

Name: Julian Bents

Titel: Green Computing: Schlüssel zur nachhaltigen Nutzung von Informationstechnologien für eine grüner Zukunft

Seminarfach: Handeln für eine positive Zukunft (SF 12/Fn)

Abgabedatum: 23.02.2024

Inhalt14/15

Die vorliegende Arbeit befasst sich ausführlich mit der nachhaltigen Nutzung von Informationstechnik. Der Gegenstand wird breit und sehr gut recherchiert dargeboten, auch komplizierte, detailreiche Aspekte werden gut verständlich zusammengefasst. Definitionen werden an Ort und Stelle in gut verständlichen Passagen oder in kurzen Fußnoten geliefert. Herr Bents beachtet viele Aspekte der Thematik, auch in jeweils ausgewogener Länge. Eine beeindruckende Analyse führt daher zu einem fundierten Fazit, nämlich dass Greencomputing ein Schlüssel zur nachhaltigen Nutzung von IKT sein kann.

Methodik8/9

Eine gute Einleitung führt ins Thema ein, betont seine Relevanz und beschreibt die Vorgehensweise. Sie lässt leider eine klar formulierte oder hier entwickelte Leitfrage missen, trotzdem wird unter Beachtung des Titels im weiteren Verlauf ein roter Faden verfolgt. Die Texte der Kapitel bzw. die Unterthemen werden aufgrund jeweils verschiedener Quellen ausformuliert. Insgesamt ist die Quellenlage bezüglich Quantität und Qualität sehr gut. Im Anhang befinden sich sinnvoll ausgewählte Abbildungen zur Erhöhung der Anschaulichkeit und als Belege der gemachten Aussagen. Die Arbeit wird mit einem gut begründeten und überzeugendem Fazit beendet.

Form.....6/6

Die formalen Anforderung an eine Facharbeit wurden hervorragend erfüllt, insgesamt mit einem ansprechenden Layout. Die Quellen werden sehr gut angegeben und sind auch in Details korrekt, ebenso gibt es durchgängig Verweise bei direkten und indirekten Zitaten im Text. Die Facharbeit ist in einer ausgewogenen leserfreundlichen Sprache mit sehr wenigen Fehlern verfasst.

Gesamtpunktzahl28/30

Note: Die Facharbeit wird mit sehr gut (14 Punkten) bewertet.

Norden, 2.4.24

C. Fissal

Facharbeit

Seminarfach: Handeln für eine positive Zukunft

Thema:

Green Computing: Schlüssel zur nachhaltigen Nutzung von
Informationstechnologien für eine grünere Zukunft?

Verfasser/in: Julian Bents

Kursleiter/in: Frau Fisahn

Bearbeitungszeit: 8 Wochen

Abgabetermin: 23.2.2024

Inhaltsverzeichnis	1
1. Einleitung	2
2. Allgemeine Umweltauswirkungen von IKT	3
2.1 Produktion	3
2.2 Nutzung	4
2.3 Entsorgung	4
3. Energieeffizienz in Rechenzentren	5
3.1 Was ist ein Rechenzentrum	5
3.2 Steigender Stromverbrauch in Rechenzentren	5
3.3 Ansätze zur Energieeinsparung	6
3.3.1 Verwendung von effizienten Komponenten	6
3.3.2 Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz	7
3.3.3 Klimafreundliche Kühlungssysteme	8
4. Software-Optimierung	9
4.1 Unterschiede in Programmiersprachen	9
4.2 Energieeffiziente Programmierung	10
4.2.1 Wahl der Programmiersprache	10
4.2.2 Multithreading	11
4.3 Cloud-Computing mithilfe von Datenzentren	12
5 Umgang mit E-Waste	12
5.1 Gefahren von E-Waste	12
5.2 Richtlinie der EU über Elektroschrott	13
5.3 Umweltfreundliche Entsorgung und Recycling	14
5.3.1 Entgiftung	14
5.3.2 Zerkleinern	14
5.3.3 Raffinierung	14
6. Fazit	15
Literaturverzeichnis	18
Anhang	25
Geschlechtsneutralität	29
Versicherung	29

1. Einleitung

Studien haben ergeben, dass die CO₂-Emissionen in den letzten Jahren stark angestiegen sind und dass der Trend voraussichtlich bleibt.¹ Es muss angefangen werden, klimaneutraler zu handeln. Laut einer Statistik des Öko-Instituts e. V. (Abbildung 1) liegt der CO₂-Fußabdruck jedes Deutschen pro Jahr schätzungsweise bei 849 kg. Ein erheblicher Teil dieser Emissionen wird durch die zunehmende Digitalisierung und den exponentiellen Anstieg der IKT² verursacht.³ Auch wenn sie zweifellos viele Aspekte unseres Lebens eingenommen und verbessert haben, muss gehandelt werden. Dies kann bei der Optimierung von Herstellungswegen, aber auch in der Programmierung von Anwendungen, welche wir täglich benutzen, beginnen.⁴ In diesem Kontext gewinnt das Thema Green Computing (auch Green IT genannt) zunehmend an Relevanz, welches das Bestreben von nachhaltigen und optimierten Informationstechnologien während ihres gesamten Lebenszyklus beschreibt.

Diese Facharbeit widmet sich der tiefgehenden Analyse des Zukunftspotentials von Green Computing, wobei die Motivation hinter dieser Untersuchung auf der wissenschaftlichen Ausarbeitung des Themas liegt. Inhaltlich werden drei verschiedene Dimensionen von Green Computing betrachtet. Diese Facharbeit ist dabei wie folgt strukturiert. Kapitel zwei wird die bisherigen Umweltauswirkungen von IKT darstellen. Kapitel drei untersucht die Energieeffizienz von Rechenzentren⁵. Im vierten Kapitel wird eine nachhaltige Software-Entwicklung dargestellt, während das fünfte Kapitel sich mit dem nachhaltigen Entsorgen und Recyceln von Elektroschrott befasst. Kapitel sechs schließt diese Facharbeit mit einer

¹ vgl. Levin, 2018.

² Informations- und Kommunikationstechnik

³ vgl. Janson/Öko-Institut e. V., 2020.

⁴ vgl. Aganina, 2023.

⁵ Gebäude mit der zentralen Rechentechnik eines oder mehrere Unternehmen oder Organisationen.

Zusammenfassung und Betrachtung auf das Potenzial einer grüneren Zukunft durch nachhaltige Nutzung von Informationstechnologien ab.

2. Allgemeine Umweltauswirkungen von IKT

2.1 Produktion

Informationstechnologien haben in vielen Bereichen Auswirkungen auf die Umwelt, eine vollständige Darstellung ist deswegen nicht möglich. Es fängt allerdings schon bei der Herstellung an. Die Produktion von RAM-Modulen⁶, Schaltkreise und Displays machen fast 80 % der gesamten Treibhausgasemissionen im Bereich der Herstellung aus, denn die elektronischen Bauteile, welche verwendet werden, ziehen dazu eine aufwendige Rohstoffbeschaffung von Seltenen Erden⁷ mit sich, welche globale Lieferketten erfordert. Besonders relevante Rohstoffe bei der Produktion von technischen Geräten sind dabei Kobalt, Zinn, Gold und Palladium.⁸ Die Beschaffung dieser Rohstoffe erfolgt größtenteils in der östlichen DR-Kongo unter schlechten und korrupten Arbeitsbedingungen. Der Abbau ist dabei teils giftig und hat zerstörerische Auswirkungen auf die lokale Landschaft und Umwelt. Nach der Gewinnung der Rohstoffe erfolgt der Transport zu den Fabriken, in welchen das Produkt gepresst und zusammengebaut wird. Schlussendlich erfolgt der Transport und der Verkauf, welcher meist auch über lange Transportwege geschieht. All diese Schritte haben eine starke Umweltbelastung.⁹ „So ist beispielsweise die Herstellung eines RAM-Moduls mit 16 GByte Speicherkapazität mit einem Umweltaufwand von 24 Kilogramm CO₂-Äquivalenten pro Modul verbunden. Pro Server kommen durchschnittlich zwischen vier

⁶ Ein RAM (Random Access Memory) Modul ist eine Leiterplatte mit mehreren Speicherbausteinen.

