

Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur

TAB-Fokus Nr. 35 zum Arbeitsbericht Nr. 198

Juli 2022

In Kürze

- › Dem Energieverbrauch der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), also von digitalen Endgeräten, Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen, kommt aufgrund der allgegenwärtigen Digitalisierung eine wachsende Bedeutung zu.
- › Zwischen 2015 und 2020 stieg der jährliche Energiebedarf der Rechenzentren und Übertragungsnetze in Deutschland um rund 5,4 TWh. Dies entspricht einer Steigerung von 30 %.
- › Vorhandene Effizienz- und Einsparpotenziale müssen konsequent erschlossen werden, damit der gegenwärtige Verbrauchszuwachs gebremst werden kann.
- › Exemplarisch wurden Blockchainanwendungen, private Internetnutzung sowie smartes Energiemanagement bei Gebäuden im TAB-Bericht vertieft untersucht.

Worum es geht

Die Digitalisierung durchdringt alle Lebensbereiche und führt zu erheblichen Umwälzungen. Die resultierenden enormen Chancen und Risiken werden in Wissenschaft und breiter Öffentlichkeit bislang vor allem in wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Hinsicht thematisiert. Die Digitalisierung geht aber auch mit erheblichen ökologischen Wirkungen einher, die als ambivalent einzuschätzen sind: Auf der einen Seite bietet sich die Chance, ökonomische und gesellschaftliche Prozesse neu zu organisieren und insbesondere auch ressourcen- und energieeffizienter zu gestalten. Auf der anderen Seite verbrauchen Aufbau und Betrieb der digitalen Infrastrukturen (Endgeräte, Rechenzentren und Telekommunikationsnetze) große Mengen an Energie und Rohstoffen. Eine kritische Betrachtung der Energieverbräuche der digitalen Infrastrukturen ist von erheblicher Relevanz, weil angesichts der mit der Digitalisierung assoziierten großen Nutzenpotenziale die Gefahr besteht, dass damit einhergehende negative Umweltauswirkungen bei Anwender/innen, Forscher/innen und nicht zuletzt auch bei politischen Akteuren zunehmend aus dem Blickfeld geraten.

Prognosen zum weltweiten Energiebedarf der IKT-Infrastrukturen sind uneinheitlich

In der Öffentlichkeit haben Studien für Aufsehen gesorgt, in denen ein drastischer Anstieg des Energiebedarfs der IKT-Infrastrukturen vorhergesagt wird. Von einigen Autoren wurde eine Verzehnfachung oder mehr bis zum Jahr 2030 (bezogen auf das Jahr 2010) prognostiziert. Allerdings liegen diesen Ergebnissen meist sehr vereinfachende Annahmen zugrunde. Im Kontrast dazu gelangte man bei anderen Studien zum Ergebnis, dass sich der weltweite IKT-bedingte Energiebedarf in Zukunft nicht wesentlich erhöhen wird. Dies wird häufig damit begründet, dass auf vielen Ebenen erhebliche Energieeffizienzpotenziale ausgeschöpft werden können.

Der Energiebedarf der IKT-Infrastrukturen in Deutschland steigt aktuell

Für den TAB-Bericht wurde der Strombedarf der IKT-Infrastrukturen (Rechenzentren und Telekommunikationsnetze) in Deutschland auf der Basis von Verkaufszahlen, technischen Daten zum Stromverbrauch sowie zu Nutzungsmustern von IKT-Komponenten ermittelt. Die Ergebnisse für das Bezugsjahr 2020 stellen sich wie folgt dar:

- › Der Stromverbrauch der Rechenzentren belief sich auf rund 16 TWh/a. Gegenüber dem Stand von 2015 entspricht dies einer Steigerung von etwa 34 %. Der Anstieg wird maßgeblich vom derzeitigen Trend zu immer größeren Rechenzentren getrieben, obwohl diese in der Regel vergleichsweise energieeffizient betrieben werden.

