

COGNITIVE BRIEFING

Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie

Ein unterschätztes Problem

TECHNIK

UMWELT

Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie

Ein unterschätztes Problem

Die Vorstellung, dass der Wandel zur digitalen Gesellschaft gleichzeitig die Ressourcenprobleme der Menschheit löst, ist leider naiv und irreführend. Virtualisierung, Speicherung, Datentransfer und Datennutzung haben nicht nur einen sehr grossen CO₂-Fußabdruck; die dahinterliegende Infrastruktur aus Datenspeichern, Kommunikationstechnologie und Endgeräten verbraucht sehr grosse Mengen an Rohstoffen und Energie zur Fabrikation. Der häufig in den Mittelpunkt gestellte Energieverbrauch für den reinen Betrieb verschlechtert die Bilanz zusätzlich. Da die Digitalisierung der Gesellschaft mit der Corona-Krise einen zusätzlichen Schub bekommen wird, ist eine kritische Diskussion der Fakten und Hintergründe angebracht.

CO₂-Fußabdruck: Grundsätzlich macht der CO₂-Fußabdruck eine Aussage über die Menge der CO₂-Emissionen, die in einer bestimmten Zeit verursacht werden. Dabei lässt sich dieser Fußabdruck sowohl für einen einzelnen Menschen berechnen als auch für ganze Länder oder Institutionen. Aber auch die Emission einzelner Produkte oder Dienstleistungen lassen sich so bestimmen.



Führt der gegenwärtig eingeschlagene Pfad der Digitalisierung dazu, dass die Menschheit sich von natürlichen Ressourcen löst oder könnte dieser auch in eine neue Ressourcen-Krise führen?

Thesen:

- ⇒ Weltweit zunehmende Digitalisierung verursacht massiven CO₂-Fußabdruck*
- ⇒ Bei gleichbleibendem Verlauf wäre in 200 Jahren die theoretische Speichergrenze aller auf der Erde verfügbaren Atome ausgeschöpft*
- ⇒ Die Hardware-Infrastruktur und die Bereitstellung („Provisioning“) von Daten verbrauchen die meisten Ressourcen, nicht die tatsächliche Nutzung, z.B. via Internet*
- ⇒ Internet-Werbung ist einer der größten „Verschmutzungs-Faktoren“*
- ⇒ 50% der Energiekosten elektronischer Geräte fallen vor dem ersten Betrieb an*
- ⇒ Bei der CO₂-Diskussion um die Digitalökonomie wird dogmatische Plakativität leider häufig methodischer Stringenz gegenüber bevorzugt*
- ⇒ Die Corona-Krise 2020 verschärft das grundsätzliche Problem abrupt und sehr weitgehend (Arbeit im Home Office-Modus, vermehrte Telefon- und Videokonferenzen, digitaler News Flow)*

Corona als Stresstest für das Internet

Die im Frühjahr 2020 ausgebrochene Corona-Pandemie führte zu einem sprunghaften Anstieg des mobilen Arbeitens. Millionen von Büro-Angestellten wurden zur Arbeit im Home-Office nach Hause geschickt. Bald kam die Sorge auf, ob die meistgenutzte Daten-Infrastruktur, das Internet, dem massiven Auslastungssprung standhalten könne. Nicht nur gesicherte VPN-Verbindungen, sondern auch Videokonferenzen, Voice-over-IP und andere ins Internet ausgelagerte Prozesse verbrauchen in der Krise erhebliche zusätzliche Ressourcen. Tatsächlich bestätigt Akamai, eine der welt-

grössten Computing-Plattformen, dass der Datenverkehr im Internet durch die Corona-Krise zwischen 50% und 100% zum Vergleichszeitraum angesprungen sei.¹ Vereinzelt kam es zu Engpässen, aber grundsätzlich funktionierte das Home-Office für alle. Fast alle Teile unseres täglichen Lebens teilen sich dasselbe Datennetz: vom Geldautomaten über den Fernseher bis zum Telefon und Home-Office Computer. Vorsorglich musste der Streaming-Dienst Netflix die Auflösung seiner Filme reduzieren, damit das Internet auch unter der neuen, massiv erhöhten Last stabil bleibt.

Die Datenflut als Umweltkatastrophe?

Die Krisensituation war ein erheblicher Stresstest, aber die Menge maschinenlesbarer Bits und Bytes steigt seit langem exponentiell, nicht erst durch COVID-19: Die Beratung IDC schätzt, dass sich die Menge elektronisch gespeicherter Daten weltweit von heute 33 Zettabytes auf 175 Zettabytes im Jahre 2025 ausweiten wird.² 1 Zettabyte sind 1 Milliarde Gigabytes. 175 Zettabytes entsprechen der 17-Milliarden-fachen Datenmenge der 30 Millionen Bücher in der Library of Congress in Washington D.C. – der weltgrößten Bibliothek. Die Wachstumsrate der Datenmenge beträgt über 25% pro Jahr und das Datenvolumen der Menschheit verdoppelt sich etwa alle drei Jahre.

Es ist wichtig, zwischen Daten und Informationen zu unterscheiden: Daten sind häufig keine nutzbaren Informationen⁵, sondern Kopien, Varianten oder Datenmüll.

