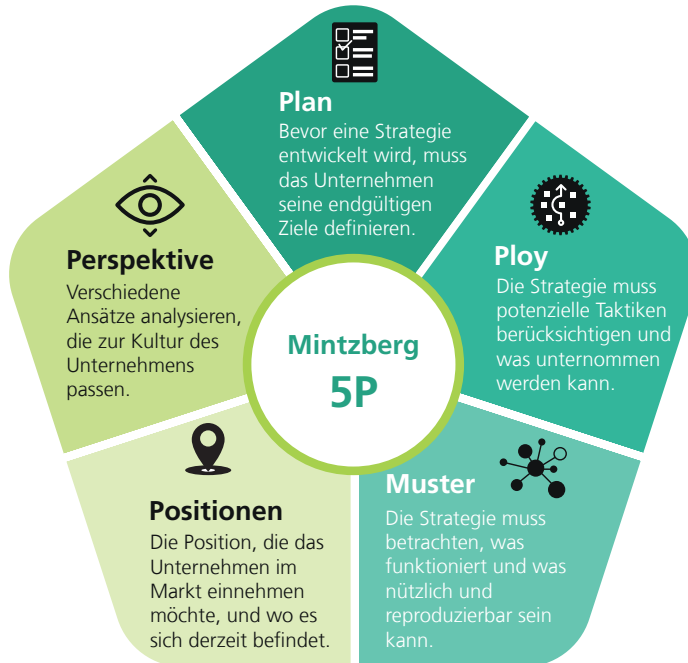


Abbildung 6: Mintzberg, H.: Das Strategie-Konzept I: Fünf Ps für Strategie. *California Management Review* (1987)

Ohne eine solche strategische Ausrichtung agieren Unternehmen oft ad hoc, ohne langfristige Planung oder klare Ziele. Dies kann zu ineffizientem Ressourcenverbrauch und höheren Betriebskosten führen, da veraltete und weniger effiziente Systeme in Betrieb bleiben. Das Fehlen von Investitionen in moderne Technologien und der Mangel an systematischen Energieeinsparmaßnahmen können höhere Gesamtbetriebskosten zur Folge haben. Außerdem riskieren diese Unternehmen, gegen Umweltvorschriften zu verstoßen, was nicht nur finanzielle Strafen nach sich ziehen kann, sondern auch dem Unternehmensimage schadet. Der Artikel »Governance and Management Framework for Green IT« von [27] diskutiert die Notwendigkeit eines strukturierten Rahmens zur Verwaltung und Governance von Green IT-Praktiken in Organisationen, um deren korrekte Implementierung zu gewährleisten und zu standardisieren. Trotz der steigenden Anzahl von Best Practices gibt es keine spezifischen Standards, was die Entwicklung eines solchen Rahmens unerlässlich macht. Das vorgeschlagene Framework basiert auf COBIT 5, einem allgemeinen Framework für die Governance und das Management von IT, und zielt darauf ab, Organisationen eine umfassende Anleitung für die Implementierung und Prüfung ihrer Green IT-Praktiken zu bieten.

Die praktische Anwendung und Validierung des Rahmens wurden durch Fallstudien demonstriert, bei denen IT-Zentren einer Prüfung unterzogen wurden, um die Konsistenz und Anwendbarkeit der definierten Merkmale zu verifizieren. Diese Studien haben nicht nur die Präzision des Audit-Frameworks verstärkt, sondern auch dessen Anwendbarkeit in realen Szenarien bestätigt, wodurch wichtige Einsichten für zukünftige Verbesserungen und die Weiterentwicklung des Rahmens gewonnen wurden. Der Artikel betont die Bedeutung von Green IT sowohl aus ökologischer als auch aus geschäftlicher Sicht und stellt fest, dass eine gut durchdachte Governance und ein kompetentes Management von Green IT dazu beitragen können, die Umweltbelastungen signifikant zu reduzieren und gleichzeitig den Betrieb und die Wettbewerbsfähigkeit von Organisationen zu verbessern.

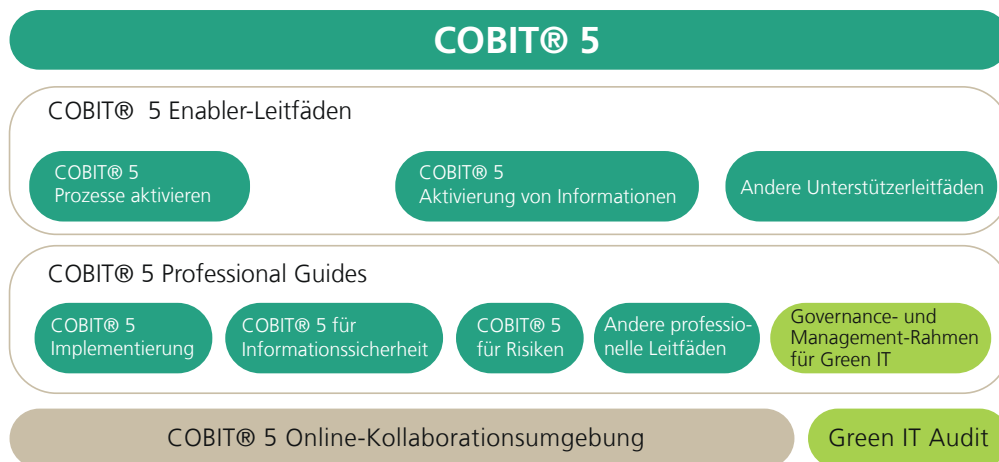


Abbildung 7: Governance- und Management-Rahmenwerk für Green IT in der COBIT 5-Produktfamilie [27]

Der Artikel »Green IT Strategies: A Case Study-Based Framework For Aligning Green IT With Competitive Environmental Strategies« von [28] untersucht die strategische Bedeutung und Implementierung von Green IT innerhalb von Unternehmen anhand einer Fallstudienanalyse. Der Fokus liegt darauf, wie IT-Organisationen grüne Technologien einsetzen können, um sowohl ökologische als auch wettbewerbsorientierte Unternehmensziele zu unterstützen. Die Autoren entwickeln ein Rahmenwerk, das Strategic Green IT Alignment Framework (SGITAF), welches darauf abzielt, Green IT-Initiativen mit den übergeordneten Nachhaltigkeitszielen und Geschäftsstrategien von Unternehmen in Einklang zu bringen. Dieses Framework hilft Entscheidungsträgern dabei helfen, geeignete Green IT-Strategien zu wählen, die sowohl zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen beitragen als auch die Wettbewerbsfähigkeit steigern.

Zugrundeliegende Umweltstrategie (Orsato)	Wettbewerbsvorteil Umweltstrategie	Wettbewerbsfokus Umweltstrategie	Ziel des Umweltmanagements	Ziel des IT Managements	Green IT Leistungskriterium
Strategie 1: Green IT for efficiency					
Eco-Efficiency	Kostenführerschaft	Interne Prozesse	Unterstützung Geschäftsstrategie	Umsetzung Geschäftsstrategie	Kosten
Strategie 2: Green IT for responsibility					
Beyond-Compliance-Leadership	Differenzierung	Interne Prozesse	Erfüllung von Stakeholder-Ansprüchen	Minimierung der Umweltauswirkungen	Stakeholder-Zufriedenheit
Strategie 3: Green IT for innovation					
Eco-Branding	Differenzierung	Produkte und Services	Differenzierung vom Wettbewerb	Innovative Umwelttechnologien	Technologieführerschaft
Strategie 4: Green IT for transformation					
Environmental-Cost-Leadership	Kostenführerschaft	Produkte und Services	Marktveränderung	Radikale Produktinnovation	Branchenführerschaft

Abbildung 8: Merkmale der Green-IT-Ausrichtungsperspektiven nach [28]

Die Organisation TCO Development betont die Relevanz verschiedener Aspekte für die Entwicklung einer nachhaltigen IT-Strategie wie die Festlegung eines Plans, welcher messbare Ziele für ökologische und soziale Aspekte beinhaltet, das Engagement des Managements sicherstellt und sich an technologische Veränderungen anpasst, um umfassendere organisatorische Nachhaltigkeitsziele

zu erreichen. TCO Development ist die Organisation, die für die Nachhaltigkeitszertifizierung TCO Certified verantwortlich ist, die sicherstellt, dass alle IT-Produkte einen ökologisch und sozial nachhaltigen Lebenszyklus durchlaufen. Die Zertifizierung deckt umfassende ökologische und soziale Kriterien während des gesamten Produktlebenszyklus ab, die von unabhängigen Drittorganisationen überprüft werden. In ihrem Beitrag zu nachhaltigen IT-Strategien hebt die Organisation die Relevanz von messbaren Zielen in der Strategieformulierung hervor. Laut TCO Development haben viele Organisationen sowohl im öffentlichen als auch im privaten Sektor eine Green IT-Strategie entwickelt. Sie tun sich aber oft schwer mit der Umsetzung, um sinnvolle Nachhaltigkeitsergebnisse zu erzielen. Die Entwicklung von Green IT zu nachhaltiger IT beinhaltet neben traditionellen Umweltbelangen wie der Reduzierung des Energieverbrauchs auch die Integration sozialer Verantwortlichkeiten, wie z. B. sozial verantwortliche Herstellung und Benutzerfreundlichkeit. Eine erfolgreiche Strategie erfordert das Engagement des Managements, regelmäßige Überwachung und Aktualisierungen zur Anpassung an den schnellen technologischen Wandel. Zu den wichtigsten Bereichen gehören die Verbesserung der allgemeinen organisatorischen Nachhaltigkeit durch IT-Systeme, die Sicherstellung, dass die gekauften IT-Produkte strengen Umwelt- und Sozialstandards entsprechen, und die Aufrechterhaltung eines strukturierten Nachhaltigkeitsmanagementsystems. Beispiele für konkrete Ziele sind die Nachhaltigkeitszertifizierung von IT-Produkten durch Dritte, die Reduzierung von CO₂-Emissionen, die Verbesserung des digitalen Informationsflusses und die Optimierung von IT-Systemen im Hinblick auf Benutzerkomfort und Leistung. Regelmäßige Strategieüberarbeitungen und Folgemaßnahmen sind entscheidend für die Ausrichtung auf die übergeordneten Nachhaltigkeitsziele der Organisation.