⁷ Seltene Erden sind die Lanthanoide und Elemente der 3. Nebengruppe im Periodensystem.

⁸ vgl. Andreas et al., 2016.

⁹ vgl. Gröger/Öko-Institut e.V, 2022.

und 128 solcher RAM-Module zum Einsatz, was einem CO₂-Aufwand von rund 100 bis 3.000 kg pro Server entspricht.“¹⁰

2.2 Nutzung

Auch die darauffolgende Benutzung belastet die Umwelt weiter. So nahm der Stromverbrauch von IKT in den globalen CO₂-Emissionen zwischen 2,5 % und 3,7 % ein, welches ähnlich viel wie die kommerzielle Luftfahrt mit 3,5 % ist.¹¹ In Deutschland betrug der Stromverbrauch durch IKT in 2017 58,4 TWh/a¹², welches zwei Prozent des Landesstromverbrauchs entspricht.¹³

2.3 Entsorgung

Die Entsorgung von Elektrogeräten bringt Probleme mit sich. Der Elektroschrott, auch „E-Waste“ genannt, landet meist auf Mülldeponien und Verbrennungsanlagen in Afrika oder Asien, dort wird er verbrannt oder nach restlichen Wertstoffen „ausgeschlachtet“, dabei werden giftige Schadstoffe freigesetzt.¹⁴ Zu diesen gehören Cadmium, Blei, Quecksilber oder Flammschutzmittel. Diese Schadstoffe haben nicht nur eine giftige Auswirkung auf die Gesundheit der dort arbeitenden Menschen, sondern belasten auch das Klima und die Umwelt.¹⁵ Eine Studie der Vereinten Nationen (UN) hat ergeben, dass 2019 53,6 Megatonnen (Mt) Elektroschrott generiert wurde. Prognosen gehen davon aus, dass es 2030 auf 74,7 Mt steigen wird. Nur 17,4 % wird dabei nachhaltig entsorgt oder recycelt, der Rest wird undokumentiert und teils illegal entsorgt. Bei der undokumentierten Entsorgung entstehen voraussichtlich 98 Mt an CO₂-Emissionen, während durch das nachhaltige Recyclen nur ein Äquivalent von -15 Mt an Emissionen entsteht.¹⁶

¹⁰ Gröger: Was ist Green IT?, S. 2.

¹¹ vgl. Belov, 2023.

¹² Terawattstunden pro Jahr

¹³ vgl. Bundesumweltministeriums, o. D.

¹⁴ vgl. Weiland, 2019.

¹⁵ vgl. Berliner Abendblatt, 2023.

¹⁶ vgl. Forti V. et al., 2020, S. 15.

3. Energieeffizienz in Rechenzentren

3.1 Was ist ein Rechenzentrum

Rechenzentren sind Gebäude, welche eine zentrale Rechen-technik beinhaltet, also eine IT-Infrastruktur. Diese könne in klein anfangen, mit einem Raum, welcher lediglich einen bis fünf Server beinhaltet, allerdings auch in großen Hallen mit Tausenden von einzelnen Servern enden. Dabei wird zwischen zwei Arten unterschieden. „On-premises“¹⁷ oder Unternehmens-Rechenzentren sind Rechenzentren, welche von Unternehmen für sich selbst lokal zur Verfügung stellen. Sie müssen sich dadurch allerdings selbst um die Verwaltung, Instandhaltung und den Bau des Rechenzentrums kümmern. Dies ist oft ein sehr kostenaufwendiger Prozess, allerdings sind viele Unternehmen der Meinung, dadurch bessere staatliche Regulation einhalten zu können und allgemein mehr Kontrolle zu haben. Public-Cloud-Rechenzentren sind Rechenzentren, welche von anderen Unternehmen bereitgestellt werden. Sie bedienen bis zu mehrere Millionen Kunden. Viele dieser Rechenzentren sind Hyperscale-Rechenzentren, welche meist von den fünf führenden Cloud-Service-Anbietern verwaltet werden (Google Cloud Plattform, Amazon Web Service, Microsoft Azure, IBM Cloud Service und Oracle Cloud Infrastructure). Oft treten die Rechenzentren in Netzwerken auf, welche sich global verteilen, dadurch kann eine niedrige Latenz¹⁸ in verschiedenen Regionen der Welt gewährleistet werden. Bei der Nutzung dieser Rechenzentren wird von Cloud-Computing gesprochen.¹⁹

3.2 Steigender Stromverbrauch in Rechenzentren

Fachexperten gingen davon aus, dass der Stromverbrauch von Rechenzentren allein von 2015 bis 2025 eine 60-prozentige Steigung haben wird.²⁰ Dies lässt sich auch in einer Studie vom Borderstep Institut bestätigen, welche in Abbildung 2 den jährlichen Energiebedarf der Server und Rechenzentren

¹⁷ Auf Deutsch übersetzt „Auf dem Gelände“

¹⁸ Zeit, welche es braucht, um eine Antwort vom Server zu erhalten.

¹⁹ vgl. IBM, o. D.

²⁰ vgl. Bundesumweltministeriums, o. D.

in Deutschland von 2010 bis 2020 verdeutlicht. In der Abbildung ist eine Steigung von 12Mrd. kWh/a²¹ im Jahr 2015, auf 16 Mrd. kWh/a im Jahr 2020 zu erkennen. Dies entspricht einer ungefähren 33-prozentigen Steigung in der Hälfte der vorausgesagten Zeit, welches die Aussage der Fachexperten bestätigt.

3.3 Ansätze zur Energieeinsparung

3.3.1 Verwendung von effizienten Komponenten

Um Energie einzusparen, können einzelne Server-Komponenten durch energieeffizientere ersetzt werden. Einzelne Komponenten können in Rechenleistung pro Watt gemessen werden. Dies kann für die CPU²² als Beispiel über eine „SPECpower Benchmark-Grafik“ erfüllt werden, dieser bewertet die Energieeffizienz einer Server-CPU auf verschiedenen Belastungslevel. In Abbildung 3 wird so die fünfte Generation mit der siebten Generation, der Server-Produktfamilie HP ProLiant DL 380, verglichen. „Beim Server DL 380 G5 war der Leerlaufverbrauch (keine Last) nur um 33% (170 Watt) niedriger als die Leistungsaufnahme unter Volllast (253 Watt). Beim Modell G7 beträgt der Unterschied bereits 75%. Das zeigt, dass die heutige Servertechnologie dank intelligentem Powermanagement im Bereich niedriger Rechenlasten und im Leerlaufbetrieb viel energieeffizienter geworden ist. Gleichzeitig wurde die Rechenleistung des spezifischen Servermodells um mehr als den Faktor 3 erhöht.“²³ Dies bezieht sich allerdings nur auf die Bewertung der CPU eines einzelnen Servers. Server haben auch eine Stromversorgung, dies übernimmt die PSU²⁴, diese verliert allerdings Energie in Form von Wärme und anderen Einflüssen, ein Wirkungsgrad gibt dabei an, wie viel Energie tatsächlich verwendet wird. Dies kann auch bewertet werden, das erfolgt über die Bewertung der PSU mithilfe des EU Energy Star-Programms für Server.

²¹ Kilowattstunden pro Jahr, 1Mrd kWh/a entsprechen 1 TWh/a

²² „Central Processing Unit“, auch Prozessor

²³ Schäppi et al.: Energieeffiziente IT und Infrastruktur für Rechenzentren und Serverräume, S. 12.

²⁴ „Power Supply Unit“, auch Netzteil genannt.