Die Daten von IDC decken sich mit einer Studie der Semiconductor Industry Association aus dem Jahre 2015. Diese gibt einen Rahmen für das Wachstum der Datenmenge im Zeitraum bis 2050 vor (vgl. Abb. 1).

Alle diese Daten werden generiert, verarbeitet und gespeichert. Teilweise geschieht dies durch Maschinen, beispiels-

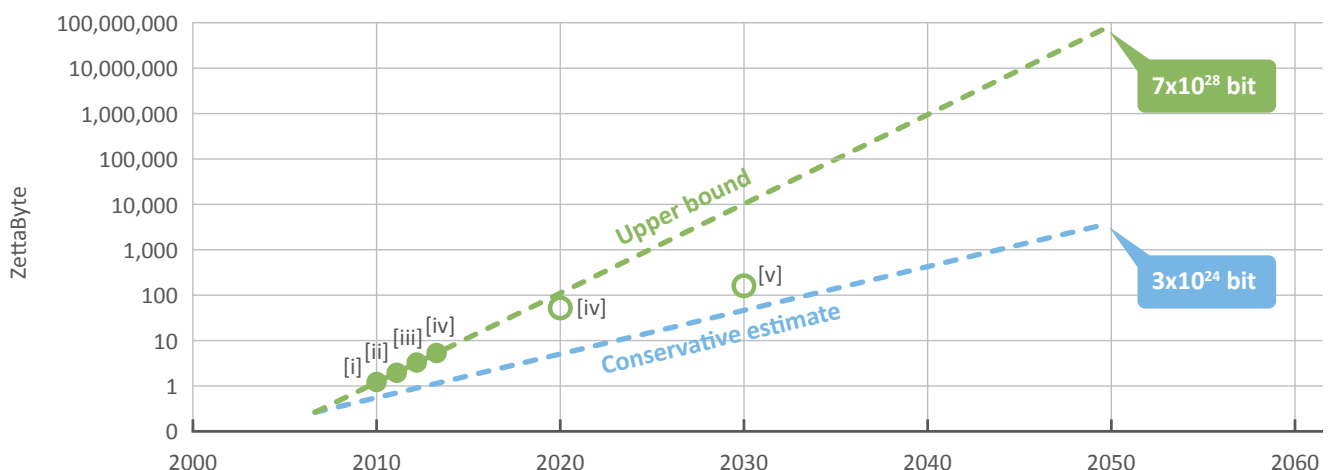
weise mithilfe von Plattformen wie Hadoop und Spark, die zum unverzichtbaren Bestandteil automatisierter Analyseverfahren geworden sind. Doch am Umgang mit Daten sind nicht nur Computer beteiligt: Im Jahre 2019 hat die Menschheit aggregiert ca. 1,2 Milliarden Jahre im Internet verbracht. Google, YouTube und Facebook sind dabei die meistbesuchten Seiten.³

Viele Daten, wenig Inhalt („Big Data, little content“)⁴ – Es ist wichtig, zwischen Daten und Informationen zu unterscheiden: Daten sind häufig keine nutzbaren Informationen⁵, sondern Kopien, Varianten oder Datenmüll. Man könnte (böswillig) argumentieren, dass große Teile von Youtube und Facebook in letztere Kategorie fallen.

Aus Rohdaten werden durch Verarbeitung derivative Daten, die ebenfalls abgelegt werden. Beispiele sind das Digitalfoto, welches mit einem Farbfilter überlagert und erneut gespeichert wird – oder das YouTube-Video, in dem der Berufs-Influencer gleich in 8 verschiedenen Bildschirmauflösungen Einblick in sein Weltbild gibt.

Neben Maschinen und Privatpersonen sind auch Firmen oder ganze Staaten an der Entstehung der Datenflut beteiligt: Spätestens seit Edward Snowdens Enthüllungen um XKEYSCORE⁶ wissen wir, dass alle Daten die irgendwann, irgendwo, irgendwie generiert werden, ihren Weg in die ewige Aufbewahrung finden und dass die Löscharkeit digitaler Inhalte eine Illusion aus analogen Zeiten ist.

Abb. 1: Ertrinken wir in der Datenflut?



Quelle: Semiconductor Industry Association (2015, IT Revolution)

Hohe Umweltkosten der Digitalisierung

Eine der zentralen Leitideen der Digitalökonomie ist die Nutzung, Vervielfältigung und Bearbeitung von Daten zu **Grenzkosten von Null**. Diese Idee impliziert, dass sich die digitale Gesellschaft völlig von ihrer materiellen Repräsentation löst und die digitale Entkörperung automatisch Ressourcenschonung und Umweltschutz bedeutet. Diese simple Interpretation ist leider Unsinn: Alle Vorgänge rund um den Umgang mit Daten haben physikalische Implikationen; und digitale Datenverschmutzung hat deutliche Auswirkungen auf die Umwelt.

Nicht erst durch die Auswirkungen von COVID-19, sondern auch durch den globalen Diskurs um Nachhaltigkeit stieg das Interesse am CO₂-Fußabdruck des Internets. Datenzentren standen hierbei im Mittelpunkt. Dies griff allerdings schon damals zu kurz. CO₂ ist nicht alles. Datenzentren sind nicht alles.