Ähnliche Herausforderungen einer Green IT-Strategie werden im kürzlich veröffentlichten Beitrag von Yelle Lieder (Adesso) dargestellt. Der Blogbeitrag »Green IT Strategie - Strategieentwicklung für eine nachhaltige IT« von [29] betont, dass viele Green IT-Initiativen aufgrund fehlender strategischer Ausrichtung scheitern. Trotz des Trends zu nachhaltigen IT-Lösungen wie »Green Coding« und Tools zur Messung des IT-Footprints mangelt es oft an einem strategischen Rahmen, der diese Maßnahmen in die Gesamtstrategie des Unternehmens einbettet. Effektive Green IT verlangt nach einer sorgfältigen Planung, die ökologische und ökonomische Ziele berücksichtigt und flexibel genug ist, sich neuen Erkenntnissen anzupassen und in bestehende Umweltmanagementsysteme wie ISO 14001 oder EMAS integriert werden kann. Der Beitrag schlägt vor, dass Green IT-Ziele und -Maßnahmen in die übergeordneten Unternehmens-, IT- und Nachhaltigkeitsstrategien eingebettet werden müssen, um Isolation zu vermeiden und echte Nachhaltigkeit zu fördern. Dazu gehört auch die Berücksichtigung der Rahmenbedingungen und der Mehrwert, den Green IT liefern soll, wobei interne Stärken und Schwächen sowie kulturelle Besonderheiten der Organisation zu beachten sind.

Es lässt sich festhalten, dass Organisationen ihre Green IT-Initiativen in eine umfassende Unternehmensstrategie integrieren müssen, um Nachhaltigkeit zu erreichen. Dies beinhaltet die Einbettung von energieeffizienten Technologien, die Optimierung von Datenzentren und die Nutzung fortschrittlicher Managementtools zur Überwachung und Steuerung des Energieverbrauchs. Ohne eine strategische Ausrichtung neigen Unternehmen dazu, ad hoc und ohne langfristige Planung zu operieren, was zu ineffizientem Ressourcenverbrauch und höheren Betriebskosten führen kann. Strategien sollten messbare Ziele enthalten und regelmäßig überwacht sowie aktualisiert werden, um sich an technologische Veränderungen anzupassen.

Ferner wird ein strukturierter Rahmen zur Verwaltung und Governance von Green IT-Praktiken basierend auf bestehenden Frameworks wie COBIT 5 empfohlen, um deren korrekte Implementierung zu gewährleisten und zu standardisieren. Für eine effektive Implementierung von Green IT ist es entscheidend, dass Unternehmen ein klares Verständnis der ökologischen und geschäftlichen Vorteile entwickeln und diese in ihre allgemeinen Geschäfts- und Nachhaltigkeitsstrategien integrieren. Die praktische Anwendung und Validierung des Rahmens durch Fallstudien demonstriert die Konsistenz und Anwendbarkeit in realen Szenarien und bietet wichtige Einsichten für zukünftige Verbesserungen.



3 Effizient und ressourcenschonend in der Cloud – Green Cloud

3.1. Cloud Nutzung und Relevanz der Cloud in Deutschland

Wenn es darum geht, energieeffizienter zu sein, so sind Rechenzentren oft durch modernere IT-Infrastruktur unternehmensinternen Servern voraus. Microsoft gibt an, mit seiner Cloud bis zu 93 Prozent energieeffizienter zu sein als unternehmenseigene Rechenzentren [\[30\]](#). Dies liegt daran, dass größere Cloud-Dienstleister eine bessere IT-Betriebseffizienz haben. Unter anderem werden durch eine Virtualisierung von Servern weniger physische Server benötigt, denn durch die Virtualisierung von Servern in Rechenzentren ist es möglich, mehrere Maschinen auf einer physischen Maschine auszuführen und somit die Auslastung der Hardware zu verbessern. Dadurch wird weniger Hardware benötigt und der Energiebedarf kann gesenkt werden. Darüber hinaus werden durch eine dynamische Skalierung nur diejenigen IT-Ressourcen aktiviert, die momentan benötigt werden [\[20\]](#).

Die Nutzung von Cloud-Diensten ist in den letzten Jahren stetig gestiegen [\[31\]](#). So hat sich auch die Nutzung von Private und Public Clouds in den letzten Jahren stark erhöht. Private Clouds sind Clouds exklusiv für ausgewählte Kunden oder Organisationen, wobei die Cloud-Infrastruktur von der Organisation oder einer dritten Partei gestellt wird. Public Clouds hingegen richten sich nicht exklusiv an ein Unternehmen und ihre Infrastrukturverwaltung liegt bei einem Service Provider [\[32\]](#).

So hat sich in Deutschland die Nutzung von Cloud Computing in Unternehmen von 2011 bis 2023 mehr als verdreifacht - von 28 Prozent Cloud-Computing-nutzenden Unternehmen im Jahr 2011 hin zu 89 Prozent im Jahr 2023 (vgl. Abbildung 9). Private Clouds wurden im Jahr 2023 von 72 Prozent der Unternehmen genutzt und 55 Prozent nutzten Public Clouds.

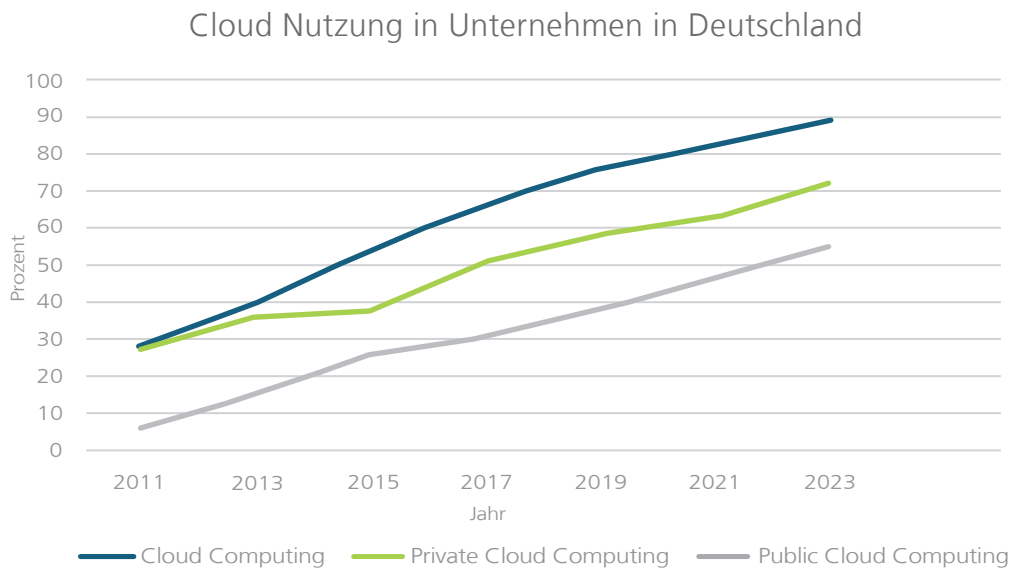


Abbildung 9: Cloud-Nutzung in Unternehmen in Deutschland¹¹

Cloud Computing ist nahezu in allen Unternehmen ein Thema. Nur für drei Prozent der Unternehmen war Cloud Computing im Jahr 2023 kein Thema mehr (vgl. Abbildung 10). Interessant ist die Verteilung von Unternehmen, für die Public bzw. Private Clouds keine Relevanz haben. Erstmals verlieren 2023 Public Clouds weniger an Bedeutung für Unternehmen als Private Clouds: 17 Prozent der Unternehmen geben an, dass Private Clouds kein Thema mehr sei, wohingehend dies nur für 15 Prozent der Unternehmen bei Public Clouds gilt. Es lässt sich daraus ableiten, dass sich für die kommenden Jahre vermutlich ein Trend von Private zur Public Cloud abzeichnet [\[39\]](#).

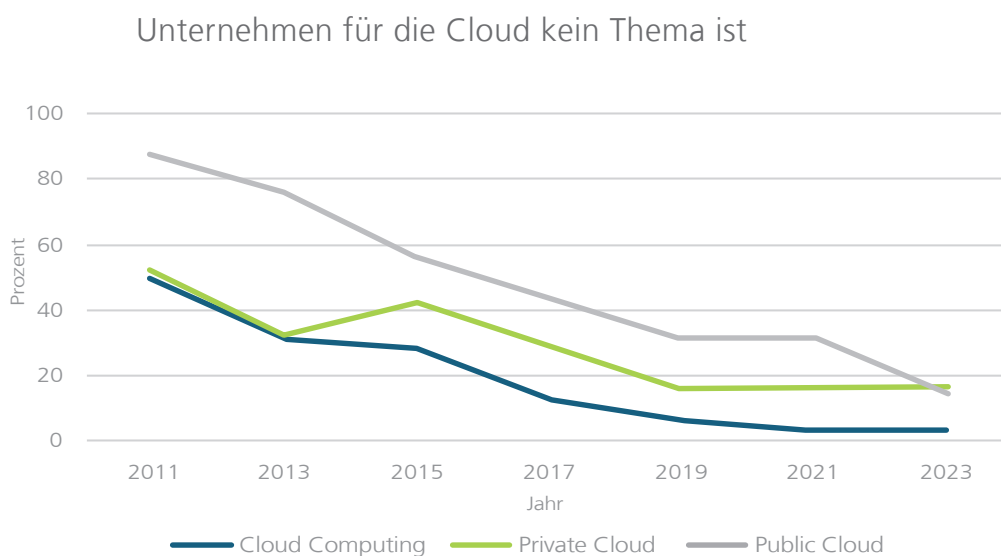


Abbildung 10: Unternehmen, für die Cloud kein Thema ist (Bitkom e.V. 2023)

¹¹ Auf Basis von Bitkom e.V. und KPMG AG 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020; Bitkom e.V. 2022, 2023; Bitkom e.V. und KPMG AG 2014.