Dies hebt Anforderungen des Wirkungsgrades für die Lastniveaus 10 %, 20 %, 50 % und 100 %, also eine volle Auslastung. Eine Alternative für das Europäische Energy Star Programm ist das Amerikanische 80 PLUS-Programm, dies gewährleistet ein Wirkungsgrad von mindestens 80 %, allerdings nur ab einer 20 % Last, das heißt bei einer 10 % Last ist das Ergebnis nicht vorhersagbar und könnte außerhalb des 80 % Wirkungsgrad liegen. 80 PLUS lässt sich zudem in vier verschiedene Bewertungskategorien einteilen: Bronze, Silber, Gold und Platin, wobei Platin den besten Wirkungsgrad von mindestens 90 % hat und Bronze den schlechtesten von mindestens 80 % hat.²⁵ Bei der Betrachtung eines Vergleiches der beiden Bewertung-Skalars in Abbildung 4 lässt sich erkennen, dass 80 PLUS Platin die besten Wirkungsgrade erreicht, ein Kauf von Netzteilen, welche diese Zertifizierung haben, ist somit am effizientesten.

3.3.2 Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz

Die Energieeffizienz eines gesamten Datenzentrums kann mithilfe der Energieverbrauchseffektivität (Power Usage Effectiveness, PUE) gemessen werden. 2023 wurde das EnEFG (Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz) veröffentlicht, um eine Senkung des deutschen Energieverbrauchs zu gewährleisten. Die Abschnitte 4 und 5 regulieren dabei die Energieeffizienz in Rechenzentren und IT-Betrieben. §12 besagt dabei aus, dass alle Rechenzentren bis Juli 2025 ein Energie- oder Umweltmanagementsystem einführen müssen. Dieses ermöglicht eine Überprüfung der Effizienz. Ab 2027 müssen dazu laut §11 alle Rechenzentren einen PUE im Jahresdurchschnitt von weniger oder gleich 1,5 haben, ab 2030 einen von weniger oder gleich 1,3 und neue Rechenzentren, welche ab dem 1. Juli 2026 in den Betrieb genommen werden, müssen, einen PUE von 1,2 erreichen.²⁶ Durch die Einhaltung des PUE ist ein Energieverbrauch der IKT von weniger als

²⁵ vgl. Schäppi et al., 2011, S. 13.

²⁶ vgl. Bundesministerium der Justiz, 2023.

30 % für die Infrastruktur²⁷ des Rechenzentrums gewährleistet, wodurch die restlichen 70 % für die eigentlichen Rechenmaschinen verwendet werden können.²⁸

3.3.3 Klimafreundliche Kühlungssysteme

Die Kühlung eines Rechenzentrums hat einen signifikanten Einfluss auf den gesamten Energieverbrauch einer Anlage. Dies ist in Abbildung 2 zu erkennen, im Jahr 2020 hatte die Kühlung aller Rechenzentren in Deutschland etwa einen Energiebedarf von 3,5 Mrd. kWh/a²⁹. Eine Kühlung ist allerdings eine der wichtigsten Infrastrukturkomponenten, welche es in einem Rechenzentrum gibt. Sie verschwenden allerdings hohe Volumen an Wärme an die Umgebung. Ein Bericht von dem EU-Projekt „ReuseHeat“ über die in der EU verschwendeten Mengen städtischer Abwärme hat ergeben, dass durchschnittlich in Datenzentren 45–50 GWh/a³⁰ Wärme verschwendet werden.³¹ Eine Möglichkeit, welche sich aus der entstandenen Abwärme ergibt, ist es, die Wärme weiterzuleiten, also die direkte Nutzung der Wärme oder die Einspeisung ins Wärmenetz, wodurch CO₂-Emissionen in der Wärmeproduktion verringert werden könnten.³² Dies wird auch durch das vorherige schon erwähnte EnEfG verpflichtet, denn auch laut §11 Abs. 2 sind neue Rechenzentren ab 2026 zu Abwärmenutzung verpflichtet, welche einen Anteil an wiederverwendeter Energie von mindestens 10 % betragen soll, dies steigt bis 2028 jährlich um 5 %.³³ „Nach Bitkom-Berechnungen könnten mit der Nutzung der Abwärme von Rechenzentren jährlich rund 350.000 Wohnungen versorgt werden, was fast dem Bestand im Stadtstaat Bremen entspricht.“³⁴ Eine weitere Methode, um nachhaltiger zu kühlen, wäre eine

²⁷ z. B. Kühlung, Energieverteilung und Energiespeicherung

²⁸ vgl. Umweltbundesamt et al., 2023, S. 1–2.

²⁹ Klowattstunden pro Jahr

³⁰ Gigawattstunden pro Jahr, 1 Tsd. kWh/a entsprechen 1 GWh/a

³¹ vgl. Atabaki et al., 2022, S. 36.

³² vgl. Umweltbundesamt et al., 2023, S. 2–3.

³³ vgl. Bundesministerium der Justiz, 2023.

³⁴ Wörster: Abwärme von Rechenzentren, Abschn. Potenzial der Abwärme.

Alternative zur Luft-Kühlung zu benutzen. „Liquid Immersion Cooling Systems“ sind ein möglicher Ansatz, dabei werden die Server-Racks komplett in einer Flüssigkeit untergetaucht. Mithilfe von Wasserpumpen wird dabei konstant warmes Wasser vom System entfernt und die Wärme wird an die Luft abgegeben, damit es danach in das Kühlungs-System wieder eintreten kann. Dieses Verfahren ist simple und effizient, da es jede Komponente des Servers vollständig kühlt. Allerdings ist das System sehr teuer und hindert den Zugriff zu dem Server, welches die Verwaltung und Reparatur erschwert.³⁵ Eine Alternative, welche es einfacher macht, das System zu verwalten, ist das „Direct Liquid Cooling System“. Abbildung 5 zeigt, wie dieses System funktioniert, es werden einzelne Kühlblocks auf die einzelnen Komponenten eines Servers gebaut und gekühlt, pro Server-Rack geht dabei eine Warm-Wasserleitung raus und eine Kalt-Wasserleitung rein, das Abkühlen des Wassers erfolgt wie beim „Liquid Immersion Cooling System“.³⁶ Wasser Kühlungs-System ermöglicht es dadurch auch, eine geringen PUE zu halten. Datenzentren mit einem „Direct Liquid Cooling System“ erreichen eine PUE von weniger als 1,2, welches im Rahmen des EnEfG liegt, 2021 lag der Durchschnitt von wassergekühlten Datenzentren allerdings bei 1,57. Ein „Direct Liquid Cooling System“ reduziert dazu nicht nur den Energieverbrauch von bis zu 45 %, sondern ist zudem auch leiser und platzsparender im Vergleich zu herkömmlichen Kühlungssystemen.³⁷

4. Software-Optimierung

4.1 Unterschiede in Programmiersprachen

Zum Programmieren ist eine Sprache notwendig, um dem ausführenden System mitzuteilen, wie es sich verhalten muss. Dazu sind Programmiersprachen da, sie übersetzen menschlich lesbaren Quellcode in Maschinencode. Dabei

³⁵ vgl. Burse, 2023.

³⁶ vgl. Dhaini et al., 2021.

³⁷ vgl. 2CRSI SA, o. D.

wird in zwei verschiedenen Arten von Sprachen unterschieden, kompilierte und interpretierte Sprachen. Kompilierte Sprachen sind Programmiersprachen, welche einmalig mithilfe eines Compilers kompiliert werden. Dieser übersetzt den Quellcode in Maschinencode und produziert dadurch eine ausführbare Datei. Interpretierte Sprachen werden nicht direkt in Maschinencode übersetzt. Zum Ausführen werden sie von einem Programm namens „Interpreter“ eingelesen, wodurch der „Interpreter“ den notwendigen Maschinencode während der Laufzeit ausführt.³⁸ Es ist auch möglich, Programmiersprachen basierend auf einer Systemnähe zu bewerten. „Low-Level“ bedeutet dabei, dass die Sprache sehr maschinennahe ist, der Quellcode ist dabei äußerst ähnlich zu dem produzierten Maschinencode. Solche Sprachen ermöglichen oft eine effiziente Kontrolle von Hardware und somit eine effizientere Nutzung der verfügbaren Ressourcen des Systems. Diese Sprachen sind allerdings oft sehr komplex und schwer zu lernen. „High-Level“ bedeutet sehr Maschinen entfernt, der Quellcode ist dabei oft dem Englischen ähnlich. Diese Sprachen sind meist interpretiert und einfach in der Benutzung, wobei sie eine große Last vom Programmierer nehmen.³⁹

4.2 Energieeffiziente Programmierung

4.2.1 Wahl der Programmiersprache

Zwischen den zwei Arten der Programmiersprachen ist ein deutlicher Unterschied bei der ausgeführten Zeit und der verbrauchten Energie der CPU zu erkennen. Abbildung 6 stellt 17 Programmiersprachen im Vergleich dar. Es ist zu sehen, dass kompilierte Sprachen (c) deutlich energieeffizienter sind und weniger Zeit zum Ausführen brauchen als interpretierte Sprachen (i/v). Das heißt, durch eine schnellere Ausführung des Programmes wird potenziell Energie eingespart. Besonders effiziente Sprachen sind dabei eher „Low Level“, wie C, Fortan oder Rust, während „High Level“ Sprachen wie Python oder JavaScript eher im unteren Spektrum sind. Es sollte

³⁸ vgl. Kranz, 2018.