Nicht erst durch die Auswirkungen von COVID-19, sondern auch durch den globalen Diskurs um Nachhaltigkeit stieg das Interesse am CO₂-Fußabdruck des Internets. Datenzentren standen hierbei im Mittelpunkt. Dies griff allerdings schon damals zu kurz. CO₂ ist nicht alles. Datenzentren sind nicht alles.

Der Fokus muss deutlich erweitert werden, sowohl in Bezug auf die Akteure des Ressourcenverbrauchs in der Digitalökonomie, als auch die Art der Ressourcen selbst, die dort verbraucht werden. Betrachtet man die digitale Wertschöpfungskette, so werden Ressourcen vor allem in drei Bereichen verbraucht, die in Anlehnung an das GHG Protokoll des World Resources Institute⁷ wie folgt definiert werden:

Infrastruktur („Infrastructure“):

Zur Infrastruktur zählt vor allem Hardware. Hier wird der direkte Ressourcenaspekt klar ersichtlich. Computerchips, Speichermedien, Handys, Rechner, Datenzentren, Glasfaserkabel, Funkmasten und all die sogenannten «smarten» Dinge im Internet of Things – all diese Komponenten werden unter enorm aufwendigen, ressourcen- und stromintensiven Verfahren hergestellt. Während man bei Autos schätzt, dass ca. 20% des Energieverbrauchs während des Herstellungsprozesses anfallen, sind es bei Mikroelektronik rund 50%.⁸ Andere Ressourcen, wie Wasser oder seltene Erden sind hier noch nicht berücksichtigt – und das weltweite Rennen um Daten- und Rechenkapazität beschleunigt sich jeden Tag.

Bereitstellung („Provisioning“):

Bei der Bereitstellung geht es um Prozesse, die auf der Infrastruktur aufsetzen und die grundsätzlich immer laufen. Sie sind damit unabhängig von der variablen und effektiven Nutzung von Daten. Dadurch, dass Datenverbindungen und Datenspeicher im zeitkritischen Internet immer sofort (near „Real-time“) zur Verfügung stehen müssen, müssen sie auch ständig mitlaufen. Datenzentren stehen grundsätzlich weit über 99% der Zeit zur Verfügung, die sogenannte „Uptime“.⁹ Ähnlich wie bei der Energieerzeugung durch Nuklear-Reaktoren, die man auch nicht beliebig herauf- und herunterfahren kann, laufen Datenzentren **immer**.

Verwertung („Utilization“):

Die Verwertung ist der variable Teil der Nutzung der digitalen Infrastruktur und der Daten. Hier wird durch Nutzung beeinflusst, wie viele Ressourcen, meist in Form von Energie und damit CO₂ verbraucht werden.

Zu wenige „Fußabdrücke“

Die öffentliche Diskussion fokussiert sich bislang stark auf den Teil „Verwertung“. Der Grund ist, dass hier vermeintlich Einfluss genommen werden kann. Der häufig zitierte Verweis auf den CO₂-Ausstoß je Suchanfrage auf Google ist dafür ein eindrückliches, aber unsinniges Beispiel. Bezeichnenderweise steht diese Idee trotzdem im Mittelpunkt der Nachhaltigkeitsdiskussion für die Digitalökonomie.

Dieser Denkansatz ist offensichtlich zu einfach und gleichzeitig auch zu linear. Denn: **Infrastruktur** und **Bereitstellung** sind der Bodensatz des Verbrauchs von Energie und Ressourcen. Sie betreffen die grundsätzliche Ermöglichung von Kapazitäten und haben zunächst keine Verbindung zu variablen Größen wie der Anzahl der platzierten Suchanfragen auf Google.

Es muss also weiter gedacht werden: In der Diskussion um Nachhaltigkeit der Digitalökonomie ist der CO₂-Fußabdruck ebenso zu berücksichtigen, wie der materielle Ressourcenverbrauch und der Wasser-Fußabdruck.¹⁰

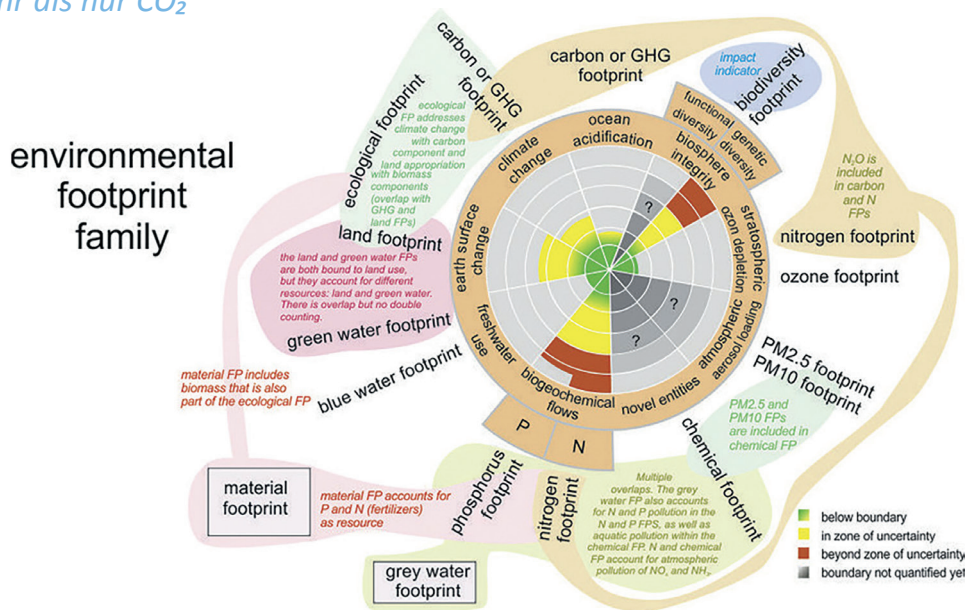
Ein möglicher Ansatz dafür wird in der untenstehenden Grafik deutlich (vgl. Abb. 2):