Auftraggeber

Ausschuss für Bildung, Forschung und
Technikfolgenabschätzung
+49 30 227-32861
bildungundforschung@bundestag.de

Themeninitiative

Ausschuss für Wirtschaft und Energie

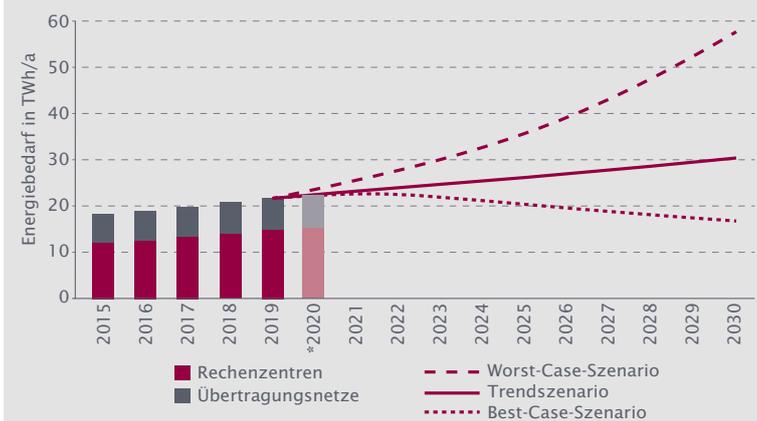
- › Der Strombedarf der Telekommunikationsnetze (Fest-, Mobilfunk- und Breitbandkabelnetz) betrug etwa 7,3 TWh/a. Der Anstieg gegenüber 2015 beläuft sich auf rund 22 %.
- › Bei der Nutzung von IKT-Dienstleistungen in Deutschland werden nicht nur Ressourcen im Inland beansprucht, sondern wegen der ausgeprägten internationalen Vernetzung des Digitalsektors auch erhebliche Energiebedarfe von IKT-Infrastrukturen im Ausland induziert. Eine Abschätzung ergab, dass dieser Anteil mindestens 10 % des Energiebedarfs der Rechenzentren in Deutschland entspricht.

Gleichwohl ist es in der Vergangenheit gelungen, den Anstieg beim Energieverbrauch im Verhältnis zum rasanten Wachstum in der IKT-Branche in Grenzen zu halten. Verantwortlich hierfür sind die enormen Fortschritte in der Mikroelektronik, die etwa alle 2 Jahre zu einer Verdopplung der Leistungsfähigkeit von Computerkomponenten geführt haben, ohne dass deren Strombedarf in gleichem Ausmaß gestiegen ist. Außerdem konnte die Energieeffizienz von Rechenzentren durch gebäudetechnische (Anlagen zur Kühlung, Stromversorgung etc.) und organisatorische Maßnahmen gesteigert werden.

Energieverbrauch bis 2030: Stabilisierung oder Verdreifachung?

Der künftige Energiebedarf der IKT-Infrastrukturen in Deutschland hängt maßgeblich von der weiteren Entwicklung der Energieeffizienz ab. Mögliche Entwicklungspfade wurden anhand von drei Szenarien modelliert (Abb.):

Abb. Szenarien zum Energiebedarf der IKT-Infrastrukturen in Deutschland bis 2030



* Aktualisierung auf Grundlage des Wissensstands im Mai 2022

Eigene Darstellung auf Basis von Borderstep Institut (2019): Energiebedarf der IKT-Infrastruktur: Stand, Trends und Einsparpotenziale. (Fichter, K.; Hintemann, R.; Clausen, J.; Beucker, S.; Schramm, S.) Berlin; Borderstep Institut (2022): Aktualisierung und Ergänzung der TAB-Studie »Energieverbrauch der IT-Infrastruktur«. (Hintemann, R.; Beucker, S.; Schramm, S.; Fichter, K.) Berlin

- › Das Trendszenario schreibt die derzeit beobachteten Effizienzfortschritte und Steigerungen des Datenvolumens fort. Unter diesen Bedingungen steigt der Energiebedarf auf 30,6 TWh/a im Jahr 2030.
- › Das Worst-Case-Szenario beschreibt die Entwicklung, dass die Energieeffizienz künftig nicht mehr so stark gesteigert werden kann wie in der Vergangenheit. In diesem Szenario ist bis 2030 ein Anstieg des Energiebedarfs auf 58,5 TWh/a denkbar.
- › Im Gegensatz dazu wäre bei konsequenter Ausschöpfung der Effizienzpotenziale (Best-Case-Szenario) im Vergleich zu heute eine Stabilisierung und langfristig leichte Absenkung des Energiebedarfs möglich.

Vielversprechende Optionen zur Energieeinsparung

Fünf vielversprechende Einsparoptionen wurden im Projekt vertieft analysiert. Hierbei handelt es sich um Technologien bzw. Innovationen, die ein hohes Energieeinsparpotenzial besitzen, aber noch wenig verbreitet sind. Außerdem bestehen für deutsche Akteure wirksame Handlungsmöglichkeiten, um die weitere Entwicklung und Anwendung dieser Optionen zu beeinflussen.

Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren

In deutschen Rechenzentren werden jährlich rund 15 TWh Strom in Abwärme umgewandelt, die bisher weitgehend ungenutzt weggekühlt wird. Würde man diese Wärmemenge zur Gebäudeheizung einsetzen, könnten pro Jahr mehrere Mio. t CO₂ eingespart werden. Die in der Vergangenheit fehlende Wirtschaftlichkeit und die Tatsache, dass Rechenzentren oft nicht in räumlicher Nähe zu Wärmenachfragern errichtet werden, wurden als bedeutsame Hemmnisse für die breitere Nutzung identifiziert. Fördermöglichkeiten bestehen demzufolge vor allem in gezielten

Anreizen, z. B. durch eine kommunale Wärmeplanung, die Standorte von Rechenzentren an das Vorhandensein von Wärmeabnehmern knüpft.

Flüssigkeitsgekühlte Server und Komplettsysteme

Rechenzentren werden heute üblicherweise mit Luft gekühlt. Da Flüssigkeiten (z. B. Wasser) viel bessere Wärmeträger sind, ist Flüssigkühlung nicht nur leistungsfähiger, sondern auch erheblich energieeffizienter. Zudem fällt die Abwärme bei höheren Temperaturen an, was für ihre weitere Nutzung (z. B. in Wärmenetzen) vorteilhaft ist. Allerdings bestehen Vorbehalte bei Betreibern, da sie die Verwendung von Wasser aufgrund der Kurzschlussgefahr als potenzielles Betriebsrisiko einschätzen. Die Initiierung und Förderung von Demonstrationsanlagen als Best-Practice-Beispiele könnten helfen, diese Vorbehalte abzubauen.

Gleichstromversorgung von Rechenzentren

Bevor der Wechselstrom aus dem öffentlichen Netz in den IKT-Komponenten eines Rechenzentrums verbraucht wird,

Die Szenarien basierten auf dem Wissensstand vor 2020. Die COVID-19-Pandemie hat zu einer verstärkten Nachfrage nach Clouddienstleistungen und zu einem deutlichen Anstieg des Datenverkehrs in den Mobil- und Festnetzen geführt. Aus heutiger Sicht wird für das Trendszenario ein deutlich stärkerer Anstieg des Energiebedarfs auf 39,2 TWh/a bis 2030 erwartet. Die Annahmen für das Worst-Case-Szenario scheinen weiterhin plausibel, während das Best-Case-Szenario nicht mehr realistisch wirkt. Eine Stabilisierung des Energiebedarfs auf dem Niveau von 2020 wäre schon ein Erfolg.

Um den Anstieg des Energiebedarfs der IKT-Infrastrukturen zu bremsen, müssen vorhandene Energieeffizienzpotenziale somit konsequent ausgeschöpft werden. Im TAB-Projekt wurden daher über 60 technologische und organisatorische Optionen zur Einsparung von Energie in IKT-Infrastrukturen identifiziert und fünf davon für eine Detailanalyse ausgewählt (Kasten).

Um ein detaillierteres Bild von den Energieverbräuchen und Einsparmöglichkeiten zu erhalten, wurden außerdem drei Anwendungsbereiche aus dem IKT-Sektor eingehender analysiert.

Blockchainanwendungen: enormer Energieverbrauch, wenn nicht gegengesteuert wird

Eine Blockchain ist ein manipulationssicheres, auf vielen Rechnern dezentral gespeichertes Register etwa von Transaktionen. Die bekannteste praktische Anwendung sind Kryptowährungen, die jedoch aufgrund ihres teilweise enormen Strombedarfs in der Kritik stehen. Alleine die Kryptowährung Bitcoin soll 2019 einen Strombedarf wie Ungarn (41 TWh/a) oder Österreich (66 TWh/a) erreicht haben. Dafür verantwortlich ist das zugrundeliegende Sicherungsprinzip, nach

wird er derzeit einige Male in Gleichstrom und wieder zurück gewandelt (am Eingang der Akkus zur unterbrechungsfreien Stromversorgung, am Übergang zum Hausnetz, an den Netzteilen der IKT-Komponenten). Würden die Endgeräte direkt mit Gleichstrom aus den Akkus versorgt, könnten diese Umwandschritte und die damit verbundenen Energieverluste vermieden werden. Allerdings sind Gleichstromkomponenten nur begrenzt verfügbar und Betreiber meiden den mit der Umstellung verbundenen Aufwand. Als Pilotanwender hierzulande kämen beispielsweise staatliche Großrechenzentren aus dem Forschungs- oder universitären Bereich infrage.

