dena
Deutsche Energie-Agentur

dena-METASTUDIE

Analyse der mit erhöhtem IT-Einsatz verbundenen Energieverbräuche infolge der zunehmenden Digitalisierung

Status Quo und Prognosen

Impressum

Herausgeber
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel.: +49 (0)30 66 777 -0
E-Mail: digi4E@dena.de
Internet: www.dena.de

Autoren
Philipp Richard, dena
Elie-Lukas Limbacher, dena
Toni Engelhardt, dena

Stand: November 2017
Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Die vorliegende Metastudie wurde im Rahmen des Projekts „Analysen und Dialogprozesse zur Unterstützung der Digitalisierung im Bereich Energie, Energieeffizienz und erneuerbare Energien (kurz: Digi4E)“ erstellt. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

1 Ausgangslage, Problemstellung und Vorgehen 5

1.1 Ausgangslage und Problemstellung 5

1.2 Vorgehen und Methodik 6

2 Studiensteckbriefe 10

2.1 Erläuterung des Steckbriefdesigns 10

2.2 Steckbriefe der analysierten Studien 10

2.2.1 Stromverbrauch von Rechenzentren 12

2.2.2 Indirekte Effekte von IKT auf Energieverbräuche 14

2.2.3 Entwicklung der Energieverbräuche durch *Cloud*-Anwendungen 16

2.2.4 Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland 18

2.2.5 Energieverbrauch der IKT in Smart Grids 20

2.2.6 Einfluss der IKT auf Energieverbrauch und CO_2-Emissionen 22

2.2.7 Kosten-Nutzen-Analyse für die Messung des Energieverbrauchs von IKT 24

2.2.8 Energieverbrauch des Internets 26

2.2.9 Die Rolle von IKT beim Energieverbrauch und Energieeffizienz 28

2.2.10 Einfluss von IKT auf die Energieeffizienz 30

3 Zusammenfassung der Kernaussagen betrachteter Studien 32

3.1 Globale bis nationale Betrachtungen zu IKT 32

3.1.1 Stromverbrauch IKT weltweit 33

3.1.2 Stromverbrauch IKT EU 36

3.1.3 Stromverbrauch IKT Deutschland 38

3.2 Globale bis nationale Betrachtungen zu Datenzentren/*Cloud* 41

3.2.1 Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* weltweit 41

3.2.2 Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* Deutschland 43

3.3 Europäische und nationale Betrachtungen zu Haushalte und Wirtschaft 45

3.3.1 Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Europa 45

3.3.2 Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Deutschland 46

3.4 Stromverbrauch Internet 47

4 Fazit und Handlungsempfehlungen 48

4.1 Fazit 48

4.2 Handlungsempfehlungen 49
4.2.1 Verbesserung der Datengrundlage 49
4.2.2 Rechen-/Datenzentren 51
4.2.3 Telekommunikationsinfrastruktur 52
4.2.4 Weitere IKT-Anwendungen 52

5 Übersicht über aktuelle Aktivitäten und Forschungsprojekte 53

6 Anhang 56

6.1 Identifizierte Studien 56

6.2 Daten der Studien 59

7 Abbildungsverzeichnis 61

8 Literaturverzeichnis 62

9 Abkürzungsverzeichnis 66

1 Ausgangslage, Problemstellung und Vorgehen

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Digitalisierung ist ein Megatrend. Sie durchdringt jeden Lebensbereich mit einer Vielzahl neuer, smarter Produkte und Dienstleistungen. Auch in die Energiewelt hält die Digitalisierung immer stärker Einzug: Intelligente Messsysteme (iMSys), moderne Messeinrichtungen (mM), Smart-Home-Systeme und Energiespar-Applikationen (Apps) sowie virtuell verknüpfte Energieerzeuger können schon heute zu verbesserter Energieeffizienz und mehr Komfort beim Kunden beitragen. Mithilfe von Sensoren werden dazu immense Datenmengen erfasst und lokal oder über zentrale Datenzentren[1] verarbeitet. Daraufhin werden Befehle an Aktoren gesendet oder Auskunft über Systemzustände erarbeitet und visualisiert, um u.a. einen Nutzen im Sinne der Energieeffizienz für die Datenempfänger zu erzeugen.

Der damit einhergehende Zuwachs an Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) kann zugleich einen Mehrverbrauch an Energie bedeuten. Es ist demnach wichtig abzuschätzen, ob und wie sich dieser zusätzliche Energieverbrauch entwickeln wird, um einen Gesamtnutzen auf das Energieeinsparpotenzial durch den Einsatz digitaler Technik und damit einhergehende digitale Verarbeitungsprozesse (z. B. *Big Data*, künstliche Intelligenz) einordnen zu können.