„Infrastruktur“ und „Bereitstellung“ in der Digitalökonomie haben - neben der „Verwertung“ - auch enorme Fußabdrücke, die nicht vernachlässigt werden dürfen: Beispielsweise benötigt eine Halbleiterfabrik im Schnitt 10-15 Millionen Liter Wasser pro Tag.¹¹ Bei geschätzt 150 bis 200 solcher Fabriken weltweit entspricht das rund **einer Billion Liter Wasser** pro Jahr.

Wasser-Fußabdruck: Unter dem Wasser-Fußabdruck versteht man die Wassermenge, die für bestimmte Prozesse beansprucht wird. Er setzt sich zusammen aus dem internen und dem externen Wasser-Fußabdruck. Der interne Wasser-Fußabdruck beschreibt die Nutzung der heimischen Wasservorkommen für die Produktion von landwirtschaftlichen und industriellen Gütern für den eigenen Konsum sowie die häusliche Verwendung von Wasser. Beispielsweise benötigt man für die Produktion einer Tasse Kaffee 140 Liter, während die Erzeugung von einem Kilogramm Rindfleisch 15.000 Liter verbraucht.

Daneben enthält jede Elektronik große Mengen an Gold, Silber, Palladium, Kupfer und Seltenen Erden – und schließlich sind rund 5% des Festabfalls weltweit Elektronik-Schrott.¹²

Abb. 2: Mehr als nur CO₂



Quelle: Vanham (2019, Fußabdruck)

Out of memory error

Genauso, wie Festplatten mit und ohne mechanische Teile (sogenannte SSDs) aus physischen Komponenten bestehen, ist dies natürlich bei Datenzentren, der „Cloud“ der Fall. Hier wird Speicherplatz und auch Rechenleistung virtualisiert, steht also an beliebigen Teilen des Netzwerkes zur Verfügung. Dennoch muss der virtuelle Part auch immer einen oder mehrere physische Gegenspieler haben. Dieser Aspekt wurde bereits in der Analyse „Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze“ beschrieben (November 2019).¹³

Im Zweifel sind dies Cluster aus Servern in einem oder mehreren Datenzentren. Statista schätzt, dass es aktuell weltweit 7,2 Millionen Datenzentren gibt.¹⁴ Dies geht von einfachen Unternehmens- bis zu riesigen Hyperscale-Datenzentren, wie beispielsweise von Google.¹⁵

Es ist bekannt, dass die Dichte an Transistoren und auch die Aufzeichnungsdichte von Speicher (genannt „Areal Density“) **exponentielle Fortschritte** macht. Der „Univac 1“ aus dem Jahr 1951 mit dem unten abgebildeten Speicher von 12 Kilobytes wog 13 Tonnen und verbrauchte 125 Watt. Das Apple iPad ist 20.000 mal leichter, 100 mal schneller und verbraucht 600 mal weniger Energie.¹⁶ Das heißt, immer mehr Daten können immer effizienter abgespeichert werden.

Speicherplatz und dessen Verwaltung wird also immer leistungsfähiger. Heute arbeiten Forscher bereits an kom-

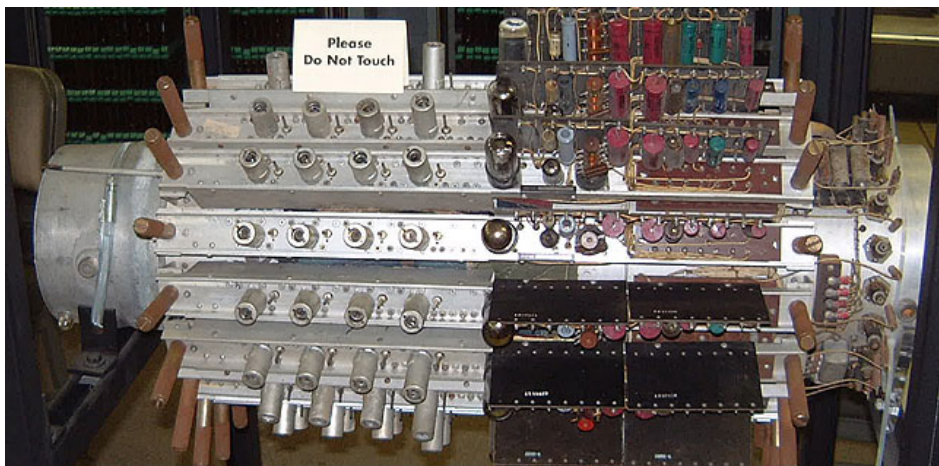
plexen Komprimierungs-Algorithmen, DNA-Speichern¹⁷ und 5D-Glasspeichern, bei denen 500 Terabyte auf münzgroße Glaträger gelasert werden.