Rechenzentren als Anbieter von Regelleistung

Rechenzentren verfügen durch die Anlagen der unterbrechungsfreien Stromversorgungen (Akkus und Notstromaggregate) über gute technische Voraussetzungen, um die für einen stabilen Stromnetzbetrieb notwendige Regelleistung bereitzustellen. Dadurch lassen sich zwar keine Stromersparungen in den IKT-Infrastrukturen realisieren, aller-

welchem für die Durchführung von Transaktionen ein erheblicher Berechnungsaufwand geleistet werden muss.

Zur Absicherung der Transaktionen existieren jedoch alternative Konzepte, mit denen diese Aufgabe sehr viel energieeffizienter erledigt werden kann. Innerhalb des Bitcoin-Netzwerks gibt es aber derzeit keine Pläne für einen Wechsel. Da externe Eingriffe in eine Blockchain nicht möglich sind, verbleiben für die Politik im Wesentlichen die Möglichkeiten zur Regulierung des Handels mit energieintensiven Kryptowährungen, um diese für die Nutzer/innen weniger attraktiv zu machen. Zu bedenken ist allerdings, dass regionale Maßnahmen die gewünschte Wirkung aufgrund des ausgesprochen globalen Charakters von Kryptowährungen gegebenenfalls nicht erzielen können.

Aus den hier gemachten Erfahrungen gilt es, die richtigen Lehren für öffentliche bzw. staatliche Blockchainanwendungen in anderen Feldern (Energie, Verkehr, Gesundheit etc.) zu ziehen. Hier sollte von Beginn an auf den Einsatz von energieeffizienten Verfahren geachtet werden.

Private Internet- und digitale Mediennutzung: Treiber für das Ansteigen des IKT-bedingten Energiebedarfs

Der IKT-bedingte Energiebedarf der privaten Internet- und digitalen Mediennutzung setzt sich aus dem Energieverbrauch der Endgeräte (u. a. Fernsehgeräte, PCs, Router) sowie den dadurch induzierten Energieverbräuchen in Rechenzentren und Übertragungsnetzen zusammen. Zusätzlich trägt die Geräteherstellung zum Energieverbrauch bei. Unter plausiblen Annahmen benötigt etwa die Herstellung von Smartphones oder Laptops rund 10-mal so viel Energie wie die Gerätenutzung.

dings kann die Deckung des Regelleistungsbedarfs ohne Rückgriff auf fossile Großkraftwerke die Transformation des Stromsystems unterstützen. Handlungsmöglichkeiten reichen von der Förderung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben bis hin zur Verpflichtung der Betreiber zur Erbringung von Netzdienstleistungen.

Erneuerbare Energien für IKT-Infrastrukturen

Für Betreiber von IKT-Infrastrukturen stellt die Nutzung erneuerbarer Energien eine attraktive Option dar, um den ökologischen Fußabdruck des IKT-Sektors zu verringern. Allerdings ist eine 24/7 Vollversorgung mit volatil erzeugtem Wind- bzw. Solarstrom diffizil. Derzeit entwickeln Start-ups innovative Konzepte, wie z. B. Rechenzentren, die in die Türme von Windkraftanlagen eingebaut sind, oder softwarebasierte »Schwarmplattformen«, die Rechenlasten dorthin verschieben, wo erneuerbarer Strom zur Verfügung steht. Damit aus solchen Ansätzen technologische Lösungen und Geschäftsmodelle erwachsen können, ist allerdings noch einiges an Entwicklungs- und Erprobungsarbeit zu leisten.

Insgesamt verbrauchte der Betrieb der IKT-Endgeräte in privaten Haushalten so viel Energie wie sämtliche Rechenzentren in Deutschland (15,1 TWh im Jahr 2018). Weitere 10,6 TWh/a wurden 2018 in den Übertragungsnetzen sowie in Rechenzentren im In- und Ausland benötigt. Die COVID-19-Pandemie hat insbesondere in Zeiten mit Kontaktbeschränkungen zu einem deutlichen Anstieg der täglichen Mediennutzungszeit und des Energieverbrauchs geführt, dies könnte jedoch ein temporärer Effekt gewesen sein.

Der Blick auf die Verbrauchsentwicklung insgesamt zeigt ein gemischtes Bild: Während der Energieverbrauch der Endgeräte vor allem aufgrund von Effizienzverbesserungen seit 2010 tendenziell sinkt, steigt er in den Rechenzentren und Übertragungsnetzen kontinuierlich an. Als wichtige Ursachen hierfür gelten die zunehmende Vernetzung der Endgeräte und generell die stärkere private Nutzung von Internetdiensten (insbesondere Audio- und Videostreaming).