Im Jahr 2007 betrugen die CO_2- Emissionen von Informations- und Kommunikationstechnologien selbst fast 2 Prozent des global durch den Menschen verursachten Treibhausgasausstoßes.[2] IKT bieten jedoch ein erhebliches Potenzial, die restlichen 98 Prozent zum Beispiel durch intelligente Steuerung oder Automatisierung zu reduzieren. Nach einer von der dena in Auftrag gegebenen Umfrage werden inzwischen sogar bei fast jedem zweiten deutschen Unternehmen digitale Technologien zur Energieeffizienzsteigerung verwendet.[3]

Grundsätzlich ist demnach zwischen *Green IT* (grüne Informationstechnologien), welche im Vergleich zu herkömmlichen Informationstechnologien geringere Stromverbräuche in der Anwendung bzw. schon während des Herstellungsprozesses besitzen, und *Green through IT* (Informationstechnologien, die eine positive Auswirkung auf andere Prozesse haben) abzugrenzen. Eine Unterscheidung, die erahnen lässt, wie komplex das Vorhaben ist, den Einsatz von digitaler Technologie und seine Auswirkungen auf die Energieeffizienz ganzheitlich zu bewerten, da unzählige Prozesse unmittelbar und mittelbar betroffen sind.

Die vorliegende Metastudie erfasst zehn Studien[4], die die Entwicklung des Energieverbrauchs von IKT analysiert bzw. abgeschätzt haben, und untersucht selbige auf ihre Kernaussagen sowie Handlungsempfehlungen hin. Das vorliegende Dokument stellt die ausgewerteten Studien dazu zunächst in Kapitel 2 in Form von Steckbriefen vor. In Kapitel 3 werden darauf aufbauend die in den Studien getätigten Kernaussagen zu einer Übersicht zusammengeführt. In Kapitel 4 wird ein Fazit gezogen und die in den Studien formulierten Handlungsempfehlungen sowie darüber hinausgehende Empfehlungen werden zusammenfassend dargelegt. Mit aktuellen Forschungsprojekten wird in Kapitel 5 ein zukünftiger Ausblick gegeben.

---

[1] In dieser Publikation wird der Begriff Datenzentrum und Rechenzentrum als Synonym verwendet und nicht weiter unterschieden.
[2] Vgl. GeSI (2008).
[3] Vgl. dena (2017).
[4] Insgesamt wurden 25 Studien zum Themenfeld identifiziert. Daraus wurden zehn Studien als besonders relevant eingestuft. Diese wurden jeweils zu einem Steckbrief zusammengefasst (siehe Kapitel 3). Eine Übersicht der 25 identifizierten Studien befindet sich im Anhang.

Die vorliegende Metastudie wurde im Rahmen des Projekts **„Analysen und Dialogprozesse zur Unterstützung der Digitalisierung im Bereich Energie, Energieeffizienz und erneuerbare Energien“** (kurz: Digi4E) erstellt. Das dena-Projekt ist ein Querschnittsprojekt zur Analyse und Entwicklung neuer Märkte im Rahmen der Digitalisierung der Energiewirtschaft. Es bringt Entscheider aus Politik und Wirtschaft für einen branchenübergreifenden Dialog und Erfahrungsaustausch zusammen. Durch Marktbeobachtungen und fortlaufende Analysen gibt es einen transparenten Überblick zu aktuellen Entwicklungen und leitet daraus Empfehlungen für Rahmensetzung und branchenübergreifenden Koordinationsbedarf ab. Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestags.

1.2 Vorgehen und Methodik

Die in der vorliegenden Metastudie erfassten Analysen und Studien wurden durch eine gezielte Recherche mithilfe von geeigneten Schlagwörtern (u. a. „IT“, „IKT“, „Digitalisierung“, „Energiewende“, „Smart Meter“, „Verbrauch“, „Einsparung“, „Mehrverbrauch“ etc.) im Internet identifiziert. Unter anderem wurde auf den wissenschaftlichen Online-Publikationsplattformen *researchgate.net* und der *ACM Digital Library* recherchiert. Zusätzlich wurde ein hausinterner und externer Dialog mit Experten aus dem Partnernetzwerk der dena geführt, um relevante Quellen zu erfassen. In einem darauffolgenden Arbeitsschritt wurden die erfassten Studien umfassend analysiert und eingeordnet. Um einen schnellen Überblick über die in den Studien behandelten Themen zu erhalten, wurden die darin verwendeten Schlagwörter herausgearbeitet und in Kategorien zusammengefasst.