Demgegenüber steht die weltweit explosive, **exponentiell wachsende Datenvermehrung** – und das mögliche Ende des auf der Erde verfügbaren physischen Speicherplatzes. Selbst wenn es gelingen würde, Daten atomar effizient abzuspeichern – in weniger als 200 Jahren wären sämtliche auf der Erde verfügbaren Atome mit Daten „vollgeschrieben“.¹⁸

Das wäre nach heutigem Wissensstand das Ende der Digitalisierung. Die Menschheit wird künftig also genau überlegen müssen, wie groß die Big-Data Welt noch werden kann. Damit besteht künftig ein gewisser Zwang, auch bei digitalen Ressourcen und deren Nutzung sparen.

Die Menschheit wird künftig also genau überlegen müssen, wie groß die Big-Data Welt noch werden kann. Damit besteht künftig ein gewisser Zwang, auch bei digitalen Ressourcen und deren Nutzung sparen.

Abb. 3: Quecksilber-Speicher des Univac 1



Quelle: Ed Thelen in Computer History Museum, 1401 N. Shoreline Blvd., Mountain View CA 94043, USA

Zu viel – Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß in der Digitalökonomie

Nicht nur die physische Ebene kommt an Ihre Grenzen: Das sogenannte Landauer Limit, benannt nach Rolf Landauer, beschreibt eine theoretische Untergrenze der Energie zur Umstellung eines Bits (von 1 auf 0 oder umgekehrt). Dieses ist klein und liegt bei 20 Grad Raumtemperatur bei $3 \cdot 10^{-21}$ Joule.¹⁹ Das klingt wenig. Dennoch: Ungefähr im Jahr 2040 würde die komplette heutige Welt-Energieproduktion für die Datenverarbeitung benötigt werden – die aktuellen Wachstumsraten vorausgesetzt. Heutige Computer liegen vom Stromverbrauch millionenfach über dieser theoretischen Grenze, weshalb 2040 zwar natürlich eine Überschlagsrechnung ist, aber eine konservative (vgl. Abb. 4).

Die Datenzentren der Welt verbrauchen heute geschätzt 2% der weltweit erzeugten Energie, bis 2030 sollen es 8% sein²⁰ – und bis 2040 (theoretisch) 100%. Selbst wenn man sich nur auf den CO₂-Fußabdruck als plakativste Messgröße digitaler Umweltverschmutzung beschränkt, entspricht der CO₂-Fußabdruck schon heute dem der gesamten Airline-Industrie.²¹

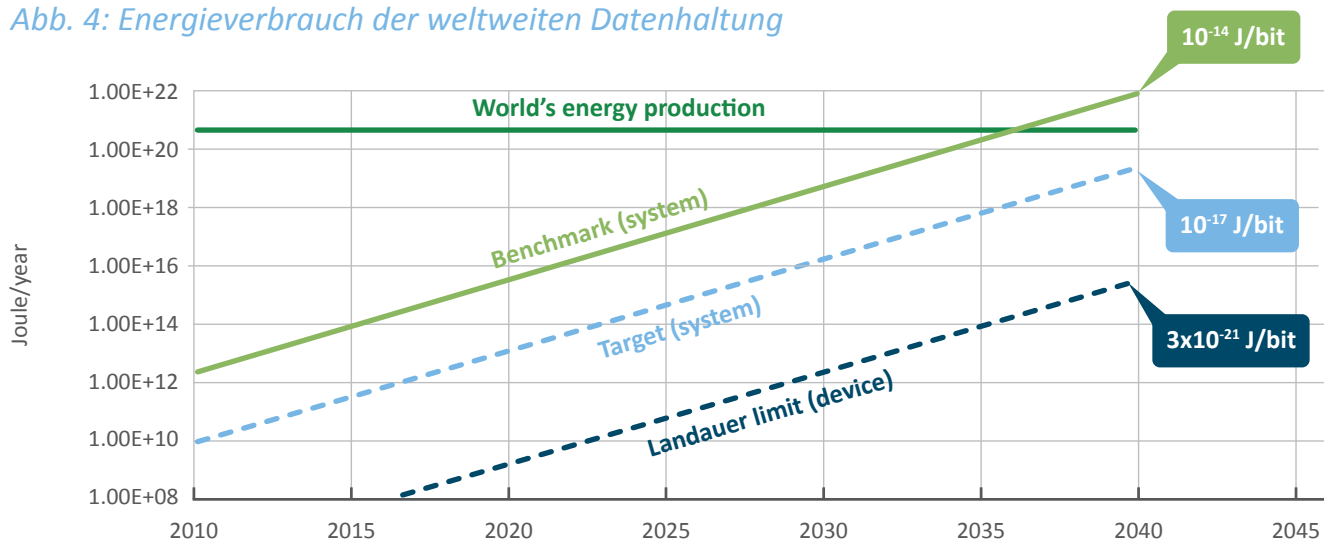
Neue Arbeitsmodelle könnten diese Entwicklung noch beschleunigen. Die großflächige Umstellung der Arbeitswelt auf Home-Office im Zuge der Corona-Krise liefert interessante Einsichten: So ist zwar einerseits während des „Corona Lock-

down“ der Energieverbrauch in Italien um ca. 8% gesunken.²² Aber: Ein Großteil der Einsparung beruht darauf, dass gleichzeitig auch ein Großteil der Industrie stillstand – die Industrie verbraucht in Italien ca. 40% der Energie. Da Home-Office-Arbeiten grundsätzlich energieintensiv ist, bleibt der Gesamteffekt zumindest unklar.