Der Marktwert von Cloud Computing wird für das Jahr 2024 auf 0,68 Billionen US Dollar geschätzt und soll mit einer Wachstumsrate von 16,4 Prozent bis 2029 auf 1,44 Billionen US Dollar steigen [41]. Auch EU-weit investieren die Unternehmen in die Cloud Services; im Jahr 2023 kauften 45,2 Prozent der Unternehmen in der EU Cloud Computing Services (vgl. Abbildung 11; [42]).

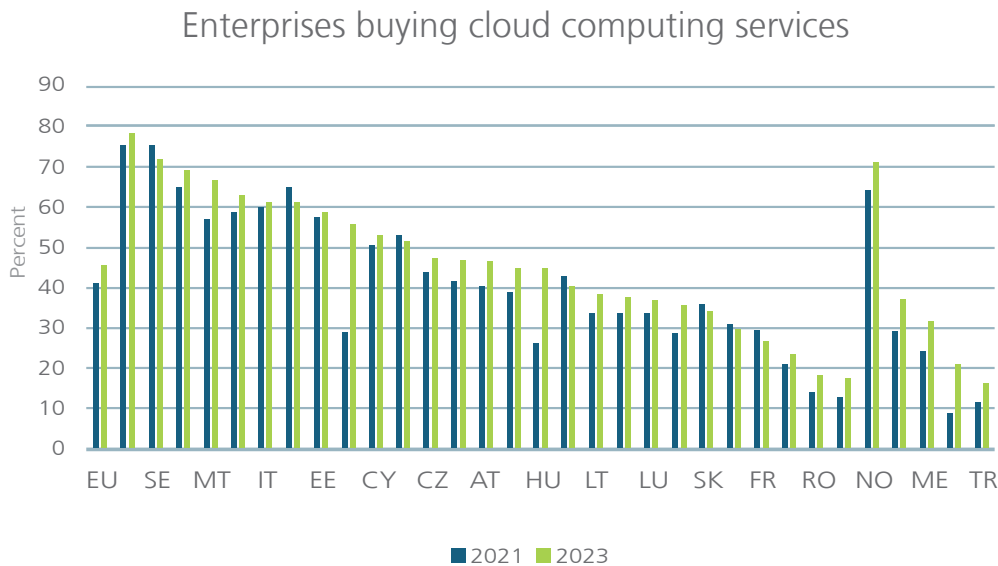


Abbildung 11: Bezogene Managed Services nach Unternehmen in der EU [42]

Die Einsatzfelder von Cloud-Anwendungen sind breit gefächert. Die meisten Unternehmen nutzen die Cloud für das Speichern von Daten. Daneben werden vor allem Webconferencing und die Rechenleistung für verschiedene Anwendungen in der Cloud betrieben (vgl. Abbildung 12). KI-Dienste werden momentan nur von einem Drittel der Unternehmen in der Cloud genutzt [39]. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass der Anteil in den kommenden Jahren weiter ansteigen wird. So planen Cloud-Anbietende aufgrund des in den nächsten Jahren massiv steigenden Rechen- und Speicherbedarfs bereits zahlreiche weitere Rechenzentren [43].

Cloud-Anwendungen für jeden Einsatzzweck

Welche Lösungen betreiben Sie in der Cloud?

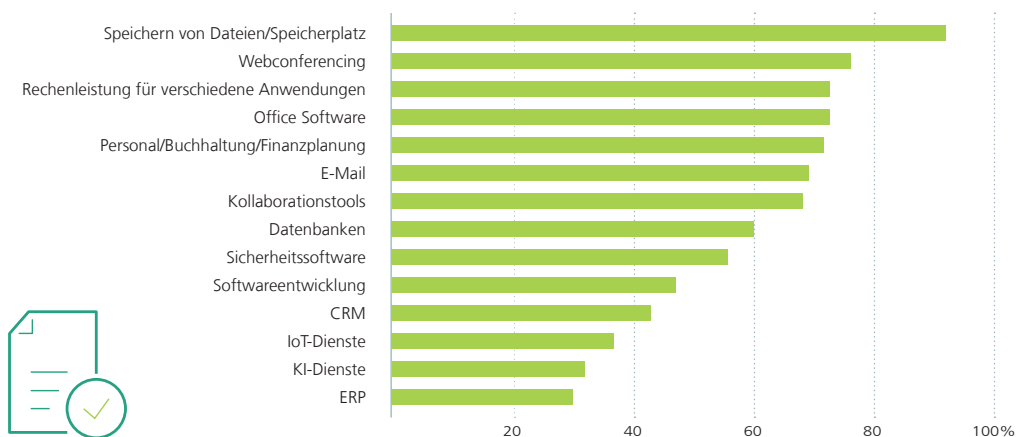


Abbildung 12: Genutzte Cloud-Anwendungen von Unternehmen [39]

Cloud gilt als klimafreundlich und sicher

Mit dem Einsatz von Cloud Anwendungen verfolgen Unternehmen laut der Bitkom Studie aus dem Jahr 2023 vor allem das Ziel der Kostenreduzierung [39]. 63% der befragten Unternehmen gaben zudem an mit Cloud CO2 Emissionen reduzieren zu wollen. In der Tat ist Cloud Computing oftmals energieeffizienter als unternehmensinterne Server. Ebenso erleichtert Cloud Computing den Unternehmen die Erstellung von Nachhaltigkeits-Reportings [39].

Darüber hinaus wollen Unternehmen mit Cloud Aktivitäten ihre IT-Lösungen auf Plattformen und SaaS Lösungen umstellen oder zielen auf eine Erhöhung der IT-Sicherheit ab. Aber auch die Digitalisierung interner Prozesse oder der Zugang zu Technologien wie IoT und KI sind Gründe für die zunehmende Cloud Nutzung von Unternehmen.

Welche Ziele verfolgen Sie mit Ihren Cloud-Aktivitäten?

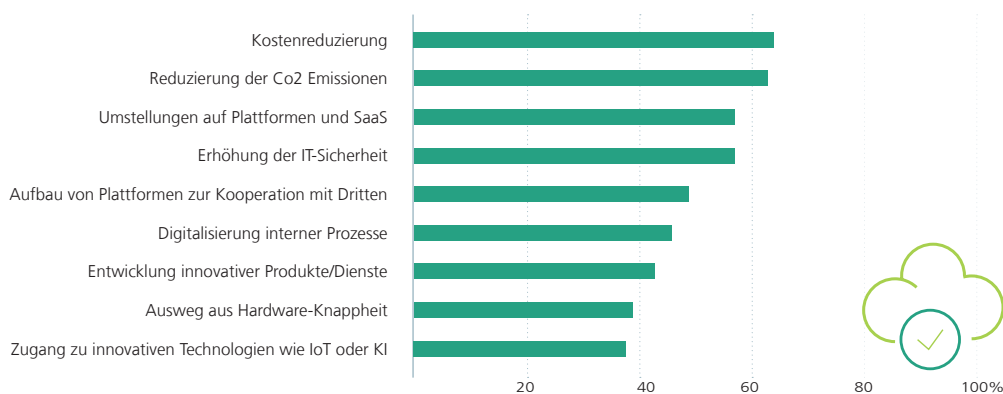


Abbildung 13: Ziele der Cloud-Nutzung [39]

3.2. Energieverbrauch und CO2 Emissionen von Rechenzentren

Der Energieverbrauch von Rechenzentren steigt stetig weiter. Laut [44] ist der Energiebedarf von 10,4 Mrd.: kW/h im Jahr auf 17,9 kW/h im Jahr 2022 gestiegen (vgl. Abbildung 14). Zum Vergleich: Der Bruttostromverbrauch in Deutschland lag 2023 bei 517 TWh [2]. Weltweit entfallen etwa vier bis fünf Prozent des Energieverbrauchs auf Rechenzentren [45]. Laut Prognosen soll der Energieverbrauch in Rechenzentren pro Jahr um rund zehn Prozent weiter ansteigen [46]. So soll nach [1] der Energiebedarf von Rechenzentren im Jahr 2033 bei 27 TWh liegen.

Obwohl der Energieverbrauch in Rechenzentren in den nächsten Jahren steigen soll, wird prognostiziert, dass die CO2-Emissionen von Rechenzentren leicht zurück gehen. Dies liegt unter anderem an dem Anteil von erneuerbaren Energien im Strommix [47].

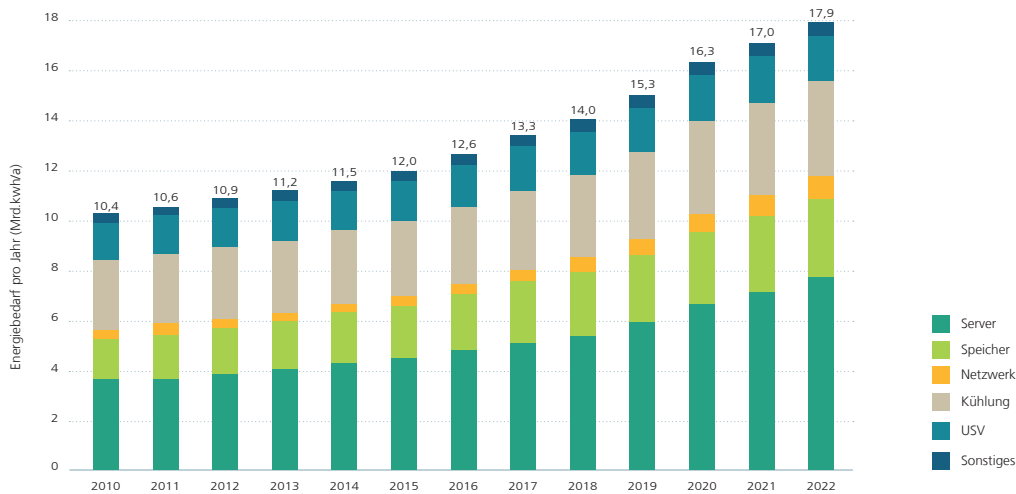


Abbildung 14: Energieverbrauch von Rechenzentren Hintemann und Hinterholzer (2022)

Aufgrund internetbasierter Dienste und den zunehmenden Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Maschinellem Lernen werden in den Rechenzentren immer leistungsstärkere Prozessoren, Arbeits- und Langzeitspeicher benötigt, deren Betrieb und Kühlung den Energiebedarf steigen lassen, prognostiziert das Fraunhofer IZM [1].