Die Untersuchung ergab, dass die Studien mit abweichenden Schwerpunkten besetzt sind. So konnten sechs Hauptkategorien innerhalb des Themengebiets der IKT identifiziert werden, die vielfach Kernbestandteile aller Studien sind. Diese sind in Abbildung 1 durch farbig hinterlegte Blasen gekennzeichnet. Die 29 zusätzlich aufgenommenen Unterkategorien sind den sechs Hauptkategorien zugeordnet und bilden Aspekte ab, die veranschaulichen, welche digitalen Segmente durch die Studien erfasst und hinsichtlich ihrer energetischen Entwicklung abgeschätzt wurden. Die Hauptkategorien mit besonders häufigen Nennungen in den Studien und deren typische Anwendungsfelder werden in der Folge kurz vorgestellt:

- IKT in Telekommunikationsnetzen

  Telekommunikationsnetze umfassen die kabelgebundene und mobile Infrastruktur zur Datenübertragung und Kommunikation, um räumliche Distanzen zu überbrücken. Darunter sind TV-Kabelnetze, Fest- und Mobilfunknetzwerke zu verstehen.

- IKT in der Wirtschaft

  In der Hauptkategorie Wirtschaft ist die IKT-Infrastruktur zusammengefasst, die sich an einem typischen Büroarbeitsplatz wiederfindet. Dazu gehören maßgeblich Endgeräte wie u. a. Desktopcomputer, Laptops, Präsentationsequipment oder digitale Peripheriegeräte zur Unterstützung des Arbeitsalltags. Darüber hinaus wurden in dieser Kategorie auch Verbräuche von Geräten, wie z. B. Kassensysteme oder Bankautomaten, zugeordnet, die über den reinen Bürobetrieb hinausgehen aber im wirtschaftlichen Kontext eingesetzt werden.

- IKT in Haushalten

  In dieser Kategorie sind vorrangig in Haushalten vernetzte Unterhaltungselektronik und Kommunikationselektronik vermerkt. Dazu zählen u. a. Fernsehgeräte mit den dazugehörigen Verkabelungen, Audioanlagen und Computer mit ihren verbunden Peripheriegeräten. Auch eine Kombination mit Sicherheitstechnik, wie Kameras im Eingangsbereich, ist möglich.

- IKT in der Gebäudeautomation

  In dieser Hauptkategorie findet sich die für ein Energiemanagement benötigte Elektronik, zum Beispiel zur Steuerung von Heizungs- und Ventilationssystemen. Mithilfe von Sensoren erhält die Steuerungselektronik in digitalen Messsystemen die notwendige Information für die Signalgebung. Durch Redundanzzubehör wird der Betrieb von besonders kritischen, für das Gesamtsystem notwendigen Funktionen bei Störungen sichergestellt.

- IKT in der Öffentlichkeit

  In dieser Hauptkategorie werden die im öffentlichen Raum aufgestellten und vernetzten Anlagen und Geräte zusammengefasst. Dazu zählen zum Beispiel Beleuchtungs-, Verkehrssteuerungs- oder Mautsysteme, aber auch Informationsanzeigen im öffentlichen Personennah- und Fernverkehr sowie Ticketsysteme. Hotspots für den öffentlichen Internetzugang sind ebenfalls berücksichtigt.

- IKT in Daten-/Rechenzentren

  Equipment und Geräte, die mit Datenzentren verknüpft sind, gehören dieser Hauptkategorie an. Dies umfasst u. a. Server sowie die dafür erforderliche Netzwerktechnik. Auch die notwendige Kühlung der Datenzentren ist in diesem Zusammenhang ein wesentlicher Faktor, damit die Geräte bei hoher Rechenleistung nicht heiß laufen, und entsprechend inbegriffen.