Politische Anstrengungen für Energieeinsparungen bei den Endgeräten sollten darauf abzielen, die bisher erreichten Erfolge bei der Energieeffizienz nicht abreißen zu lassen. Möglichkeiten hierzu bestehen z. B. in der Ausweitung der Verbrauchskennzeichnung durch EU-Energielabels oder der Verschärfung der Ökodesignvorschriften. Der Verbrauchszuwachs in den IKT-Infrastrukturen lässt sich durch eine Drosselung des Anstiegs der verarbeiteten Datenmenge bremsen. Eine Schlüsselfunktion nimmt hier die Softwareentwicklung ein, bei der den Kriterien Datensparsamkeit und Energieeffizienz von Anwendungen größere Beachtung geschenkt werden sollte. Da der Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur von den Nutzer/innen kaum wahrgenommen wird, sollten Initiativen entwickelt werden, um die Verbraucher/innen für das Thema zu sensibilisieren und ihnen Orientierung bei Nutzungsentscheidungen zu geben.

Smart Buildings: erhebliche Energieeinsparungen durch den Einsatz von IKT in Gebäuden

Um zu untersuchen, wie die Nutzung von IKT-Anwendungen Energieeinsparungen in anderen Wirtschaftsbereichen ermöglicht, wurde das Fallbeispiel des Einsatzes von intelligenten Energiemanagementsystemen in der Wärmeversorgung von Gebäuden gewählt.

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse seit 1990 in Fragen des wissenschaftlich-technischen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Zur Erfüllung seiner Aufgaben kooperiert es seit September 2013 mit dem IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gGmbH sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung entscheidet über das Arbeitsprogramm des TAB, das sich auch aus Themeninitiativen anderer Fachausschüsse ergibt. Die ständige »Berichterstattergruppe für TA« besteht aus dem Ausschussvorsitzenden Kai Gehring (Bündnis 90/Die Grünen) sowie je einem Mitglied der Fraktionen: Dr. Holger Becker (SPD), Lars Rohwer (CDU/CSU), Laura Kraft (Bündnis 90/Die Grünen), Prof. Dr. Stephan Seiter (FDP), Prof. Dr. Michael Kaufmann (AfD), Ralph Lenkert (Die Linke).

TAB-Arbeitsbericht Nr. 198

Energieverbrauch der IKT-Infrastruktur

Reinhard Grünwald, Claudio Caviezel



Projektinformationen

www.tab-beim-bundestag.de/energieverbrauch-ikt

Projektleitung und Kontakt

Dr. Reinhard Grünwald

+49 30 28491-107

grunwald@tab-beim-bundestag.de

Eine präzise Quantifizierung der Einsparpotenziale ist schwierig, da diese von den technischen Systemen und maßgeblich auch von den individuellen Nutzer/innen und deren Entscheidungen abhängen. Unter der Annahme, dass die Verbreitung von intelligenten Energiemanagementsystemen intensiv vorangetrieben wird, lässt sich das Einsparpotenzial bis 2030 grob auf etwa 10 % der heute im Gebäudesektor verbrauchten Wärmemenge abschätzen.

Intelligente Energiemanagementsysteme können somit einen wichtigen und im Vergleich zu baulichen Maßnahmen relativ kurzfristig umsetzbaren Beitrag zur Energiewende im Gebäudesektor leisten. Durch die aktuell enormen Preisanstiege bei fossilen Energieträgern erhöht sich die Dringlichkeit für Effizienzmaßnahmen im Gebäudebestand zusätzlich.

Fazit

Ein weiteres Ansteigen des Energiebedarfs der IKT-Infrastrukturen kann nur verhindert werden, wenn vorhandene Effizienzpotenziale konsequent ausgeschöpft werden. In erster Linie sind hier die Betreiber gefordert, die innovative Energieeinsparlösungen in die Praxis umsetzen müssen. Staatlichen Akteuren stehen diverse Möglichkeiten offen, die Diffusion innovativer Lösungen zu beschleunigen: Forschungsförderung, als Pilotanwender auftreten, den Hebel der öffentlichen Beschaffung nutzen, die Sensibilisierung von Nutzer/innen für das Thema fördern und nicht zuletzt die Regulierung bzw. der Abbau innovationshemmender Bestimmungen.