Deutschland regelt den Energieverbrauch von Rechenzentren im Energieeffizienzgesetz und gibt Regularien für die eine effizientere und nachhaltigere Nutzung von Rechenzentren vor. Neue Rechenzentren, die ab dem 1. Juli 2026 den Betrieb aufnehmen, müssen nach § 11 eine Energieverbrauchseffektivität (PUE) von kleiner oder gleich 1,2 erreichen [48].

Der PUE (Power Usage Effectiveness) ist ein Index für die Abschätzung der Energieeffizienz eines Rechenzentrums. Dabei wird die Gesamtmenge der Energie im Rechenzentrum durch die für den Betrieb der IT-Geräte benötigte Energiemenge geteilt. Der optimale Wert liegt demnach bei 1.

$$PUE = \frac{\text{Gesamtmenge der Energie im Rechenzentrum}}{\text{für den Betrieb der IT-Geräte benötigte Energiemenge}}$$

Ein PUE von 1,2 ist so nur erreichbar, wenn die genutzte IT-Leistung im optimalen Bereich (etwa 80 Prozent) liegt. Zudem wird im Energieeffizienzgesetz reguliert, dass Rechenzentren ab 2024 die Hälfte und ab 2027 ihren gesamten Strombedarf aus erneuerbaren Energien decken müssen [48]. Google unterschreitet diesen Wert bereits mit seinen Rechenzentren. Im Schnitt liegt der PUE-Wert der Rechenzentren bei 1,1. Dies erreicht Google, indem sie unter anderem die Temperatur auf 27°C erhöhen und Außenluft zur Kühlung nutzen [49].

Ein großer Faktor beim Energieverbrauch von Rechenzentren ist die Kühlung. Diese macht rund 40 Prozent des Energieverbrauchs in Rechenzentren aus [46]. Um die Ziele, beispielsweise des Energieeffizienzgesetzes, einhalten zu können, muss der Energieverbrauch zur Kühlung gesenkt werden.

Außerdem muss die Abwärme der Rechenzentren besser genutzt werden. Das Energieeffizienzgesetz gibt vor, dass Rechenzentren, die ab Juli 2026 in Betrieb genommen werden, 10 Prozent ihrer Energie wiederverwenden müssen [48].

Darüber hinaus gibt es bereits innovative Konzepte, die Abwärme sinnvoll nutzen. Beispielsweise wird in Großbritannien die Abwärme der Rechenzentren genutzt, um Schwimmbäder zu heizen, während in Deutschland eine Algenfarm die Abwärme ebenfalls zum Heizen nutzt [50; 51]. Diese Vorgaben können dazu beitragen, dass Cloud Computing in Zukunft grüner und somit energieeffizienter wird. Doch das ist nicht alles, was der Bereich der Datenverarbeitung zur Green IT beitragen kann.

3.3 Edge Computing

Die Herausforderung am Cloud Computing ist nicht nur der hohe Energiebedarf der einzelnen Rechenzentren: Um die zu verarbeitenden Daten überhaupt erst zu den Rechenzentren der Cloud-Anbietenden zu transportieren, wird großer Aufwand betrieben. Auch diese Datenübertragung benötigt Energie. Umso weiter die Daten transportiert werden müssen, umso mehr Knotenpunkte sind daran beteiligt und umso mehr Energie wird im Endeffekt für den Transport aufgewandt.

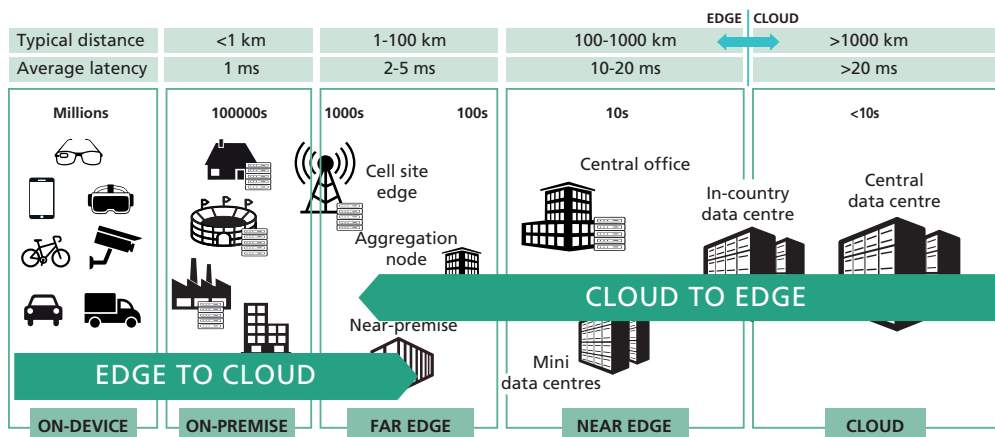


Abbildung 15 Cloud, On-Premise und Edge Cloud¹²

Edge Computing schafft als kleinere Alternative des Cloud Computing Abhilfe. Hier werden kleinere Rechenzentren oder sogar alltägliche Technik wie Computer und Smartphones verwendet [52]. Essenziell ist hier die Nähe zum Ursprung der Daten. Werden die Daten beispielsweise auf einem Firmenrechner erzeugt, so ist es das Ziel des Edge Computings, diese Daten auch direkt auf selbigem Gerät auszuwerten [52]. Sollte dies aufgrund des Rechenaufwands nicht möglich sein, so können die Daten zu einem nahe gelegenen Edge Computing-Rechenzentrum gesendet und dort mit einer etwas größeren Menge an Ressourcen verarbeitet werden. In Fällen, in denen die Rechenkapazität eines Edge-Rechenzentrums auch nicht ausreichend ist, kann immer noch auf das klassische Rechenzentrum der Clouds zurückgegriffen werden. Bei jeder Verarbeitung, die bereits auf dem Gerät selbst verarbeitet wird, kann Energie eingespart werden. Darüber hinaus bringt Edge Computing noch zahlreiche weitere Vorteile wie verbesserten Datenschutz, erhöhte Sicherheit und geringere Verarbeitungszeiten durch die kürzere Datenübertragung mit sich [53]. Somit ist Edge-Computing in vielerlei Aspekten eine gute Alternative zum Cloud Computing, welche zusätzlich die Green IT unterstützt.

¹² <https://digital-strategy.ec.europa.eu/de/policies/iot-investing>

Die Vorteile von Edge und Cloud will das Fraunhofer Cluster of Excellence Cognitive Internet Technologies (CCIT) mit der Forschung und Arbeit im Edge-Cloud Continuum verbinden. Als Forschungscluster bündelt das CCIT die Kompetenzen von über 20 verschiedenen Fraunhofer-Institut und erforscht kognitive Technologien für das industrielle Internet sowie die Entwicklung von Schlüsseltechnologien. Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer CCIT ist dabei unter anderem Edge Computing. Ziel dieser Forschung ist es, »die Vorteile von Edge- und Cloud-Computing zu vereinen und einen kontinuierlichen Datenraum zu schaffen, in dem die Verlagerung von Rechenleistung bedarfsorientiert und dynamisch je nach Datenaufkommen und Latenzanforderungen automatisiert erfolgt«¹³

Dabei werden einerseits die Rechenleistung und Speicherplatz der Edge genutzt, weil lokale Sensoren, Maschinen oder Geräte die Daten dort komprimieren können, wo sie erzeugt werden. Langwierige, intensive Aufgaben erfolgen wiederum in der Cloud, wodurch der skalierbare Speicherplatz und die Rechenleistung der Cloud in Anspruch genommen werden können. So können durch das Edge-Cloud Continuum Daten automatisiert und organisiert werden, um geringe Latenzzeiten, skalierbare Rechenleistung und einen reduzierten CO₂-Fußabdruck zu gewährleisten. Dies ermöglicht wiederum eine Ressourcennutzung, die den Energieverbrauch senkt, sowie Energieeffizienz fördert und leistet damit einen wichtigen Beitrag zu Green IT.

Das langfristige Ziel des CCIT besteht darin, durch die Erforschung kognitiver Technologien ein neues Internet für die Industrie zu schaffen. Schlüsseltechnologien entlang der Wertschöpfungskette, beginnend bei Sensoren über intelligente Lernverfahren bis hin zur Cloud, sollen in den Unternehmen zu hochintelligenten Lösungen und Produkten führen, die die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen sichern, deren Innovationskraft fördern und deren digitale Souveränität gewährleisten.

Mehr Informationen finden sich auf

<https://www.cit.fraunhofer.de/>

¹³ <https://www.cit.fraunhofer.de/de/ueber-uns/Edge-Cloud-Continuum.html>



4 Green Software Engineering und Künstliche Intelligenz

Ebenso nicht physisch greifbar wie Clouds und dennoch essenziell für den ökologischen Fußabdruck, ist die verwendete Software. Aussagen wie »Ein ineffizient programmiertes Softwareprodukt kann bis zu viermal so viel Energie wie ein effizienter programmiertes Softwareprodukt verschwenden« [54] zeigen den starken Einfluss von Software auf unseren ökologischen Fußabdruck.