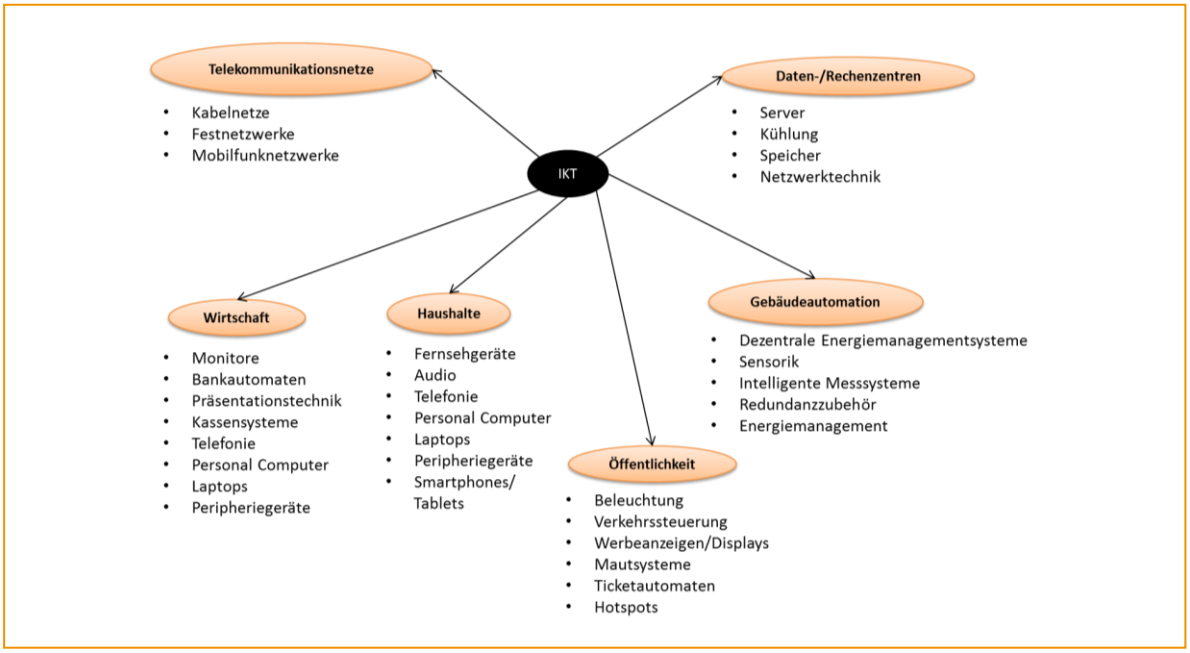


Abb. 1: Übersicht der in den Studien verbundenen IKT-Kategorien und -Technologien[5]

In Abbildung 1 sind die genannten 6 Haupt- und 29 Unterkategorien zusammenfassend dargestellt.
Der Sektor Industrie wird als Untersuchungsgegenstand mit dem Bezug auf den speziellen Einsatz von Kommunikations- und Informationstechnologien in den Studien nicht explizit ausgewiesen. In der vorliegenden Metastudie werden daher lediglich Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen für vergleichende Aussagen über Stromverbräuche in diesem Segment herangezogen (Kapitel 3.1.3). Anzumerken ist, dass in Industrieprozessen selbstverständlich auch Server und IKT-Infrastruktur vorhanden sind, für die Quantifizierung von Hochleistungselektronik in Industrie-Prozessen bedarf es jedoch gesonderten Untersuchungsvorhaben, insbesondere auch, da diese sehr speziell sind und entsprechend die Verbräuche variieren.
In einem zweiten Arbeitsschritt (Kapitel 2) wurde für jede der zehn analysierten Studien ein auf dieser Kategorisierung aufbauender Steckbrief erstellt. Im Zuge dessen konnten die Kernaussagen und Handlungsempfehlungen der Studien identifiziert und festgehalten werden. Diese wurden anschließend über die einzelnen Studien hinweg gruppiert und in übergeordnete Aussagegruppen eingeteilt. In Kapitel 3 lassen sich entsprechend die wesentlichen Kernaussagen in den Gebieten

- 3.1 „Globale bis nationale Betrachtungen zu IKT“

  3.1.1 „Stromverbrauch IKT weltweit“,

  3.1.2 „Stromverbrauch IKT EU“,

  3.1.3 „Stromverbrauch IKT Deutschland“,

- 3.2 „Globale und nationale Betrachtungen zu Datenzentren/*Cloud*“

  3.2.1 „Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* weltweit“,

  3.2.2 „Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* Deutschland“,

[5] Sowohl in den Kategorien Wirtschaft – besonders Wirtschaftszweige mit Bürotätigkeiten – als auch in Haushalten befinden sich Telefonie, PCs, Laptops als auch dazugehörige Peripheriegeräte mit eigenen Stromverbräuchen und sind daher beiden Kategorien zugeordnet.

- 3.3 „Europäische und nationale Betrachtungen zu Haushalte und Wirtschaft“

  3.3.1 „Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft EU“,

  3.3.2 „Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Deutschland“,

- 3.4 „Globale Betrachtung zum Stromverbrauch des Internet“

ablesen. Das abschließende Fazit (Kapitel 4) beinhaltet Handlungsempfehlungen. Im letzten Abschnitt (Kapitel 5) wird über aktuell laufende Forschungsvorhaben berichtet.