► **Damit wird deutlich, dass der Ressourcen-Verbrauch der Digitalökonomie einen erheblich größeren Vernetzungsgrad – und damit auch weit größeren Untersuchungsbereich – umfasst, als in der Nachhaltigkeits-Diskussion bis anhin zugestanden.**

Der Energiehunger der Digitalökonomie hat auch positive Nebeneffekte: Das Handelsblatt berichtete vor kurzem von „High-Tech Konzernen, die ihr grünes Gewissen entdecken“.²³ Sogenannte „Power Purchase Agreements“, bei denen Datengiganten wie Google oder Amazon grünen Stromerzeugern ihre gesamte CO₂-arme Energieproduktion abkaufen, machen deren Projekte teilweise erst möglich. Dies fördert Forschung und Industrie im Bereich nachhaltiger Energie und macht dort weitere Fortschritte im großen Stil möglich.

Abb. 4: Energieverbrauch der weltweiten Datenhaltung



Quelle: Semiconductor Industry Association (2015, IT Revolution)

Die öffentliche Wahrnehmung

Bei zuletzt populären veröffentlichten Berechnungen des CO₂-Verbrauch pro Suchanfrage im Internet und ähnlichem sollte Vorsicht walten: Häufig werden variable und fixe Umweltkosten miteinander vermischt. Dies ist nicht statthaft. Außerdem bleiben die erwähnten Teilbereiche „Infrastruktur“ und „Bereitstellung“ dabei völlig außer Acht, ebenso wie die Non-CO₂-Fußabdrücke.

Der Energiehunger der Digitalökonomie sowie deren ökologischer Fußabdruck werden uns noch stark beschäftigen – auch lange nach der Corona-Krise.

Man sollte sich folgendes vor Augen halten: Eine Tasse Kaffee (zu Hause, ohne To-Go Becher) kommt auf einen CO₂-Ausstoß von 60-100 Gramm²⁴, der Urlaubsflug auf die Malediven verbraucht 5 Tonnen CO₂.²⁵ Bei einer (vermutlich immer noch falsch) geschätzten Menge von 0.2 Gramm pro Google Suchanfrage kann dafür 25 Millionen mal gegoogelt werden.

Wer eine Vorstellung davon entwickeln möchte, wie viel CO₂ das Surfen im Internet verbraucht, kann sich das Add-on „Carbonanalyser“ der Non-profit-Organisation *The Shift*

Project für den bekannten Web-Browser Firefox herunterladen.²⁶ Dieses Tool zeigt auf anschauliche Weise, nach den dort zugrunde gelegten Annahmen, wie viel CO₂ während des Surfens im Web emittiert wird.

Dabei fällt auf, dass ein großer Teil des in CO₂ umgerechneten Energieverbrauchs des Surfens auf das Konto von Werbung geht, die überall im Internet gestreamt wird. Wer also wirklich etwas gegen seinen CO₂-Fußabdruck im Internet tun möchte, kann sich einen Werbe-Blocker installieren und damit bis zu 60% Daten (und Nerven) sparen.²⁷

Mit Bezug auf die eingangs gestellte Frage ist Eines klar: Der Energiehunger der Digitalökonomie sowie deren ökologischer Fußabdruck werden uns noch stark beschäftigen – auch lange nach der Corona-Krise. Die Menschheit muss sich für die Ressourcenaspekt der Digitalökonomie sensibilisieren – sonst drohen noch mehr Knappheit natürlicher Ressourcen und eine weiterhin nicht nachhaltige Wirtschaft.

Speicherkapazitäten werden oft in Byte angegeben. Bei größeren Datenmengen wird das Byte um Dezimal-Präfixe wie Kilo (Tausend), Mega (Million), Giga (Milliarde) etc. ergänzt.

1 Byte = 8 Bit = 2³ Bit

1 Kilobyte = 1.024 Byte = 2¹⁰ Byte = 2¹³ Bit

1 Megabyte = 1.024 x 1.024 Byte = 2²⁰ Byte
= ~10⁶ Byte = 1.000.000 Byte

1 Gigabyte = 1.024 Megabyte = ~10⁹ Byte

... **Terabyte, Petabyte, Exabyte...**

1 Zettabyte = 1.024 Exabyte = ~10²¹ Byte

Ökologischer Fußabdruck: Der sogenannte ökologische Fußabdruck wurde bereits 1994 von den Wissenschaftlern Mathis Wackernagel und William Rees entwickelt. Insbesondere geht es darum, wie groß der Flächenbedarf ist, um den Lebensstandard der Menschen zu ermöglichen. Darunter fallen auch Flächen, die zur Produktion von Kleidung, Nahrung oder Energie dienen. Berechnungsgrundlage ist die Beurteilung der Flächen, in erster Linie nach deren Fruchtbarkeit.