4.1 Green Software Engineering

Software so zu entwickeln, dass sie möglichst wenig Strom verbraucht, ist ein Bestandteil des Green Software Engineering. Wie groß der Anteil von Software am CO₂-Fußabdruck ist, wird in Abbildung 16 gezeigt. Demnach lag der Anteil des durch Software emittierten CO₂-Ausstoßes 2007 bei 0,015 Prozent aller CO₂-Emissionen. Innerhalb von 17 Jahren hat sich der Anteil der Software am ökologischen Fußabdruck verdoppelt und kann laut [55] bis 2040 auf 14 Prozent der Gesamtemissionen ansteigen.

Entwicklung der CO₂ Emissionen durch Software

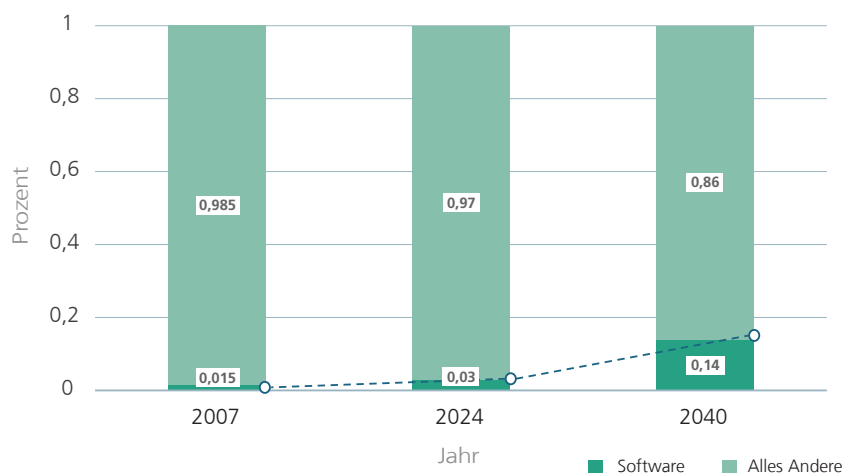


Abbildung 16: CO₂ Emissionen durch Software im Vergleich [55; 56]

Da die restlichen Emittenten dadurch nicht automatisch weniger CO₂ ausstoßen, sind das gravierende Zahlen, die sich möglichst nicht bestätigen sollten. Wie kann Green Software Engineering also den ökologischen Fußabdruck verbessern?

Wie bei Clouds ist Software nicht auf den ersten Blick ein Energieverbraucher. Allerdings bestimmt die Software, die von einem Rechner ausgeführt wird, seinen Energie- und Ressourcenverbrauch. Dabei ist der Einfluss auf den CO₂-Ausstoß durch den Energieverbrauch abhängig von den verwendeten Energiequellen. Der Ressourcenverbrauch ist in dem Sinne relevant, dass bei der Produktion der benötigten Hardware unweigerlich CO₂ ausgestoßen wird. Folglich gilt: umso länger dieselbe Hardware verwendet werden kann, umso weniger neue Hardware wird als ihr Nachfolger produziert und umso weniger CO₂ dabei ausgestoßen. Zusätzlich ist die nachträgliche Optimierung der Energieeffizienz bei Software bedeutend leichter als bei Hardware. Das Bestimmen der Verbrauchswerte, das Vornehmen von Änderungen und das Erstellen neuer Software kann innerhalb weniger Tage erledigt werden, wohingegen bei Hardware vor allem die Produktion deutlich länger dauert. Folglich ist es deutlich einfacher, den Energieverbrauch eines Gerätes über grünere Software zu regulieren, anstatt neue Hardware zu bauen. Aus diesen Gründen ist es elementar für Green IT, auch Software möglichst energie- und ressourceneffizient zu entwerfen und zu entwickeln.

Allgemein kann Green Software Engineering jene Methodiken umfassen, die dafür sorgen, dass eine Software weniger Rechenzeit und Speicher in Anspruch nimmt. Dabei profitieren die Entwickelnden in vielfacher Sicht von der Entwicklung grüner Software. Zum einen bringt energieeffiziente Software automatisch Ersparnisse in Bezug auf den Stromverbrauch zur Nutzungszeit. Dies senkt die Kosten, die der Betrieb der Software zu dessen Lebenszeit verursacht und erlaubt dementsprechend auch einen höheren Verkaufs- oder Lizenzpreis. Wird die Software hingegen auf den firmeneigenen Servern ausgeführt, so können intern Stromkosten eingespart werden. Des Weiteren kann grüne Software auch positive Auswirkungen auf die Reputation eines Unternehmens haben. Mit Softwarezertifizierungen wie dem Blauen Engel [\[57\]](#) oder dem Green Software Design Label [\[58\]](#) gibt es Möglichkeiten, die Nachhaltigkeit der Software für Kunden transparent zu machen. Dies kann Wettbewerbsvorteile gegenüber Unternehmen bringen, die keinen Wert auf grüne Software legen.

Asim Hussain, der Executive Director der Green Software Foundation, fasst den Begriff Green Software Engineering noch weiter. Er sieht drei große Säulen, welche für die Entwicklung grüner Software herangezogen werden können [\[59\]](#). Diese sind, wie in Abbildung 17 dargestellt: Energieeffizienz, Ressourceneffizienz und Carbon-Aware Computing. Energieeffizienz und Ressourceneffizienz können direkt über die Softwareentwicklung gesteuert werden, indem z.B. effizientere Algorithmen verwendet werden, die auf vorhandener Hardware funktionieren. Dahingegen verlangt Carbon-Aware Computing die Verwendung CO₂-armer Energiequellen mit Rücksicht auf deren Verfügbarkeit. Letztere Säule kann die CO₂-Emissionen um bis zu 80 Prozent senken, sofern sich der gesamte Sektor auf erneuerbare Energien umstellt [\[60\]](#).

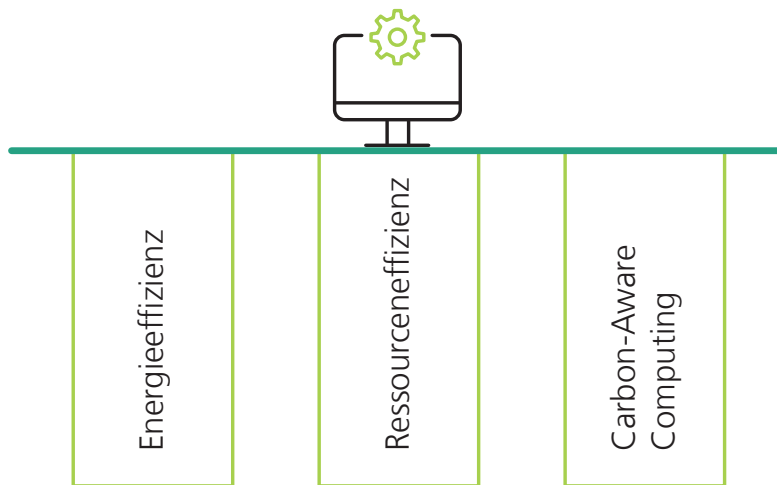


Abbildung 17: Die drei Säulen des Green Software Engineering nach [59]

Die Green Software Foundation [61], die Vorreiter im Bereich Green Software ist und bereits einen ISO-Standard für die Bewertung von Ressourcen- und Energieeffizienz von Software erstellt hat, listet zahlreiche Designideen für grüne Software. Dank einer großen Palette von Mustern für den Entwurf grüner Software, wird den Entwicklenden bei der grünen Softwareentwicklung gute Unterstützung geboten. Ein weiteres Hindernis zu Beginn des Green Software Engineering könnte die Art und Weise der Informationserhebung sein. Vor allem die Messung des Energieverbrauchs der eigenen Software, welche sowohl software- als auch hardwareseitig möglich ist, weist gewisse Schwierigkeiten auf. Zu beachten ist, dass jede Messung von der verwendeten Hardware und den parallel zur überprüften Software laufenden Programmen abhängt. Aus diesem Grund reichen einzelne Messungen meist nicht aus. Im Rahmen der Vergabekriterien des Blauen Engels wurden hierfür Standardszenarios definiert, sodass die Software bei jeder der Messungen die exakt gleichen Aktionen durchführt, um einen zuverlässigen Durchschnittsverbrauch zu bestimmen. Zusätzlich gibt es einige hilfreiche Programme, die die Entwicklenden bei der Ermittlung der Verbrauchswerte unterstützen, indem sie beispielsweise maschinelles Lernen für die Schätzung des Grundverbrauchs der Hardware verwenden wie bei Kepler [62].

Wirklich erfolgreich kann Green Software Engineering jedoch nur sein, wenn es standardisiert Teil der Softwareentwicklung wird. Dafür müssen die einzelnen, notwendigen Schritte für die Entwicklung grüner Software fest in den Entwicklungsprozess und den gesamten Lebenszyklus von Software integriert werden. Dabei wären bereits kleine Änderungen, wie sie in Abbildung 18 beispielhaft dargestellt sind, hilfreich. So kann bereits bei der Anforderungserhebung darauf geachtet werden, Anforderungen zu definieren, die auf eine gute Performanz und wenig Speicherverbrauch abzielen. In den darauffolgenden Phasen zu Analyse und Design können einige relevante Patterns für grüne Software eingeplant werden. Solche umfassen beispielsweise die Ausführungsumgebung der Software oder den Aufbau der Architektur. Dabei ist es hilfreich, die geplanten Funktionalitäten auf das nötige Minimum zu beschränken und eine modular nach Bedarf erweiterbare Software zu planen. In der Entwicklungsphase sollte dann der Fokus auf effiziente Programmierung und die Einhaltung der gewählten Patterns sowie die Wahl energieeffizienter Programmiersprachen gelegt werden. Die Testphase kann anschließend genutzt werden, um den aktuellen Energie- und Ressourcenbedarf der Software zu ermitteln und weiter zu optimieren. Auch während des Betriebs kann die Software auf Grundlage der Nutzungsdaten weiter optimiert werden.