2 Studiensteckbriefe

Im Folgenden sind die als besonders relevant eingestuften Studien zum Energieverbrauch im IKT-Bereich gelistet und in Form von Steckbriefen für eine einfache und verständliche Übersicht aufgearbeitet.

2.1 Erläuterung des Steckbriefdesigns

Die Steckbriefe beinhalten:

- Studientitel, Studienfokus mit verknüpften Schlüsselbegriffen (*Hashtags*), Auftraggeber, Bearbeiter, Kontaktperson (inklusive Kontaktdaten, sofern bekannt), Veröffentlichungsdatum.
- Die Kernaussagen der Studie in Zahlen.
- Verknüpfte Schlagworte als übersichtliche Mindmap.[6]
- Kurzzusammenfassung und Schlussfolgerungen.
- Kurzauflistung der Kernaussagen.
- Handlungsempfehlungen der Studienautoren.

2.2 Steckbriefe der analysierten Studien

Eine zunächst durchgeführte einfache Auszählung der in den Studien aufgegriffenen und behandelten Bereiche (thematische Haupt- und Unterkategorien) verdeutlicht, dass die Studienautoren einigen Bereichen des mit IKT verbundenen Energieverbrauchs besondere Relevanz zusprechen. So zeigt die folgende Auflistung, dass sich fast jede der analysierten Studien mit der Entwicklung des Energieverbrauchs von Daten-/Rechenzentren sowie einer zunehmenden Digitalisierung von Haushalten befasst. Ebenso scheint die Entwicklung der Energieverbräuche von Telekommunikationsnetzen eine bedeutende Rolle zu spielen. Auch der vermehrte Einsatz von Laptops und PCs sowie zugehörigen Peripheriegeräte steht verstärkt im Fokus der Analysten.

[6] Der generelle Aufbau der Mindmap ist in Kapitel 1 „Vorgehen und Methodik“ erläutert. In den einzelnen Steckbriefen zu den identifizierten Studien werden lediglich die in der jeweiligen Studie erfassten Hauptkategorien und Unterkategorien dargestellt.

Auszählung der in den zehn analysierten Studien relevanten Themengebiete:

Telekommunikationsnetze

Kabelnetze:	7
Festnetzwerke:	8
Mobilfunknetzwerke:	8

Öffentlichkeit

Werbeanzeigen/Displays:	3
Mautsysteme:	3
Ticketautomaten:	1
Hotspots:	3

Wirtschaft

Monitore:	5
Bankautomaten:	1
Präsentationstechnik:	5
Kassensysteme:	1
Telefonie:	6
Personal Computer:	7
Laptops:	7
Peripheriegeräte:	7

Daten-/Rechenzentren

Server:	10
Kühlung:	6
Speicher:	10
Netzwerktechnik:	10

Gebäudeautomation

Dezentrale Energiemanagementsysteme:	3
Sensorik:	5
Intelligente Messsysteme:	5
Redundanzzubehör:	3
Energiemanagement:	3

Haushalte

Fernsehgeräte:	10
Audio:	10
Smartphones/Tablets:	4
Telefonie:	8
Personal Computer:	10
Laptops:	10
Peripheriegeräte:	10