Häufig wird zwischen den beiden Begriffen **CO₂- und ökologischer Fußabdruck** nicht unterschieden. Das begründet sich vor allem darin, dass Kohlendioxid eine entscheidende Rolle im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt spielt. Zudem ist eine Fläche meist besser vorstellbar als die Angabe in Kilogramm oder gar Tonnen des Ausstoßes. Bei beiden Aspekten geht es letztlich darum, wie die Klimabilanz aussieht oder wie klimafreundlich der eigene Lebensstil und damit einer ganzen Gesellschaft ist.

Erläuterungen:

- ¹ Villas-Boas (2020, Corona).
- ² Gantz et al. (2018, Digitalisierung).
- ³ Kemp (2019, Trends).
- ⁴ Mit einem Augenzwinkern definieren Carl T. Bergstrom und Jevin West – nicht ganz zu Unrecht – Big Data als: “[...] the belief that a big enough pile of horseshit will, with probability one, somewhere contain a pony.”
- ⁵ Zehnder (2001, Information).
- ⁶ Wikipedia (2020, XKeyscore).
- ⁷ World Resources Institute (2004, Ressourcen).
- ⁸ Derbyshire (2016, Energie).
- ⁹ Harvey (2017, Daten).
- ¹⁰ Für eine interessante Abhandlung zu verschiedenen Fußabdrücken und deren Integration in das SDG System siehe: Vanham, D. et al. (2019, Fußabdruck).
- ¹¹ Baskaran (2017, Wasser).
- ¹² Baskaran (2017, Wasser); Derbyshire (2016, Energie).
- ¹³ v. Bartenwerffer, T. (2019, IoT).
- ¹⁴ Statista (2017, Datenzentren).
- ¹⁵ Für eine Übersicht zu Datenzentren Typen siehe auch <https://www.afllhyperscale.com/understanding-different-types-of-data-center>.
- ¹⁶ Biega (2013, Univac).
- ¹⁷ Extance (2016, DNA).
- ¹⁸ Cambria et al. (2017, Speicher). Der sogenannte Bekenstein-Bound beschreibt die obere Grenze des Informationsgehaltes eines Systems mit endlicher Energie und endlichem Volumen – sprich: eines Atoms.
- ¹⁹ Wikipedia (2020, Landauer-Prinzip).
- ²⁰ Fortune (2019, Internet).
- ²¹ IEA (2019, Transport).
- ²² Malik et al. (2020, Lockdowns).
- ²³ Handelsblatt (2020, Klima).
- ²⁴ Frankfurter Rundschau (2009, CO₂).
- ²⁵ Berechnung gemäß myclimate.ch.
- ²⁶ The Shift Project (2019, Carbonanalyser).
- ²⁷ Dedegikas et al. (2015, Adblock).

Literaturverzeichnis:

Bücher und Publikationen

Cambria, E.; Chattopadhyay, A.; Linn, E.; Mandal, B.; White, B. (2017, Speicher): Storages Are Not Forever, Cognitive Computation Ausgabe 5, 646-658, veröffentlicht bei Springer, erschienen am 27.05.2017.

Dedegikas, C.; Dickert, C.; Parma, A.; Toms, M. (2015, Adblock): Adblock Plus Efficacy Study, veröffentlicht bei Simon Fraser University, erschienen am 09.07.2015, <https://www.sfu.ca/content/dam/sfu/snfchs/pdfs/Adblock.Plus.Study.pdf>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Gantz, J.; Reinsel, D.; Ryndning, J. (2018, Digitalisierung): The Digitization of the World – From Edge of Core, IDC Paper, erschienen im November 2018, <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

v. Bartenwerffer, T. (2019, IoT): Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze - Die Treiber der Disruption in künstliche Intelligenz und Digitalisierung, veröffentlicht bei FERI Cognitive Finance Institute, erschienen am 04.11.2019, https://www.feri-institut.de/media/1932/fcfi_5g-201911.pdf, zuletzt abgerufen am 13.02.2020.

World Resources Institute (2004, Ressourcen): The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Report Standard, veröffentlicht bei Greenhouse Gas Protocol, <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>, zuletzt abgerufen am 13.02.2020.

Zehnder, C. A. (2001, Information): Informationssysteme und Datenbanken, veröffentlicht bei vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, erschienen am 19.10.2001.

Zeitungartikel und Internetquellen

Baskaran, A. (2017, Wasser): Waste Not, Want Not – Water Use in the Semiconductor Industry, veröffentlicht bei Sustainalytics, erschienen am 22.03.2017, <https://www.sustainalytics.com/esg-blog/world-water-day-water-use-semiconductor-industry/>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Biega (2013, Univac): 60th Birthday of Digital Computers – Univac weighed 13 tons!, veröffentlicht bei Biega Information Treasure Chest, <https://www.biega.com/comp-history.shtml>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Derbyshire, K. (2016, Energie): Making Manufacturing Sustainable For Chips, veröffentlicht bei Semiconductorengineering, erschienen am 28.09.2016, <https://semiengineering.com/making-chip-manufacturing-sustainable/>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Extance, A. (2016, DNA): How DNA could store all the world's data, veröffentlicht bei nature, erschienen am 31.08.2016, <https://www.nature.com/news/how-dna-could-store-all-the-world-s-data-1.20496>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Fortune (2019, Internet): The Internet Cloud Has a Dirty Secret, erschienen im Fortune Magazin Online, erschienen am 18.09.2020, <https://fortune.com/2019/09/18/internet-cloud-server-data-center-energy-consumption-renewable-coal/>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Frankfurter Rundschau (2009, CO₂): Beim Kaffee fängt der CO₂-Ausstoß an, erschienen am 26.01.2009, <https://www.fr.de/wissen/beim-kaffee-faengt-co2-ausstoss-11478061.html>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Handelsblatt (2019, Klima): Die Tech-Konzerne entdecken ihr grünes Gewissen, veröffentlicht am 13.01.2020, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/oeokostrom-die-tech-konzerne-entdecken-ihre-gruenes-gewissen/25403686.html?ticket=ST-2412635-fyGPlwVfOihWdibN09r2-ap6>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Harvey, C. (2017, Daten): Data Center, veröffentlicht bei Datamation, erschienen am 10.07.2017, <https://www.datamation.com/data-center/what-is-data-center.html>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