Wichtig ist allerdings, dass ein Update kein Upgrade der Hardware erfordern sollte, da dies wieder zu erheblichem Ressourcenverbrauch führen würde, wenn die Nutzenden ihre Hardware für die Software austauschen müssten. Ein weiterer wichtiger Punkt während des Betriebs, wie ihn auch die Zertifizierung durch den Blauen Engel vorsieht, ist die Transparenz von Energie- und Ressourceneffizienz gegenüber den Nutzenden. Diese Informationen ermöglichen ihnen einen bewussten Umgang mit Software und ein besseres Verständnis für die dafür verbrauchten Ressourcen.

Schon mit diesen wenigen, aber dauerhaft angewendeten Schritten, wird aus Green Software Engineering simple Routine für einen reduzierten ökologischen Fußabdruck.

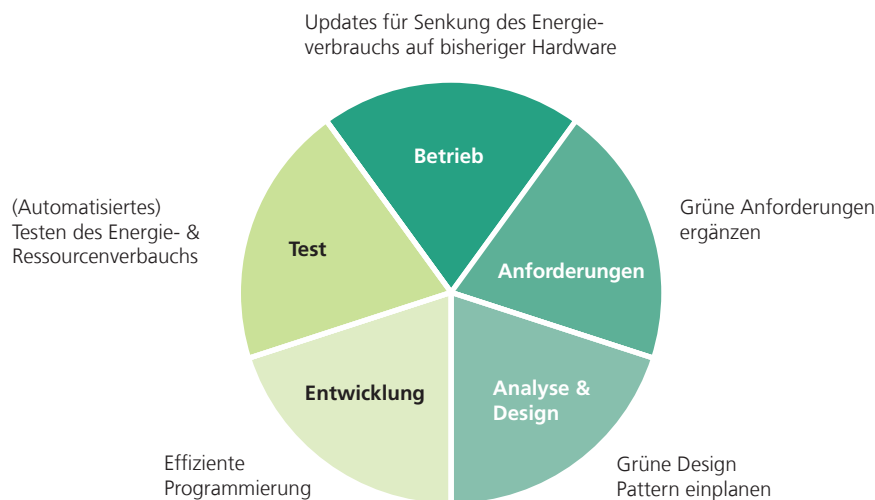


Abbildung 18: Der Lebenszyklus von Software

4.2 Green IT und Künstliche Intelligenz

Im Zusammenhang mit Künstlicher Intelligenz gibt es zwei Richtungen, in die sich der ökologische Fußabdruck entwickeln kann. Wie bereits erwähnt, ist KI ein möglicher Grund für die vermehrte Verwendung von Cloud Computing. Darüber hinaus wird das Training von KI immer rechenintensiver, sodass umso mehr Energie verbraucht wird. Da Green IT nach möglichst energieeffizienten Lösungen für unsere Probleme sucht, sind KI-Tools daher sogar hinderlich. Doch der aktuelle Trend nach künstlich intelligenten Programmen, die in jeder Lebenssituation unterstützend zur Seite stehen oder schon erste Aufgaben selbstständig ausführen können, steigt. Dies verdeutlicht unter anderem eine Prognose, nach welcher der Umsatz im Bereich KI sich zwischen 2024 und 2028 nahezu verdreifachen soll [63]. Es gibt bereits jetzt zahlreiche unterstützende Programme [64] für Anwendungsbereiche wie Videobearbeitung, Marketing, Forschung und vieles mehr. Darüber hinaus berichtet das Statistische Bundesamt, dass zurzeit bereits jedes achte Unternehmen KI-Tools nutzt und das größte Hindernis daran fehlendes Wissen über KI ist [65]. Da Letzteres mit Leichtigkeit durch Angebote wie ChatGPT erlangt werden kann, ist es wahrscheinlich, dass diese Hürde zeitnah abgebaut sein wird und der Fachkräftemangel durch KI kompensiert werden könnte.

Dieser immense Anstieg an KI-Nutzung mag der Produktivität zuträglich sein [66], ist aber aufgrund des immensen Energiebedarfs schlecht für unseren ökologischen Fußabdruck und arbeitet gegen die Bemühungen der Green IT. Ralf Herbrich, Geschäftsführer des Hasso-Plattner-Instituts und Leiter des Fachbereichs Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit, gibt an, dass die vielen am Training einer KI beteiligten Grafikkarten Energie im Bereich von hunderttausenden Watt verbrauchen [67]. Sollte man die Entwicklung und Nutzung von KI also einschränken oder gar verbieten, um den ökologischen Fußabdruck nicht zusätzlich zu belasten? Vielleicht könnte dies einen positiven Effekt haben, aber es entgingen uns auch die positiven Effekte, die KI mit sich bringen kann. Denn bereits jetzt ist KI eine große Unterstützung im Bereich des Software Engineering [68] und kann mit entsprechendem Training auch eine große Bereicherung für Green Software Engineering werden. Der zuvor beschriebene zusätzliche Arbeitsaufwand bei der Integration grüner Entwicklungstechniken in den Lebenszyklus von Software könnte möglicherweise vollständig mit KI automatisiert werden, sodass KI doch einen positiven Beitrag zu unserem ökologischen Fußabdruck leisten kann. Darüber hinaus sind auch zahlreiche KI-Werkzeuge entwickelt und denkbar, die bei Maßnahmen des Klimaschutzes gewinnbringend eingesetzt werden können [69]. So entwickelt zum Beispiel MI4People eine KI, um den Müll in unseren Meeren via Satellitenaufnahmen zu lokalisieren [70; 71], sodass dieser von dort entfernt werden kann.

Wenn KI nun einen positiven und einen negativen Beitrag zu Green IT hat, ist es schwieriger zu entscheiden, welche KI man zum Wohl der Umwelt einschränken sollte. Das ist aber auch nicht nötig, denn im Vergleich zur energieintensiven, sogenannten Red AI, gibt es auch Green AI [72]. Red AI legt den Fokus auf möglichst große Genauigkeit der Ergebnisse und nimmt dafür große Modelle und lange Trainingszeiten in Anspruch. Dahingegen soll Green AI vor allem beim Training und Finetuning stets Rücksicht auf die dabei verwendeten Ressourcen nehmen [72]. Somit kann KI eine Bedrohung für die Bemühungen der Green IT darstellen, aber auch deren Katalysator sein, wenn man sich die Mühe macht, diese entsprechend zu trainieren und zu verwenden.



5 Wie das Fraunhofer ISST Unternehmen unterstützt

Green IT ist von entscheidender Bedeutung, weil sie nicht nur zur Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks von Unternehmen beiträgt, sondern auch eine Schlüsselrolle im globalen Kampf gegen den Klimawandel spielt. Angesichts der alarmierenden Zunahme von Treibhausgasemissionen und der Erschöpfung natürlicher Ressourcen ist es unerlässlich, dass Unternehmen ihre IT-Infrastrukturen nachhaltig gestalten. Der IT-Sektor selbst ist ein erheblicher Verbraucher von Energie und Ressourcen; allein in Deutschland macht der Stromverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik einen signifikanten Anteil am Gesamtstromverbrauch aus. Durch die Implementierung von Green IT-Praktiken können Unternehmen nicht nur ihre Betriebskosten senken und die Effizienz steigern, sondern auch wichtige gesetzliche Vorgaben einhalten und ihre Marktposition stärken.

Das Fraunhofer ISST ist ein erfahrener Forschungspartner für Unternehmen, die den Weg zur nachhaltigen IT-Gestaltung beschreiten möchten. In einer Zeit, in der Umweltbewusstsein und Ressourcenschonung nicht nur gesellschaftliche, sondern auch wirtschaftliche Imperative sind, bietet das Institut umfassende Unterstützung, um Green IT erfolgreich umzusetzen. Dabei geht es nicht nur um die Anpassung der Technologie, sondern auch um die Transformation der Denkweise innerhalb der Organisation.

Ein zentrales Ziel des Fraunhofer ISST ist es, Hindernisse zu identifizieren, die Unternehmen aufhalten, ihre IT nachhaltig zu gestalten. Oft liegen diese Herausforderungen in der bestehenden Softwarearchitektur und ineffizienten Algorithmen. Das Fraunhofer ISST verfolgt einen datengestützten und profilbasierten Optimierungsansatz. Dies bedeutet, dass zunächst eine detaillierte Analyse der bestehenden Systeme durchgeführt wird, um ineffiziente Prozesse und Algorithmen zu erkennen. Ein Beispiel hierfür ist die Regel »The Big O reigns supreme«, die besagt, dass selbst die besten Optimierungsstrategien nicht den negativen Einfluss eines schlecht gestalteten Algorithmus auf die Gesamteffizienz ausgleichen können. Daher wird Unternehmen empfohlen, ihre Software nicht sofort neu zu implementieren, sondern zunächst bestehende Systeme durch einfache Optimierungen zu verbessern.

Das Fraunhofer ISST legt großen Wert darauf, dass Unternehmen in einem ersten Schritt ihre Software auf Basis der tatsächlichen Nutzung analysieren. Oftmals zeigt sich, dass durch kleine Anpassungen, wie das Entfernen redundanter Daten oder das Optimieren von Code, bereits signifikante Effizienzgewinne erzielen lassen. Zum Beispiel könnte ein Unternehmen, das eine bestehende Webanwendung betreibt, durch das Überprüfen und Anpassen von Datenbankabfragen die Ladezeiten erheblich reduzieren, ohne gleich die gesamte Software neu zu schreiben.