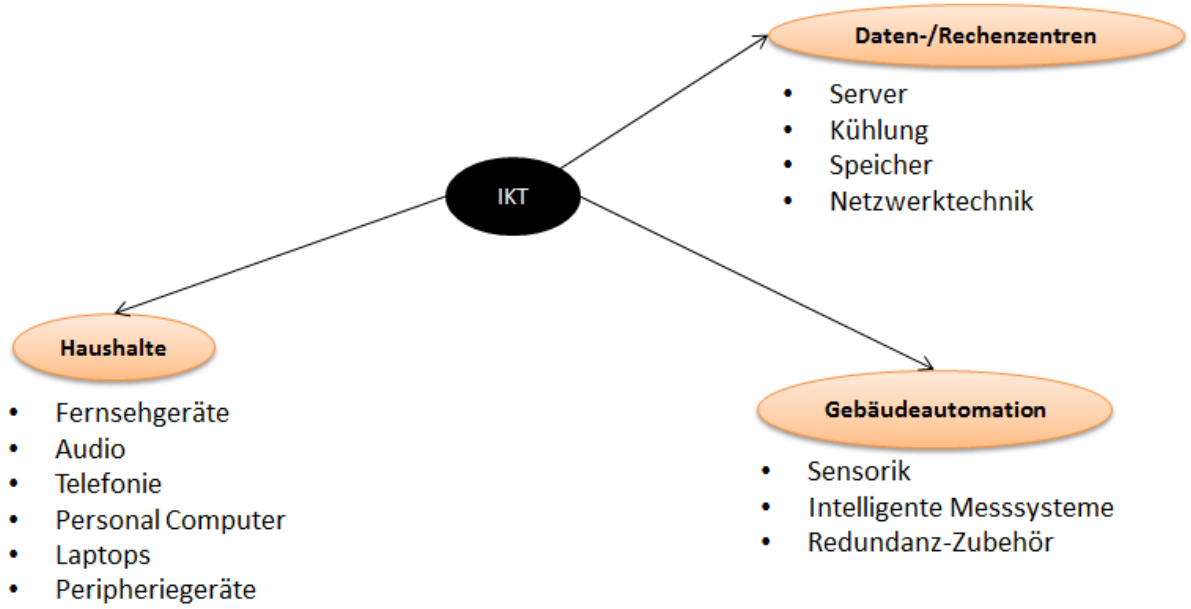
Es zeigt sich des Weiteren, dass in den drei thematischen Hauptkategorien IKT in der Öffentlichkeit, IKT in der Wirtschaft als auch beim Einsatz von IKT in der Gebäudeautomation, zugeordnete Unterkategorien nicht in allen analysierten Studien Erwähnung finden. Hieraus lässt sich vage ableiten, dass die Relevanz dieser Unterkategorien für den Einfluss auf den gesamten IKT-bedingten Stromverbrauch in diesen drei Hauptkategorien eher gering ausfällt.

Auf den nachfolgenden Seiten sind die wesentlichen Informationen der analysierten Studien in Steckbriefen dargelegt (nach Erscheinungsdatum geordnet).

2.2.1 Stromverbrauch von Rechenzentren

Borderstep (2017): Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf deutscher Rechenzentren im Jahr 2016			
Studienfokus:	Bestandsaufnahme und Prognose des Stromverbrauchs deutscher Rechenzentren (mit Bezug zu Österreich und Schweiz).		
	#IKTPotenzial #StromverbrauchRechenzentren #EnergieeffizienzRechenzentren #ReboundEffektIKT		
Autor:	Dr. Ralph Hintemann E-Mail: hintemann@borderstep.de Tel.: +49 (0)30 30 64 51 00-5		
Ausführendes Institut:	Borderstep Institut Berlin, Deutschland	Veröffentlichung:	03/2017
Auftraggeber:	Eigenmittel		

Energieverbrauch: 12,4 TWh Deutschland Rechenzentren 2016	**Entwicklung:** +4,2 Prozent Wachstum in 2016	**Energieverbrauch:** 287 TWh weltweit Rechenzentren 2016	**Anzahl an Servern:** 2,3 Mio. Server in Deutschland 2016



Kurzzusammenfassung

Der Ausbau von Datenzentren innerhalb Deutschlands nimmt in den letzten Jahren stetig zu – insbesondere durch die voranschreitende Digitalisierung der gesamten Wirtschaft. Hinzu kommt eine deutlich steigende Sensibilität im Hinblick auf Datensicherheit und Datenschutz, die u. a. eine stärkere Dezentralität von Rechenzentren (z. B. eigene Rechenzentren innerhalb Deutschlands und nicht im Verbund mit Rechenzentren in anderen Ländern wie beispielsweise den USA) nach sich zieht. Trotz Effizienzsteigerungen in bestehenden Rechenzentren und dem Einbau technologisch neuerer, energieeffizienterer Server übersteigt der Energieverbrauch einer zunehmenden Anzahl an Rechenzentren die Effizienzgewinne. Gleichzeitig wird prognostiziert, dass es trotz des Ausbaus zukünftig schwierig wird, die Nachfrage an Serverkapazitäten zu decken. Die Kurzstudie wirft außerdem einen Blick auf den Stand in Österreich und der Schweiz, wo sich eine ähnliche Entwicklung abzeichnet wie in Deutschland. Ein europäischer und globaler Vergleich wird ebenfalls unternommen.