³⁹ vgl. Pedamkar, 2023.

allerdings darauf geachtet werden, was das endgültige Produkt leisten muss, da es keine optimale Programmiersprache gibt, welche am wenigsten Energie verbraucht.⁴⁰ C hatte zum Beispiel die schnellste Ausführungszeit und den geringsten Energieverbrauch der CPU, allerdings hatte Pascal die bei weitem geringste Nutzung des Arbeitsspeichers⁴¹. Durch Verwendung von weniger Arbeitsspeicher kann auch Strom eingespart werden, durch beispielsweise effizienteres Caching⁴², welches allerdings für jede CPU unterschiedlich ist. Es ist demnach möglich, optimale Sets für verschiedene Leistungen zu identifizieren.⁴³ Abbildung 7 teilt die Sprachen dabei in 4 Kategorien ein: Zeit & Arbeitsspeicher, Energie & Zeit, Energie und Arbeitsspeicher und Energie & Zeit & Arbeitsspeicher. C und Pascal sind dabei Spitzenreiter. Dazu fällt wieder auf, dass kompilierte „Low Level“ Sprachen am besten abschneiden.

4.2.2 Multithreading

Eine weitere Methodik, um die Zeit zum Ausführen eines Programmes zu reduzieren, ist Multithreading. Multithreading ermöglicht es, Aufgaben parallel auf einer CPU auszuführen. Dabei werden die Aufgaben auf verschiedene sogenannte Threads der CPU aufgeteilt. Ein Thread repräsentiert einen ausführbaren Teil eines Prozesses und ermöglicht die parallele Ausführung mehrerer Aufgaben. Dieses ermöglicht einerseits eine bessere Performance, andererseits auch eine bessere Energieeffizienz. Dies verdeutlicht Abbildung 8, es zeigt den unterschiedlichen Energieverbrauch und die Zeit, welche es gebraucht hat, um eine Aufgabe mit den Anzahlen von einem, zwei, vier und acht Threads zu bewältigen. Eine Ausführung mit acht Threads hatte dabei die schnellste Ausführungszeit, aber auch den höchsten Energieverbrauch pro ausgeführte Zeiteinheit. Der gesamte Energieverbrauch über die Ausführungszeit ist allerdings am geringsten. Im Vergleich zu

⁴⁰ vgl. Kha/Universität Hamburg, 2018.

⁴¹ Speicher, welcher sich auf dem RAM befindet

⁴² Das Speichern von Daten in der CPU für einen schnellen Zugriff

⁴³ vgl. Pereira et al., 2017, S. 8–10.

einem Thread war die Ausführung mit acht Threads 400 % schneller und verbraucht ungefähr 25 % weniger Energie.⁴⁴ Die Nutzung von Multithreading ist also wesentlich energieeffizienter.

4.3 Cloud-Computing mithilfe von Datenzentren

Cloud-Computing ermöglicht die Nutzung eines Public-Cloud-Rechenzentrums. Dort kann die Skalierung für eine optimale Leistung angepasst werden, wodurch die Rechenleistung eingespart wird, indem überflüssige Maschinen abgeschaltet und bei Bedarf wieder aktiviert werden. Rechenzentren haben dazu mehrere Kunden und können so dynamisch die Rechenleistung nach Bedarf zwischen Kunden aufteilen. Auch können einzelne Systeme verschiedene Anwendungen, von verschiedenen Kunden, gleichzeitig ausführen, mithilfe von paralleler Ausführung, welches in Abbildung 8 als energieeffizienter dargestellt wurde. Dazu kann ein effizientes Kühlsystem für eine große Anzahl an Systemen genutzt werden.⁴⁵ Durch Nutzung von Cloud-Computing und der Nutzung eines EnEfG konformen Rechenzentrums ist es dementsprechend möglich, Energie einzusparen und somit nachhaltiger zu handeln. Dies zeigt auch Amazon mit Zahlen, sie sagen, dass ihre AWS-Cloud-Datenzentren 84 % weniger Energie verbrauchen, 77 % weniger Server benutzen und einen im Durchschnitt 28 % grüneren Energiemix benutzen, anstelle von einem persönlich operierten „On-premises“ Datenzentrum der Kunden.⁴⁶

5 Umgang mit E-Waste

5.1 Gefahren von E-Waste

E-Waste beinhaltet viele schädliche Stoffe, welche bei der Verarbeitung freigesetzt werden. In Abbildung 9 ist eine Tabelle zu sehen, welche verschiedene Schadstoffe und deren

⁴⁴ vgl. Goekkus Konya, 2013., S. 22–24.

⁴⁵ vgl. Fraunhofer-Allianz, o. D.

⁴⁶ vgl. Barr, 2015.

Auftreten darstellt. Es ist zu erkennen, dass Alltagsgegenstände wie Batterien, Leiterplatten oder ein Thermometer Stoffe wie Quecksilber, Blei, Lithium oder Cadmium enthalten. Diese Schadstoffe können starke Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen haben und die Entwicklung von Kindern beeinträchtigen.⁴⁷

5.2 Richtlinie der EU über Elektroschrott

Die EU hatte bereits 2012 eine rechtliche Grundlage für die Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten (WEEE-Richtlinie) durchgesetzt, welche auf nationaler Ebene in den EU-Staaten und Norwegen durchgesetzt wurde. Diese Richtlinie schreibt vor, dass E-Waste von Haushältern kostenfrei an Händlern, Sammelstellen oder Kaufhäusern zurückgegeben werden kann. Dies ist oft zu sehen bei Supermärkten in Form der Batterie- und Akkusammelbehälter.⁴⁸ Hersteller müssen auch garantieren, den E-Waste von Elektroartikeln wieder anzunehmen und für neue Produkte eine Finanzierung für umweltgerechte Entsorgung in der Zukunft garantieren. Diese Richtlinie schreibt auch die ordnungsgemäße Behandlung und das Benötigen einer Genehmigung für das Recyclen und Entsorgen von E-Waste vor.⁴⁹ „Diese Richtlinie soll zur Nachhaltigkeit von Produktion und Verbrauch sowie zur effizienten Ressourcennutzung und zur Rückgewinnung von wertvollen Sekundärrohstoffen beitragen, indem vorrangig durch die Vermeidung von Abfällen von Elektro- und Elektronikgeräten und darüber hinaus durch Wiederverwendung, Recycling und andere Formen der Verwertung solcher Abfälle die zu beseitigende Abfallmenge reduziert wird.“⁵⁰ Die Umsetzung dieses Gesetzes lässt sich auch im E-Waste Monitor von 2020 sehen, in West-, und Nord-Europa, wozu nur EU Staaten zählen⁵¹, wurden mindestens 54 % des E-Waste nachhaltig und

⁴⁷ vgl. Sharma, o. D.

⁴⁸ vgl. Snyder, o. D.

⁴⁹ vgl. Rat Der Europäischen Union/Europäisches Parlament, 2012, S. 8–9.

⁵⁰ Rat Der Europäischen Union/Europäisches Parlament: Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, S. 1.