Die Transformation hin zu nachhaltiger IT erfordert auch ein besseres Verständnis der Softwarebedürfnisse. Das Fraunhofer ISST hilft Unternehmen, zwischen kurzlebiger »Wegwerf-Software« und langlebiger, anpassbarer Software zu unterscheiden. Ein Beispiel: Ein Unternehmen, das

häufig neue Softwarelösungen ausprobiert, könnte dazu neigen, kurzfristige Lösungen zu implementieren, die schnell veralten. Das Fraunhofer ISST berät, wie solche Lösungen durch modulare Architekturen ersetzt werden können, die langfristig anpassbar sind, etwa durch den Einsatz von Microservices oder Cloud-Lösungen. Als unabhängiges Forschungsinstitut steht das Fraunhofer ISST Unternehmen bei Ihrer Green IT-Transformation zur Seite.



Kontakt

Gerne geben wir Ihnen einen umfassenden Einblick in die Vorteile und Umsetzung von Green IT. Unser Team unterstützt Sie dabei, nachhaltige IT-Lösungen in Ihrer Organisation zu implementieren und die Effizienz Ihrer IT-Infrastruktur zu steigern. Gemeinsam entwickeln wir Ihre maßgeschneiderte Green IT-Strategie, identifizieren konkrete Maßnahmen zur Reduzierung Ihres ökologischen Fußabdrucks und unterstützen Sie bei der Umsetzung gesetzlicher Regularien. Kontaktieren Sie uns unverbindlich für ein erstes Gespräch!

Heinrich Pettenpohl

Abteilungsleiter
IT Service Providers
Experte für Data Spaces, Data Sharing und Edge Cloud
Tel.: +49 231 97677-321
heinrich.pettenpohl@isst.fraunhofer.de



Brian-Frederik Jahnke

Stellver. Abteilungsleiter
IT Service Providers
Experte für Cloud- & Software Engineering
Tel.: +49 231 97677-469
brian-frederik.jahnke@isst.fraunhofer.de



Rebecca Schmook

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
IT Service Providers
Expertin für Data Science, FinOps und Cloud-Sustainability
Tel.: +49 231 97677-447
rebecca.schmook@isst.fraunhofer.de



Inan Gür

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
IT Service Providers
Experte für Data Sharing, Datenstrategien und Datenmanagement
Tel.: +49 (0) 231 / 9 76 77-418
inan.guer@isst.fraunhofer.de



Literaturverzeichnis

- [1] Stobbe, L.; Arnhold, K.; Theuke, E. (2024) *Studie des Fraunhofer IZM zeigt Trendwende beim Strombedarf des IKT-Sektors in Deutschland bis 2033 auf* [online]. <https://blog.izm.fraunhofer.de/de/nachhaltige-elektronik-2/> [Zugriff am: 27. Mai. 2024].
- [2] BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2024) *Die Energieversorgung 2024 - Jahresbericht* - [online]. https://www.bdew.de/media/documents/2024_12_18_Die_Energieversorgung_2024_Final.pdf.
- [3] Laenderdaten.info (2024) *Energiehaushalt in Portugal* [online]. <https://www.laenderdaten.info/Europa/Portugal/energiehaushalt.php> [Zugriff am: 25. Jul. 2024].
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2020) *Green IT* [online]. <https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/konsum-und-produkte/produktbereiche/green-it> [Zugriff am: 8. Mai. 2024].
- [5] Market Research Future (2024) *Green Technology and Sustainability Market Size & Forecast 2032* [online]. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/green-technology-and-sustainability-market-10473> [Zugriff am: 11. Jun. 2024].
- [6] Straits Research (2024) *Green IT Services Market Size, Growth to 2022-2030* [online]. <https://straitsresearch.com/report/green-it-services-market> [Zugriff am: 11. Jun. 2024].
- [7] Ionos (2022) *Green IT: Nachhaltige Technologienutzung als Notwendigkeit und Wettbewerbsvorteil* [online]. <https://www.ionos.de/digitalguide/hosting/hosting-technik/green-it/> [Zugriff am: 8. Mai. 2024].
- [8] Murugesan, S. (2008) *Harnessing Green IT: Principles and Practices* in: IT Professional 10, H. 1, S. 24–33. <https://doi.org/10.1109/MITP.2008.10>
- [9] IBM Corporation (2022) *What Is Green Computing?* [online]. <https://www.ibm.com/think/topics/green-computing> [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [10] Bristy, S. S. et al. (2023) *Green Cloud Computing: A Sustainable Energy-Efficiency Approach for Business Rapidity and the Environment* in: Vasant, P., et al. [Ed.] *Intelligent Computing and Optimization*. Springer, Cham, pp. 312–327.
- [11] Uhl, A.; Hanslik, O. (2011) *Beyond Green IT – Die Symbiose von IT und nachhaltiger Energie* in: *Smart Energy*. Berlin: Springer Berlin, S. 193–205.

- [12] Energie-Handels-Gesellschaft mbH & Co. KG (2022) *Grünes Rechenzentrum: Mit Green IT zu mehr Energieeffizienz in Unternehmen* [online]. <https://www.eha.net/blog/details/gruenes-rechenzentrum.html> [Zugriff am: 4. Jun. 2024].
- [13] Loos, P. et al. (2011) *Green IT: Ein Thema für die Wirtschaftsinformatik?* 53, H. 4, S. 239–247. <https://doi.org/10.1007/s11576-011-0278-y>
- [14] Europäisches Parlament (2023) *Vorschriften zur umweltgerechten Gestaltung für nachhaltige Produkte – Die EU wird Mindeststandards einführen, um fast alle Produkte auf dem EU-Markt nachhaltig, langlebig und umweltfreundlich zu machen.* [online]. <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20230629STO01708/vorschriften-zur-umweltgerechten-gestaltung-fur-nachhaltige-produkte> [Zugriff am: 28. Mai. 2024].
- [15] Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering IESE (2024) *Digitalisierung mit nachhaltiger Software* [online]. <https://www.iese.fraunhofer.de/de/trend/nachhaltigkeit.html#Green-IT-Softwareentwicklung-nachhaltig-gestalten> [Zugriff am: 3. Jun. 2024].
- [16] Janson-Mundel, O. (2022) *Energiemanagementsysteme im Kontext der Nachhaltigkeit* in: Schwager, B. [Hrsg.] *CSR und Nachhaltigkeitsstandards: Management-Reihe Corporate Social Responsibility*. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S. 317–325.
- [17] Rautenstrauch, C. (1999) *Rahmenbedingungen* in: Rautenstrauch, C. [Hrsg.] *Betriebliche Umweltinformationssysteme: Grundlagen, Konzepte und Systeme*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [18] Schmidt, N.-H. et al. (2013) *Fallstudie 3 Green IT bei der SAP AG* in: Zarnekow, R.; Kolbe, L. [Hrsg.] *Green IT: Erkenntnisse und Best Practices aus Fallstudien*. Berlin: Springer Gabler, S. 77–96.
- [19] Bitkom e.V. (2022) *9 von 10 Unternehmen setzen ihre Klimaziele mit digitalen Technologien um* [online]. <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-und-Klimaschutz-in-Wirtschaft-2022> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [20] IONOS SE (2023) *Energiesparende Cloud: Grün für Umwelt und Geldbeutel* [online]. <https://business-services.heise.de/specials/next-level-hosting-infrastruktur-fuer-profis/die-kosten-der-cloud/beitrag/energiesparende-cloud-gruen-fuer-umwelt-und-geldbeutel-4571> [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [21] Deloitte Deutschland (08.05.2024) *Green IT als Herausforderung und Chance* | *Deloitte Deutschland* [online]. <https://www.deloitte.com/de/de/issues/sustainability-climate/green-it-als-herausforderung-und-chance.html> [Zugriff am: 8. Mai. 2024].
- [22] Buhleier, L. et al. (2022) *Effizienz und Nachhaltigkeit durch Green-IT: ein systematischer Literaturüberblick im Kontext der Klimakrise* in: *INFORMATIK 2022*. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 995–1012.
- [23] Zarnekow, R.; Kolbe, L. (2013) *Handlungsempfehlungen und Ausblick* in: Zarnekow, R.; Kolbe, L. [Hrsg.] *Green IT: Erkenntnisse und Best Practices aus Fallstudien*. Berlin: Springer Gabler, S. 175–177.
- [24] Teuteberg, F.; Gómez, J. M. (2010) *Green Computing & Sustainability* in: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 47, H. 4, S. 6–17. <https://doi.org/10.1007/BF03340488>