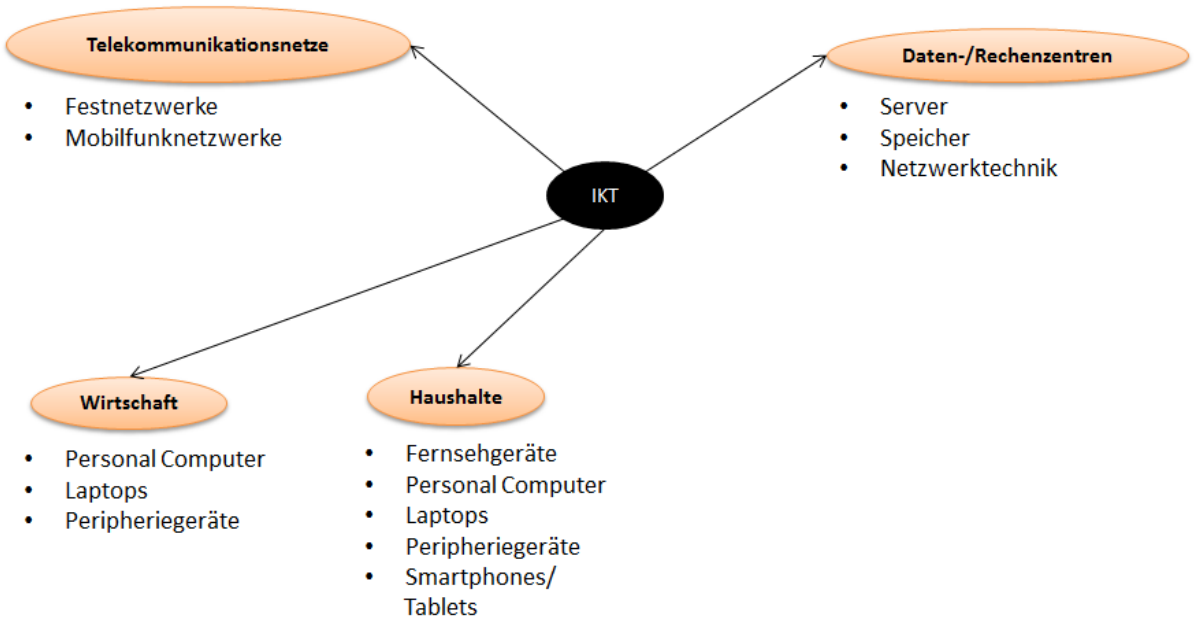
Kernaussagen
Im Jahr 2011 betrug der IKT-bedingte Energieverbrauch 10,7 TWh in Deutschland. Dieser ist im Jahr 2016 auf 12,4 TWh angestiegen. Im Vergleich dazu ist der IKT-bedingte Stromverbrauch weltweit von 223 TWh im Jahr 2010 auf 287 TWh im Jahr 2015 angestiegen. Neben einem 4-prozentigen Anstieg des Energieverbrauchs von Serverleistungen im Zeitraum 2015–2016 stieg der Stromverbrauch in derselben Zeit bei Speichersystemen mit 7 Prozent stärker an.[7] Speichersysteme beanspruchen inzwischen ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs von Datenzentren. Zusätzlich werden jährlich 3 TWh für die Kühlung und Klimatisierung von Datenzentren in Deutschland aufgewendet. 2016 waren in Deutschland 2,3 Mio. Server mit ca. 4,5 TWh Energiebedarf, in Österreich 210.000 Server mit einem Energiebedarf von ca. 1,24 TWh und in der Schweiz 340.000 Server mit einem Energiebedarf von 2,25 TWh in Betrieb. Hieraus ergeben sich folgende spezifische Energieverbräuche: 1,96 MWh Energieverbrauch pro Server und Jahr in Deutschland, 5,90 MWh Energieverbrauch pro Server und Jahr in Österreich sowie 6,62 MWh Energieverbrauch pro Server und Jahr in der Schweiz. Darüber hinaus fallen in der Europäischen Union (EU) 23 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs von Rechenzentren an, wovon Deutschland 25 Prozent, Großbritannien 22 Prozent und Frankreich 15 Prozent der Kapazitäten in Anspruch nehmen.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
– Mit dem Ziel der Effizienzsteigerung wird der Ausbau größerer Datenzentren empfohlen. – Die Auslagerung von Rechenleistung auf größere zentrale Datenzentren muss mit einer erhöhten Sensibilität für das Thema Datenschutz und Datensicherheit in Einklang gebracht werden. – Vor dem Hintergrund rechtlicher Unsicherheiten zwischen der EU und den USA, aus denen die aktuell den Markt dominierenden Betreiber von Datenzentren kommen, wird der Ausbau von Datenzentren innerhalb der EU und Deutschlands als sinnvoll erachtet.

[7] Speichersysteme sind eigenständige Server-Hardware zur Archivierung sowie zur Anfertigung von Sicherheitskopien. Sie enthalten Komponenten wie Netzwerkkarten, Festplatten und „RAID-Controller“.