⁵¹ Stand 2020 (Brexit)

dokumentiert recycelt, während es in ost-Europäischen Ländern, wie Russland oder die Ukraine, 2020 im Durchschnitt nur 23 % waren. Es ist anzumerken, dass die Länder mit dem höchsten Prozentsatz an recycelten E-Waste auch die Länder mit der höchsten Produktion an E-Waste sind.⁵²

5.3 Umweltfreundliche Entsorgung und Recycling

5.3.1 Entgiftung

E-Waste beinhaltet nicht nur Schadstoffe, auch wertvolle Materialien, wie eine Reihe von seltenen Erden, können noch aus ihnen geborgen werden, um wiederverwendet werden zu können.⁵³ Damit diese allerdings sicher von dem E-Waste entnommen werden kann, muss dieser erstmals kontaminiert werden. Dabei werden kritische Komponenten wie Batterien oder Glühbirnen erstmalig entfernt, aber auch giftige Gase wie das langlebige Treibhausgas FCKW⁵⁴, welche sowohl für die Umwelt als auch den Menschen schädlich sind.⁵⁵

5.3.2 Zerkleinern

Nach der Entgiftung erfolgt das Zerkleinern, dabei werden die Komponenten geschreddert. Dadurch ist es möglich, in großen Maßen effizient einzelne Materialien herauszufiltern. Auch hier erfolgt eine weitere Trennung von Schadstoffen, welche daraufhin umweltschonend behandelt werden.⁵⁶

5.3.3 Raffinierung

Durch das Verarbeiten des zerkleinerten E-Waste mithilfe von chemischen Ansätzen ist es möglich, wertvolle Materialien für die Wiederverwendung zu gewinnen. So konnten 99 % der Goldanteile von Smartphones und CPUs zurückgewonnen werden. Ähnliche hohe Ergebnisse zeigen sich mit Platin bei Katalysatoren, dort wurden 89 % zurückgewonnen, bei dem hochgiftigen Material Palladium waren es sogar 100 %.⁵⁷

⁵² vgl. Forti V. et al., 2020, S. 76.

⁵³ vgl. Singapore-CEA Alliance for Research in Circular Economy, o. D.

⁵⁴ Fluorchlorkohlenwasserstoffe

⁵⁵ vgl. Sharma, o. D.

⁵⁶ vgl. Sharma, o. D.

⁵⁷ vgl. EU-Generaldirektion der Umwelt, 2022.

Durch diesen Vorgang ist es möglich, höchst effizient und klimaneutral an einzelne Ressourcen für die Wiederverwendung zu gelangen. Dadurch wird nicht nur der höchst schädliche Abbau des Materials eingespart, sondern möglicherweise auch der Transport zur Produktionsstätte.

6. Fazit

Umweltschonendes Handeln für eine grüne Zukunft ist wichtig, denn es ist ein deutlicher Anstieg in den CO₂-Emissionen der letzten Jahrzehnte zu erkennen, dabei hat die IKT einen erheblichen Einfluss. Und in Anbetracht der umfassenden Betrachtung von Green Computing und seiner verschiedenen Aspekte lässt sich deutlich feststellen, dass es als ein Schlüssel zur nachhaltigen Nutzung von Informationstechnologien für eine grünere Zukunft betrachtet werden kann.

Die Idee hinter Green Computing in Rechenzentren ermöglicht die Anwendung von Benchmarks, um eine genaue Bewertung der Energieeffizienz einer CPU unter verschiedenen Belastungslevel herauszufinden. Neue Generationen von Servern verfügen über ein verbessertes Powermanagement, welches ihnen ermöglicht, bei niedrigen Rechenleistungen energieeffizienter zu sein und dabei die Leistung deutlich zu verbessern. Neben der CPU-Bewertung spielt auch die Stromversorgung durch die PSU eine wichtige Rolle. Mithilfe des 80 PLUS Programm ist es möglich, PSUs zu identifizieren, welche einen erheblich höheren Wirkungsgrad besitzen. Auch der deutsche Staat fordert eine höhere Energieeffizienz mithilfe des EnEfG. Datenzentren werden dabei mithilfe des PUE bewertet, dieser gibt an, wie viel Energie für die eigentlichen Rechenmaschinen verwendet wird. Ein niedriger PUE ist bis 2030 das Ziel für jedes Datenzentrum. Im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch von Rechenzentren spielt auch die Kühlung eine entscheidende Rolle. Die Nutzung von klimafreundlichen Kühlungssystemen, wie dem „Direct Liquid Cooling System“, ermöglicht eine effiziente Wärmeabfuhr. Durch

Wärmeabfuhr soll auch Energie eingespeichert werden, das EnEfG schreibt vor, dass Datenzentren bis 2028 20 % der produzierten Wärme wiederverwenden müssen.

Auch mit der Software, welche schlussendlich im Datenzentrum aufgeführt wird, wurden mögliche Chancen mithilfe von Green Computing gefunden, energieeffizienter und somit auch grüner zu sein. Durch eine tiefgehende Analyse von 17 Programmiersprachen ist deutlich geworden, dass systemnahe „Low Level“ Sprachen, welche kompiliert werden, am energieeffizientesten sind. Eine weitere Methode, um Energie einzusparen, ist Multithreading oder das parallele Ausführen. Die Nutzung davon ermöglicht es, deutlich effizientere Anwendungen auszuführen. Abschließend bietet Cloud-Computing eine effiziente Herangehensweise, energieeffiziente Softwareentwicklung mit energieeffizienten Datenzentren zu verbinden. Diese bietet Skalierbarkeit und eine starke Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs.

Auch der Weg von E-Waste und den beinhalteten Schadstoffen für Mensch und Umwelt wurde betrachtet. Die EU schreibt eine umweltfreundliche Entsorgung mithilfe der WEEE-Richtlinie vor, welche in der Umsetzung Erfolg zeigt. Ein Verarbeiten des E-Waste erfolgt in drei Schritten, die Entgiftung, das Zerkleinern und die Raffinierung. Es ist dabei teils möglich, bis zu 100 % der seltenen und giftigen Materialien zu recyceln, während Schadstoffe sicher und möglichst klimaneutral entfernt werden.

Abschließend kann festgehalten werden, dass Green Computing primär als Konzept und Ansatz einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung von Informationstechnologien leistet, aber auch gelungene Implementierungen sich als nachhaltig erweisen. Green Computing tut dies, indem Innovation mit gesetzlichen Regelungen und nachhaltigem Handeln vereint. Dabei zielt es nicht nur darauf ab, durch die Integration den Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen zu verringern, sondern auch ressourcenschonend und

menschlich zu handeln. Somit ist Green Computing zweifellos ein Schlüssel zu einer nachhaltigen Nutzung der Informationstechnologien für eine grünere Zukunft.