IEA (2019, Transport): Tracking Transport, veröffentlicht bei IEA, erschienen im Mai 2019, <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019/aviation>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Kemp, S. (2019, Trends): Digital Trends 2019: Every single stat you need to know about the internet, veröffentlicht bei The next Web, erschienen im Januar 2019, <https://thenextweb.com/contributors/2019/01/30/digital-trends-2019-every-single-stat-you-need-to-know-about-the-internet/>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Malik, N.; Morison, R.; Wade, W. (2020, Lockdowns): Global Lockdowns Slam Energy Demand, veröffentlicht bei Bloomberg, erschienen am 12.03.2020, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-12/every-day-s-a-weekend-as-global-lockdowns-slam-power-demand>, zuletzt abgerufen am 12.03.2020.

Semiconductor Industry Association (2015, IT Revolution): Rebooting the IT Revolution, erschienen im September 2015, <https://www.src.org/newsroom/rebooting-the-it-revolution.pdf>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Statista (2017, Datenzentren): Number of data centers worldwide in 2015, 2017, and 2021, veröffentlicht bei Statista, erschienen im April 2017, <https://www.statista.com/statistics/500458/worldwide-datacenter-and-it-sites/>, zuletzt abgerufen am 13.02.2020.

The Shift Project (2019, Carbonanalyser): Carbonanalyser von The Shift Project, Firefox Browser Add-Ons, <https://addons.mozilla.org/de/firefox/addon/carbonanalyser/>, zuletzt abgerufen am 13.02.2020.

The Straits Times (2017, Datenflut): World faces data storage crunch ahead, veröffentlicht bei The Straits Times, erschienen am 10.04.2017, <https://www.straitstimes.com/singapore/world-faces-data-storage-crunch-ahead>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Vanham, D., Leip, A., Galli, A., Kastner, T., Bruckner, M., Uwizeye, A., et al. (2019, Fußabdruck): Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs, veröffentlicht bei ScienceDirect, erschienen am 29.07.2019, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719335673>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Villas-Boas, A. (2020, Corona): Coronavirus is helping to drive twice as much traffic as last year to Akamai's networks, but Akamai's CEO says its services are 'running normally', erschienen am 16.03.2020, <https://www.businessinsider.com/coronavirus-akamai-high-internet-traffic-2020-3>, zuletzt abgerufen am 23.03.2020.

Wikipedia (2020, Landauer Prinzip): Landauer Prinzip, veröffentlicht bei Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Landauer-Prinzip>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

Wikipedia (2020, XKeyscore): XKeyscore, veröffentlicht bei Wikipedia, <https://en.wikipedia.org/wiki/XKeyscore>, zuletzt abgerufen am 06.02.2020.

„Wir müssen Umweltschutz und Digitalisierung gemeinsam denken, nicht isoliert. Die Digitalisierung braucht einen ökologischen Rahmen: Dass allein das Erzeugen der digitalen Nischenwährung Bitcoins in diesem Jahr mehr Energie als ganz Dänemark verbrauchte, ist inakzeptabel. Gleichzeitig ist das ökologische Potential der Digitalisierung für Energie- und Ressourceneinsparungen, neue Mobilitätskonzepte und moderne Produktions- und Arbeitsprozesse gigantisch.“

Alexander Bonde, Generalsekretär Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Impressum

Herausgeber: FERI Cognitive Finance Institute

Autor: Dr. Torsten von Bartenwerffer, Member of the Steering Board FERI Cognitive Finance Institute



FERI Cognitive Finance Institute
Eine Forschungsinitiative der FERI AG
Haus am Park
Rathausplatz 8 – 10
61348 Bad Homburg v.d.H.
Tel. +49 (0)6172 916-3631
info@feri-institut.de
www.feri-institut.de



Rechtliche Hinweise: Alle Angaben und Quellen werden sorgfältig recherchiert. Für Vollständigkeit und Richtigkeit der dargestellten Information wird keine Gewähr übernommen. Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Jede weitere Verwendung, insbesondere der gesamte oder auszugsweise Nachdruck oder die nicht nur private Weitergabe an Dritte, ist nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung von FERI gestattet. Die nicht autorisierte Einstellung auf öffentlichen Internetseiten, Portalen oder anderen sozialen Medien ist ebenfalls untersagt und kann rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die angeführten Meinungen sind aktuelle Meinungen, mit Stand des in diesen Unterlagen aufgeführten Datums. FERI AG, Stand 2020