- [25] The Greenhouse Gas Protocol (2004) *The greenhouse gas protocol – A corporate accounting and reporting standard*. o.O.: World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development.
- [26] Gür, I. et al. (2021) *Data Strategy Development: A Taxonomy for Data Strategy Tools and Methodologies in the Economy* in: Ahlemann, F., Schütte, R., Stieglitz, S. [Hrsg.] *Innovation Through Information Systems*. 46. Aufl. Springer, Cham., S. 448–461.
- [27] Patón-Romero, J. et al. (2017) *A Governance and Management Framework for Green IT* in: *Sustainability* 9, H. 10, S. 1761. <https://doi.org/10.3390/su9101761>
- [28] Erek, K. et al. *Green It Strategies: A Case Study-Based Framework For Aligning Green It With Competitive Environmental Strategies*. in: PACIS 2011 Proceedings.
- [29] Lieder, Y. (2024) *Green IT Strategie - Strategieentwicklung für eine nachhaltige IT* [online]. Adesso. <https://www.adesso.de/de/news/blog/green-it-strategie-strategieentwicklung-fuer-eine-nachhaltige-it.jsp#:~:text=Welchen%20Zweck%20erf%C3%BCllt%20die%20Green,F%C3%B6rderung%20von%20Nachhaltigkeit%20als%20Innovationsfaktor.> [Zugriff am: 7. Mrz. 2025].
- [30] Microsoft Corporation (2020) *The Carbon Benefits of Cloud Computing: a Study of the Microsoft Cloud*. https://download.microsoft.com/download/7/3/9/739bc4ad-a855-436e-961d-9c95eb51daf9/microsoft_cloud_carbon_study_2018.pdf [Zugriff am: 3. Jun. 2024].
- [31] Zandt, F. (2023) *Cloud-Nutzung in Deutschland nimmt zu* [online]. https://de.statista.com/infografik/30482/anteil-der-cloud-service-nutzer_innen-in-deutschland/ [Zugriff am: 27. Mai. 2024].
- [32] Polash, F.; Abuhussein, A.; Shiva, S. (2015) *A survey of cloud computing taxonomies: Rationale and overview* in: 2014 9th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST). London, United Kingdom. New York: IEEE, S. 459–465.
- [33] Bitkom e.V.; KPMG AG (2015) *Cloud Monitor 2015*. <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/Cloud-Monitor-2015-KPMG-Bitkom-Research.pdf>.
- [34] Bitkom e.V.; KPMG AG (2016) *Cloud Monitor 2016*. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/kpmg-cloud-monitor-2016.pdf>.
- [35] Bitkom e.V.; KPMG AG (2017) *Cloud Monitor 2017*. <https://storageconsortium.de/files/downloads/Bitkom%20KPMG%20Charts%20Cloud%20Monitor%2014.03.2017.pdf>.
- [36] Bitkom e.V.; KPMG AG (2018) *Cloud Monitor 2018*. <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/180607-Bitkom-KPMG-PK-Cloud-Monitor-2.pdf>.
- [37] Bitkom e.V.; KPMG AG (2019) *Cloud Monitor 2019*. <https://www.bitkom.org/sites/main/files/file/import/180607-Bitkom-KPMG-PK-Cloud-Monitor-2.pdf>.
- [38] Bitkom e.V.; KPMG AG (2020) *Cloud-Monitor 2020*. https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-06/prasentation_bitkom_kpmg_pk-cloud-monitor.pdf.

- [39] Bitkom e.V. (2023) *Cloud Report 2023: Welche Rolle spielt die Cloud für die deutsche Wirtschaft?* <https://www.bitkom-research.de/news/cloud-nutzung-wird-rasant-zunehmen> [Zugriff am: 19. Mai. 2025].
- [40] Bitkom e.V.; KPMG AG (2014) *Cloud-Monitor 2014*. <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publicationen/Cloud-Monitor-2014.html>.
- [41] Mordor Intelligence Private Limited (2024) *Cloud Computing Market - Size, Growth, Report & Analysis* [online]. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cloud-computing-market> [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [42] Europäische Union (2023) *Cloud computing - statistics on the use by enterprises* [online]. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [43] Menn, A. (08.05.2024) *KI-Boom: Hier wachsen riesige Rechenzentren für ChatGPT und Co* [online]. Wirtschaftswoche. <https://www.wiwo.de/technologie/wirtschaft-von-oben/wirtschaft-von-oben-254-kuenstliche-intelligenz-in-diesen-hallen-trainiert-microsoft-die-kuenstliche-intelligenz-chatgpt-/29714212.html> [Zugriff am: 27. Mai. 2024].
- [44] Hintemann, R.; Hinterholzer, S. (2022) *Rechenzentren 2021. Cloud Computing treibt das Wachstum der Rechenzentrumsbranche und ihres Energiebedarfs*. Berlin: Borderstep Institut.
- [45] Süddeutsche Zeitung (23.10.2023) *Forscher sehen KI als enorme Stromfresser* [online]. Süddeutsche Zeitung. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/energieverbrauch-forscher-sehen-ki-als-enorme-stromfresser-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-231023-99-665912>.
- [46] Bangalore, S. et al. (2023) *Investing in the rising data center economy* [online]. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/investing-in-the-rising-data-center-economy> [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [47] Martin-Jung, H. (17.02.2022) *Rechenzentren: Ist die Cloud ein Klimakiller?* [online]. Süddeutsche Zeitung. <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/cloud-energieverbrauch-strom-digitalisierung-1.5529289> [Zugriff am: 22. Mai. 2024].
- [48] Bundesministerium der Justiz (17.11.2023) *Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland (Energieeffizienzgesetz - EnEFG)*.
- [49] Google LLC (2024) *Effizienz – Rechenzentren* [online]. <https://www.google.com/about/data-centers/efficiency/> [Zugriff am: 3. Jun. 2024].
- [50] Windcloud 4.0 GmbH (23.05.2024) *CO2-frei, sicher und hochverfügbar* [online]. <https://www.windcloud.de/unternehmen/ueber-uns> [Zugriff am: 23. Mai. 2024].
- [51] Deep Green (28.03.2024) *Deep Green - HPC Cloud Computing | HPC Clusters* [online]. <https://deepgreen.energy/> [Zugriff am: 23. Mai. 2024].
- [52] Cao, K. et al. (2020) *An Overview on Edge Computing Research* in: IEEE Access 8, S. 85714–85728. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991734>
- [53] IBM Corporation (2024) *Was ist Edge Computing? | IBM* [online]. <https://www.ibm.com/de-de/topics/edge-computing> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].

- [54] Umweltbundesamt (2023) *Software und Umwelt* [online]. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/digitalisierung/gruene-informationstechnik-green-it/software-umwelt> [Zugriff am: 26. Jul. 2024].
- [55] Belkhir, L.; Elmeligi, A. (2018) *Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations* in: *Journal of Cleaner Production* 177, S. 448–463. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239>
- [56] Caballar, R. D. (2024) *We Need to Decarbonize Software* [online]. *IEEE Spectrum*. <https://spectrum.ieee.org/green-software> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [57] Blauer Engel (2024) *Blauer Engel, Softwareprodukte, ressourcen- und energieeffizient, transparente Schnittstellen | Blauer Engel* [online]. <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/ressourcen-und-energieeffiziente-softwareprodukte> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [58] Green Software Design (12.04.2024) *Green IT Zertifikat | Green Software Design* [online]. <https://www.greensoftwaredesign.com/green-software-design-label> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [59] Green Software Foundation (2021) *What is Green Software?* [online]. <https://greensoftware.foundation/articles/what-is-green-software> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [60] Freitag, C. et al. (2021) *The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations* in: *Patterns* 2, Nr. 9, p. 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- [61] Green Software Foundation (2024) *Green Software Foundation* [online]. <https://greensoftware.foundation/> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [62] Microsoft Corporation (2024) *GitHub - sustainable-computing-io/kepler: Kepler (Kubernetes-based Efficient Power Level Exporter) uses eBPF to probe performance counters and other system stats, use ML models to estimate workload energy consumption based on these stats, and exports them as Prometheus metrics* [online]. <https://github.com/sustainable-computing-io/kepler> [Zugriff am: 5. Jun. 2024].
- [63] IDC Corporate (2024) *Worldwide Spending on Artificial Intelligence Forecast to Reach \$632 Billion in 2028, According to a New IDC Spending Guide* [online]. <https://my.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS52530724> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [64] Future Tools (2024) *Future Tools - Find The Exact AI Tool For Your Needs* [online]. <https://www.futuretools.io/> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [65] Statistisches Bundesamt (2023) *Etwa jedes achte Unternehmen nutzt künstliche Intelligenz* [online]. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/11/PD23_453_52911.html [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [66] Necula, S.-C.; Fotache, D.; Rieder, E. (2024) *Assessing the Impact of Artificial Intelligence Tools on Employee Productivity: Insights from a Comprehensive Survey Analysis* in: *Electronics* 13, Nr. 18, p. 3758. <https://doi.org/10.3390/electronics13183758>

- [67] tagesschau (2023) *Wie stark der Stromverbrauch durch Künstliche Intelligenz steigt* [online]. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/digitales/ki-energie-strom-verbrauch-klima-schutz-100.html> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [68] Li, M. M. et al. (2024) *More Than Just Efficiency: Impact of Generative AI on Developer Productivity* in: AMCIS 2024 Proceedings.
- [69] Stern, N.; Romani, M. (06.12.2024) *The global growth story of the 21st century: driven by investment and innovation in green technologies and artificial intelligence* [online]. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2023/01/global-growth-story-of-the-21st-century-lse-grantham-systemiq-davos2023/> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [70] Lucks, B. (11.11.2024) *Vorhandene Daten neu verknüpfen: Wie MI4People den Müll in Ozeanen per Satellit überwachen will* [online]. RESET- Digital for Good. <https://reset.org/daten-neu-verknupfen-mi4people-mull-ozeanen-satellit-uberwachen/> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [71] MI4People gGmbH (2024) *Marine Litter Detection via Satellites* [online]. <https://www.mi4people.org/marinelitterdetectionviasatellites> [Zugriff am: 6. Dez. 2024].
- [72] Schwartz, R. et al. (2020) *Green AI* in: Communications of the ACM 63, H. 12, S. 54–63. <https://doi.org/10.1145/3381831>



Impressum

Herausgeber

Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik ISST
Speicherstraße 6
44147 Dortmund

Autor*innen

Heinrich Pettenpohl
Inan Gür
Rebecca Schmook
Brian-Frederik Jahnke
Vanessa Bertke
Angelina Koch

Bildnachweis

Cover, S. 16: ©lapeepon -AdobeStock - 1014841658
S. 3,4, 31: ©Nabodin - AdobeStock - 359945582
S. 7: ©Andrii Yalanskyi - AdobeStock - 231566167
S. 23: ©dimas830 - AdobeStock - 833690150
S. 29: ©ValentinValkov - AdobeStock - 247186378
S. 31: ©Nabodin - AdobeStock - 359945582
S. 40: © Simon WiltshireWirestock -AdobeStock - 490198597



Kontakt

Inan Guer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
IT Service Providers
Tel. +49 231 9 76 77-418
inan.guer@isst.fraunhofer.de

www.isst.fraunhofer.de