Literaturverzeichnis

2CRSI SA: What Is the Direct Liquid Cooling System?, in: 2crsi.com, o. D., [online] <https://2crsi.com/direct-liquid-cooling> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Aganina, Katharina: Green IT: So können Sie mithelfen, Ihr Unternehmen umweltfreundlicher zu gestalten, in: ratbacher.de, 02.02.2023, [online] <https://www.ratbacher.de/blog/green-it-massnahmen/> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Andreas, Manhart/Markus Blepp/Corinna Fischer/Kathrin Graulich/Siddharth Prakash/Rasmus Priess/Tobias Schleicher/Maria Tür: Resource Efficiency in the ICT Sector Final Report, in: oeko.de, 11.2016, [online] https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Resource_Efficiency_ICT_summary.pdf (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Atabaki, Saeid/Urban Persson/Steffen Nielsen/Diana Moreno: Report on the amounts of urban waste heat accessible in the EU28, Bd. D1.9, 31.05.2022, [online] <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5ecdc2139&apId=PPGMS> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Barr, Jeff: Cloud Computing, Server Utilization & the Environment | Amazon Web Services, in: aws.amazon.com, 05.06.2015, [online] <https://aws.amazon.com/de/blogs/aws/cloud-computing-server-utilization-the-environment/> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Belov, Nikita: Wie Rechenzentren ihren ökologischen Fußabdruck verringern können, in: usu.com, 28.02.2023, [online] [https://blog.usu.com/de-de/data-center-und-oekologischer-fussabdruck#:~:text=Die%20IKT-Technologie%20\(Server%2C,%2C8%20%25%20des%20Stromverbrauchs%20verantwortlich](https://blog.usu.com/de-de/data-center-und-oekologischer-fussabdruck#:~:text=Die%20IKT-Technologie%20(Server%2C,%2C8%20%25%20des%20Stromverbrauchs%20verantwortlich) (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Berliner Abendblatt: Elektroschrott vermeiden: Handys reparieren statt wegwerfen, in: Berliner Abendblatt, 14.04.2023, [online] <https://berliner-abendblatt.de/kiez-news/staunen-stoebern/elektroschrott-vermeiden-handys-reparieren-statt-wegwerfen-id217775> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Bundesministerium der Justiz: EnEfG - Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland, in: gesetze-im-internet.de, 13.11.2023, [online] <https://www.gesetze-im-internet.de/enefg/> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Bundesumweltministeriums: Green IT, in: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, o. D., [online] <https://www.bmu.de/themen/nachhaltigkeit/konsum-und-produkte/produktbereiche/green-it> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Kein Veröffentlichungsdatum, allerdings stand
30.6.2020

Burse, Jay: Direct Contact Liquid Cooling (DCLC) Vs Liquid Immersion Cooling (LIC), in: Prasa-pl.com, 31.03.2023, [online] <https://prasa-pl.com/blog/direct-contact-liquid-cooling-dclc-vs-liquid-immersion-cooling-lic/> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Chakrabarti, Tapan: Possible hazardous substances in WEEE/E-waste components, in: researchgate.net, 02.2010, [online] https://www.researchgate.net/figure/Possible-hazardous-substances-in-WEEE-E-waste-components_tbl2_41425599 (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Dhaini, Mahdi/Mohammad Jaber/Amin Fakhereldine/Sleiman Hamdan/Ramzi A. Haraty: Green Computing Approaches - a survey, in: Informatica, Bd. 45, Nr. 1, 15.03.2021, [online] doi:10.31449/inf.v45i1.2998.

EU-Generaldirektion der Umwelt: E-waste: chemical processing without heat may offer efficient method of recovering metals from end-of-life products, in: environment.ec.europa.eu, 12.10.2022, [online] https://environment.ec.europa.eu/news/e-waste-chemical-processing-without-heat-may-offer-efficient-method-recovering-metals-end-life-2022-10-12_en (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Forti V., Baldé C.P., Kuehr R., Bel G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam. [online] https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2020/11/GEM_2020_def_july1_low.pdf (zuletzt abgerufen am 21.02.2024)

ISBN-Digital: 978-92-808-9114-0

ISBN-Print: 978-92-808-9115-7

(Zitierung in diesem Format laut Auto erforderlich)

Fraunhofer-Allianz: Grün durch Cloud?, in: cloud.fraunhofer.de, o. D., [online] <https://www.cloud.fraunhofer.de/de/faq/greencloud.html> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Goekkus Konya, Fethullah: Energy efficient programming, Bachelor, University of Zurich, 2013, [online] https://files.ifi.uzh.ch/hilty/t/examples/bachelor/Energy_Efficient_Programming_Gökkus.pdf (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Gröger, Jens: Was ist Green IT?, 09.2022, [online] https://digitalgreentech.de/fileadmin/PR/DigitalGreenTech/2022-09_Groeger_GreenIT.pdf (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Hintemann, Ralph/Borderstep Institut: Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020, 2020, [online] https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2021/03/Borderstep_Rechenzentren2020_20210301_final.pdf (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Hütz-Adams, Friedel: Von der Mine bis zum Konsumenten. Die Wertschöpfungskette von Mobiltelefonen, Druckerei u. Verlag Brandt GmbH, 06.11.2012, [online] <https://www.suedwind-institut.de/informieren/publikationen/beitrag/von-der-mine-bis-zum-konsumenten-die-wertschoepfungskette-von-mobiltelefonen> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

IBM: Was ist ein Rechenzentrum?, in: IBM, o. D., [online] <https://www.ibm.com/de-de/topics/data-centers> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Janson, Matthias/Öko-Institut e.V.: Der CO₂-Fußabdruck unseres digitalen Lebens, in: statista.com, 04.2020, [online] <https://de.statista.com/infografik/27216/co2-emissionen-durch-informationstechnik-in-deutschland-pro-kopf/> (zuletzt abgerufen am 21.02.2024)

Kha, Willy/Universität Hamburg: Effiziente Programmierung: Energieeffizienz, Hamburg, Deutschland, 26.03.2018, [online] https://wr.informatik.uni-hamburg.de/media/teaching/wintersemester_2017_2018/ep-1718-kha-energieeffizienz-ausarbeitung.pdf (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Kranz, Jan-Dirk: Interpretierte vs. kompilierte Programmiersprachen, in: IT-Talents.de, 27.02.2018, [online] <https://it-talents.de/it-wissen/interpretierte-vs-kompilierte-programmiersprachen/> (zuletzt abgerufen am 21.02.2024)

Larsson, P.: Developing green software, in: Intel Software Solution Group, 2011, [online] https://wr.informatik.uni-hamburg.de/media/teaching/wintersemester_2017_2018/ep-1718-kha-energieeffizienz-ausarbeitung.pdf (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Als Zitat zu finden auf S. 12, Original online nicht mehr verfügbar

Levin, Kelly: New global CO2 emissions numbers are in. they're not good., in: wri.org, 05.12.2018, [online] <https://www.wri.org/insights/new-global-co2-emissions-numbers-are-theyre-not-good> (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Pedamkar, Priya: High level languages vs Low level languages, in: EDUCBA, 17.04.2023, [online] <https://www.educba.com/high-level-languages-vs-low-level-languages/> (zuletzt abgerufen am 21.02.2024)

Pereira, Rui/Marco Couto/Francisco Ribeiro/Rui Rua/Jácome Cunha/João Paulo Fernandes/João Saraiva: Energy efficiency across programming languages: how do energy, time, and memory relate?, in: SLE 2017, 23.10.2017, [online] doi:10.1145/3136014.3136031

PrimeEnergyIT Projektkonsortium: Effizienzanforderungen für Netzteile: Energy Star und 80 PLUS Initiative, in: klimaaktiv.at, 11.2011, [online] https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:6bf2ea67-c40f-404e-b9a4-69ff6c4140c0/Effiziente_IT_Rechenzentren_Primenergy.pdf (zuletzt abgerufen am 20.02.2024)

Seite 13, Abbildung 3c

Rat Der Europäischen Union/Europäisches Parlament:
Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und
des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Alt-
geräte, in: eur-lex.europa.eu, 04.06.2012, [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02012L0019-20180704> (zuletzt
abgerufen am 22.02.2024)

Schäppi, Bernd/PrimeEnergyIT Projektkonsortium/Austrian
Energy Agency: Energieeffiziente IT und Infrastruktur für Re-
chenzentren und Serverräume, Wien, Österreich, 11.2011,
[online] [https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:6bf2ea67-c40f-404e-b9a4-69ff6c4140c0/Effiziente IT Rechenzentren Pri-
menergy.pdf](https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:6bf2ea67-c40f-404e-b9a4-69ff6c4140c0/Effiziente_IT_Rechenzentren_Primerenergy.pdf) (zuletzt abgerufen am 21.02.2024)

Sharma, Ashok: Electronic Waste or E-Waste, in: Engineers
Garage, o. D., [online] <https://www.engineersgarage.com/electronic-waste-or-e-waste/> (zuletzt abgerufen am
22.02.2024)

Singapore-CEA Alliance for Research in Circular Economy:
Detoxification and recycling of toxic plastics in e-waste, in:
ntu.edu.sg, o. D., [online] <https://www.ntu.edu.sg/scarce/research-focus/detoxification-and-recycling-of-toxic-plastics-in-e-waste> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Snyder, Jeff: Recycling von Elektroschrott, in: iFixit, o. D.,
[online] <https://de.ifixit.com/Wiki/E-Waste> (abgerufen am
22.02.2024)

Spec: SPECpower-Benchmark für verschiedene Server Ge-
nerationen (G5, G7 Server from HP), in: www.spec.org,
2010, [online] [https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:6bf2ea67-c40f-404e-b9a4-69ff6c4140c0/Effiziente IT Rechenzen-
tren Primenergy.pdf](https://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:6bf2ea67-c40f-404e-b9a4-69ff6c4140c0/Effiziente_IT_Rechenzentren_Primerenergy.pdf) (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Umweltbundesamt/Antonia Welk/Natascha Rupp/Marina Köhn/Anna Zagorski: Das Energieeffizienzgesetz: Chancen für die Rechenzentrums- und IT-Branche, 17.05.2023, [online] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/17052023_policy_paper_eneffg_chancen_fuer_die_rechenzentrums_und_it-branche.pdf (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Weiland, Michael: Abfall auf Abwegen, in: Greenpeace.de, 07.02.2019, [online] <https://www.greenpeace.de/engagieren/nachhaltiger-leben/abfall-abwegen> (zuletzt abgerufen am 22.02.2024)

Wörster, Michael: Abwärme von Rechenzentren, in: mvv.de, 29.06.2023, [online] <https://partner.mvv.de/blog/abwaerme-von-rechenzentren-rztm> (zuletzt abgerufen am 21.02.2024).

Anhang

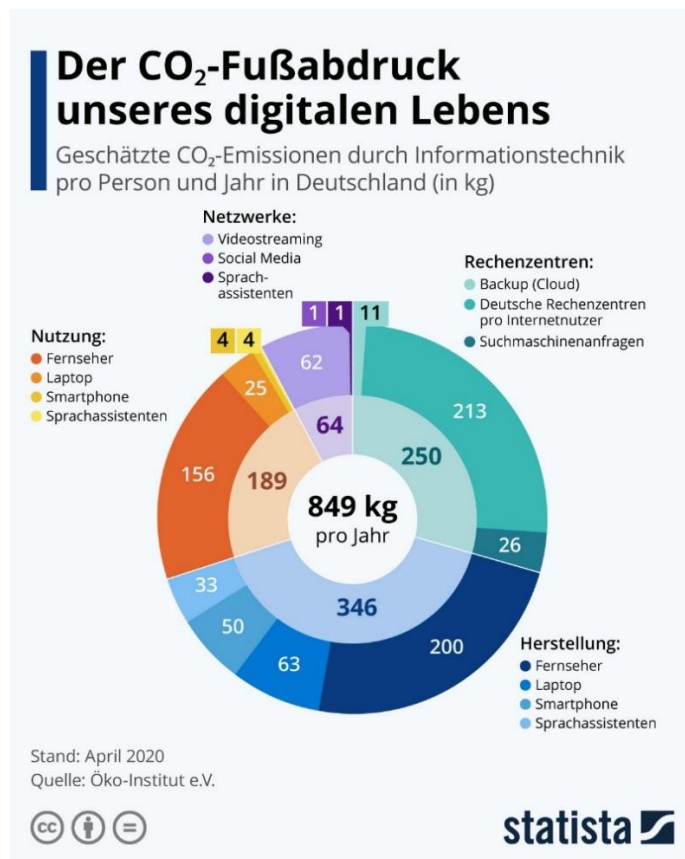


Abbildung 1 - Der CO₂-Fußabdruck unseres digitalen Lebens (Janson/Öko-Institut e. V., 2020)

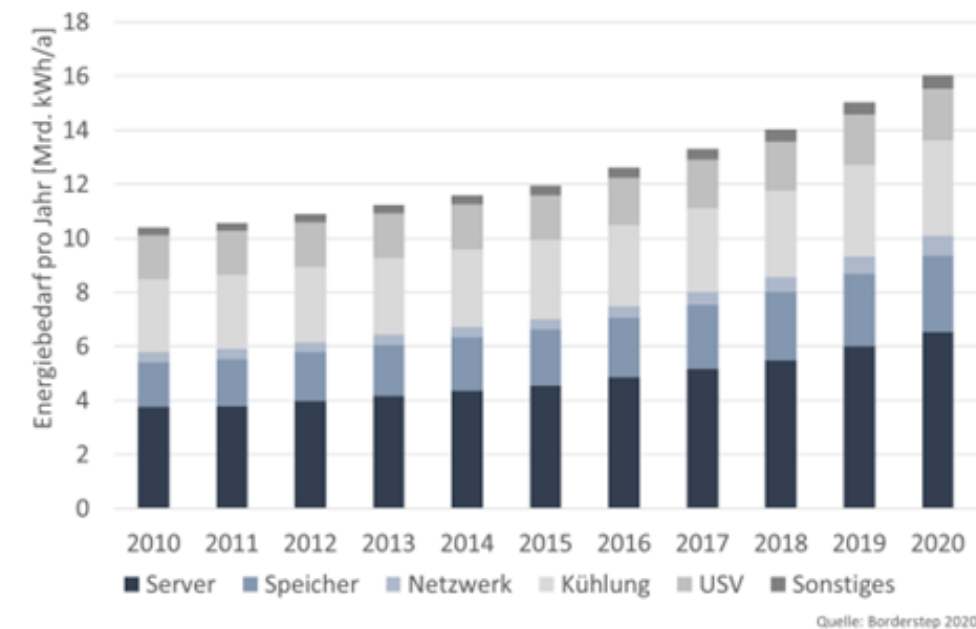


Abbildung 2 - Energiebedarf der Server und Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2020 (Hintemann/Borderstep Institut, 2020)

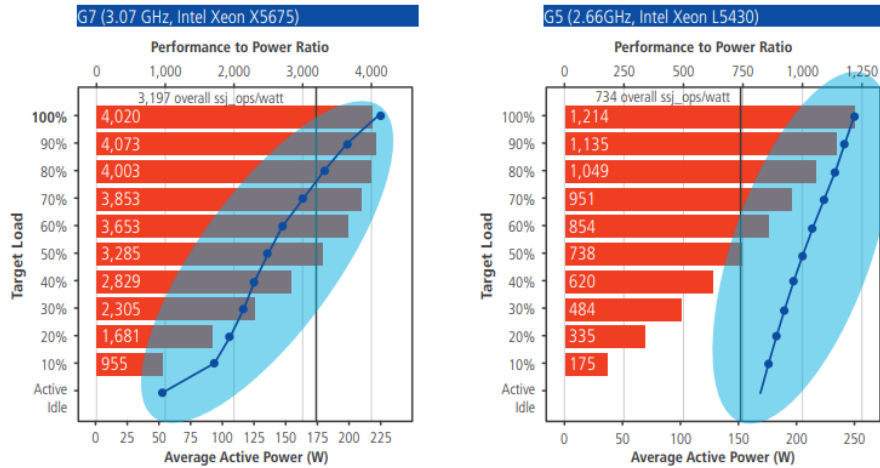


Abbildung 3 – SPECpower-Benchmark für verschiedene Server Generationen (Spec, 2010)

	Netzteil- Typ	Nennleistung	10% Last	20% Last	50% Last	100% Last
Energy Star Vs1	Multi-output (AC-DC & DC-DC)	Alle Level	N/A	82%	85%	82%
	Single-output (AC-DC & DC-DC)	≤ 500 W	70%	82%	89%	85%
		>500–1.000 W	75%	85%	89%	85%
		> 1.000 W	80%	88%	92%	88%
Energy Star Vs2 Draft	Multi-output (AC-DC & DC-DC)	Alle Level	N/A	85%	88%	85%
	Single-output (AV-DC & DC-DC)	Alle Level	80%	88%	92%	88%
80 PLUS	Bronze	Alle Level	N/A	81%	85%	81%
	Silber	Alle Level	N/A	85%	89%	85%
	Gold	Alle Level	N/A	88%	92%	88%
	Platin	Alle Level	N/A	90%	94%	91%

Abbildung 4 - Effizienzanforderungen für Netzteile (PrimeEnergyIT Projektkonsortium, 2011)

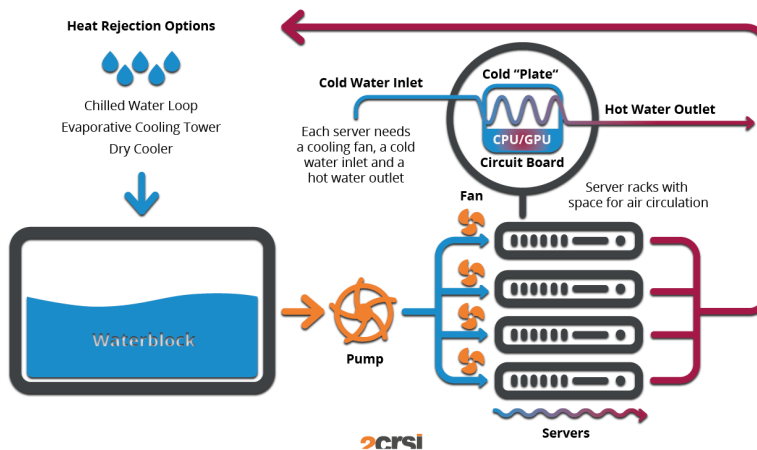


Abbildung 5 - What Is the Direct Liquid Cooling System? (2CRSI SA, o. D.)

Total					
	Energy		Time		Mb
(c) C	1.00	(c) C	1.00	(c) Pascal	1.00
(c) Rust	1.03	(c) Rust	1.04	(c) Go	1.05
(c) C++	1.34	(c) C++	1.56	(c) C	1.17
(c) Ada	1.70	(c) Ada	1.85	(c) Fortran	1.24
(v) Java	1.98	(v) Java	1.89	(c) C++	1.34
(c) Pascal	2.14	(c) Chapel	2.14	(c) Ada	1.47
(c) Chapel	2.18	(c) Go	2.83	(c) Rust	1.54
(v) Lisp	2.27	(c) Pascal	3.02	(v) Lisp	1.92
(c) Ocaml	2.40	(c) Ocaml	3.09	(c) Haskell	2.45
(c) Fortran	2.52	(v) C#	3.14	(i) PHP	2.57
(c) Swift	2.79	(v) Lisp	3.40	(c) Swift	2.71
(c) Haskell	3.10	(c) Haskell	3.55	(i) Python	2.80
(v) C#	3.14	(c) Swift	4.20	(c) Ocaml	2.82
(c) Go	3.23	(c) Fortran	4.20	(v) C#	2.85
(i) Dart	3.83	(v) F#	6.30	(i) Hack	3.34
(v) F#	4.13	(i) JavaScript	6.52	(v) Racket	3.52
(i) JavaScript	4.45	(i) Dart	6.67	(i) Ruby	3.97
(v) Racket	7.91	(v) Racket	11.27	(c) Chapel	4.00
(i) TypeScript	21.50	(i) Hack	26.99	(v) F#	4.25
(i) Hack	24.02	(i) PHP	27.64	(i) JavaScript	4.59
(i) PHP	29.30	(v) Erlang	36.71	(i) TypeScript	4.69
(v) Erlang	42.23	(i) Jruby	43.44	(v) Java	6.01
(i) Lua	45.98	(i) TypeScript	46.20	(i) Perl	6.62
(i) Jruby	46.54	(i) Ruby	59.34	(i) Lua	6.72
(i) Ruby	69.91	(i) Perl	65.79	(v) Erlang	7.20
(i) Python	75.88	(i) Python	71.90	(i) Dart	8.64
(i) Perl	79.58	(i) Lua	82.91	(i) Jruby	19.84

Abbildung 6 - Normalized global results for Energy, Time, and Memory (Pereira et al., 2017, S. 8)

Time & Memory	Energy & Time	Energy & Memory	Energy & Time & Memory
C • Pascal • Go	C	C • Pascal	C • Pascal • Go
Rust • C++ • Fortran	Rust	Rust • C++ • Fortran • Go	Rust • C++ • Fortran
Ada	C++	Ada	Ada
Java • Chapel • Lisp • Ocaml	Ada	Java • Chapel • Lisp	Java • Chapel • Lisp • Ocaml
Haskell • C#	Java	OCaml • Swift • Haskell	Swift • Haskell • C#
Swift • PHP	Pascal • Chapel	C# • PHP	Dart • F# • Racket • Hack • PHP
F# • Racket • Hack • Python	Lisp • Ocaml • Go	Dart • F# • Racket • Hack • Python	JavaScript • Ruby • Python
JavaScript • Ruby	Fortran • Haskell • C#	JavaScript • Ruby	TypeScript • Erlang
Dart • TypeScript • Erlang	Swift	TypeScript	Lua • JRuby • Perl
JRuby • Perl	Dart • F#	Erlang • Lua • Perl	
Lua	JavaScript	JRuby	
	Racket		
	TypeScript • Hack		
	PHP		
	Erlang		
	Lua • JRuby		
	Ruby		

Abbildung 7 - Pareto optimal sets for different combination of objectives (Pereira et al., 2017, S. 10)

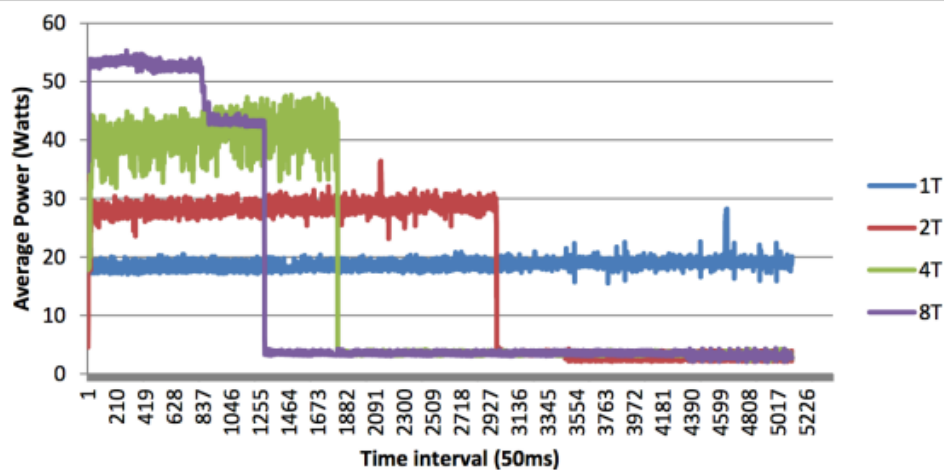


Abbildung 8 - Die Auswirkung von Multithreading auf ein Programm (Larsson, 2011)

Component	Possible hazardous content
Cooling	ODS
Plastic	Phthalate plasticizer, BFR
Insulation	Insulation ODS in foam, asbestos, refractory ceramic fiber
Glass	Lead, Mercury (if coated)
CRT	Lead, Antimony, Mercury, Phosphors
LCD	Mercury
Rubber	Phthalate plasticizer, BFR
Wiring/Electrical	Phthalate plasticizer, Lead, BFR
Circuit board	Lead, Beryllium, Antimony, BFR
Fluorescent lamp	Mercury, Phosphorus, Flame Retardants
Thermostat	Mercury
BFR-containing plastic	BFRs
Batteries	Lead, Lithium, Cadmium, Mercury
CFC, HCFC, HFC, HC	Ozone depleting substances

Abbildung 8 - Possible hazardous substances in WEEE/E-waste components (Chakrabarti, 2010)

Geschlechtsneutralität

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde der Text ausschließlich der männlichen Form gewappnet, nichtsdestoweniger beziehen sich die Angaben auf Angehörige beider Geschlechter.

Versicherung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, dass die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken oder dem Internet entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Wichtige aus dem Internet übernommene Informationen habe ich im Anhang vollständig beigefügt.

Hage, den 23.02.2024

Ort, Datum



Unterschrift