2.2.2 Indirekte Effekte von IKT auf Energieverbräuche

Carnegie Mellon (2016): Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology.			
Studienfokus:	Indirekte Auswirkungen des Einsatzes von IKT auf Energieverbräuche.		
	#IKTPotenzial #StromverbrauchIKT #EigenverbrauchIKT #ReboundEffektIKT		
Autoren:	Nathaniel C. Horner	Inês M. L. Azevedo	
	Arman Shehabi		
Ausführendes Institut:	*Carnegie Mellon University*, USA *Lawrence Berkeley National Laboratory*, USA	Veröffentlichung:	10/2016
Auftraggeber:	*Center for Climate and Energy Decision Making, US Department of Energy*, USA		

Energieverbrauch:	**Wachstum:**	**Potenzial:**
905 TWh IKT weltweit (2012)	+4 % Wachstum des Verbrauchs in Datenzentren zwischen 2010–2016	53 TWh durch IKT induziertes Einsparpotenzial



Kurzzusammenfassung

Die Studie analysiert Entwicklungsszenarien mit mikro- und makroskopischem Fokus auf die Energieverbräuche durch IKT größtenteils in Form einer Literaturrecherche. Zur Verknüpfung der einzelnen Studien werden die in den jeweiligen Studien verwendeten unterschiedlichen Kategorien in ein Klassifikationsschema überführt. Konkret wurden die analysierten Studien gemäß IKT-Dienstleistungen gruppiert und nach Umfang, Methode und quantitativer wie qualitativer Befunde zusammengefasst. Die Literaturrecherche liefert eine allgemeine Übereinstimmung, dass der Einsatz von IKT ein großes Energieeinsparpotenzial mit sich bringt, wobei die Erschließung dieses Potenzials stark von Implementierungsdetails und dem Nutzerverhalten abhängt.
Die jeweiligen Ergebnisse der untersuchten Studien sind sehr stark abhängig von den darin getroffenen Annahmen. Dies macht eine Eingrenzung einzelner Effekte und eine Übertragbarkeit der Studienansätze auf andere Teilbereiche kaum möglich. Infolgedessen ist die Möglichkeit eines genaueren Vergleichs der Entwicklungen der Energieverbräuche durch IKT eingeschränkt.

Kernaussagen

Der weltweite direkte IKT-bedingte Stromverbrauch wurde für 2007 zwischen 655 TWh bzw. 710 TWh und für 2012 mit 905 TWh bemessen. In Datenzentren hat sich der Stromverbrauch zwischen 2000 und 2005 verdoppelt, wohingegen zwischen 2010 und 2014 das Wachstum nur noch lediglich 4 Prozent betrug. Es kann nach Aussage der Autoren nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass der Ersatz durch neue IKT-Anwendungen weniger energieintensiv ist als herkömmliche Dienstleistungen. Beim Nutzerverhalten können auch Rebound-Effekte auftreten, die einen erhöhten Verbrauch durch die Implementierung neuer Technologien hervorrufen. Das positive Einsparpotenzial durch IKT überwiegt jedoch. Im Gebäudebereich wurde durch das Voranschreiten des *e-commerce* zwischen 1997 und 2007 ein Einsparpotenzial in Höhe von 53 TWh beim Bau und Betrieb abgeschätzt, da hierdurch eine optimale Ausnutzung der Lager- und Gewerbeflächen im Zuge eines nachfrageorientierten Angebots den Energieaufwand senkt.
Ein weiteres Beispiel aus der Studie verdeutlicht einen Vergleich von *E-Papern* und papierbasierten Zeitschriften, wobei das Potenzial in sechs untersuchten Papern je nach Betrachtungsmethodik zwischen +643 Prozent und −69 Prozent variiert. Diese starke Abweichung ist damit zu begründen, dass umso mehr Energie benötigt wird, je öfter ein *E-Paper* gelesen wird. Dahingegen benötigt ein auf Papier gedruckter Artikel zwar einen hohen Energieaufwand zur Erzeugung, jeder folgende „Abruf“ erfolgt hingegen ohne Energieverbrauch.
Die Studie weist darauf hin, dass es generell schwierig ist, Prognosen für die Zukunft abzugeben, da beim Energieverbrauch stark beeinflussende, gesellschaftliche Entwicklungen kaum abgeschätzt werden können. Hier werden u. a. eine aufkommende IKT-intensive *sharing economy* (z. B. *car sharing*), der Einfluss von Gesetzgebungen und dynamische Wettbewerbsprozesse als Argumente genannt.

Handlungsempfehlungen aus der Studie

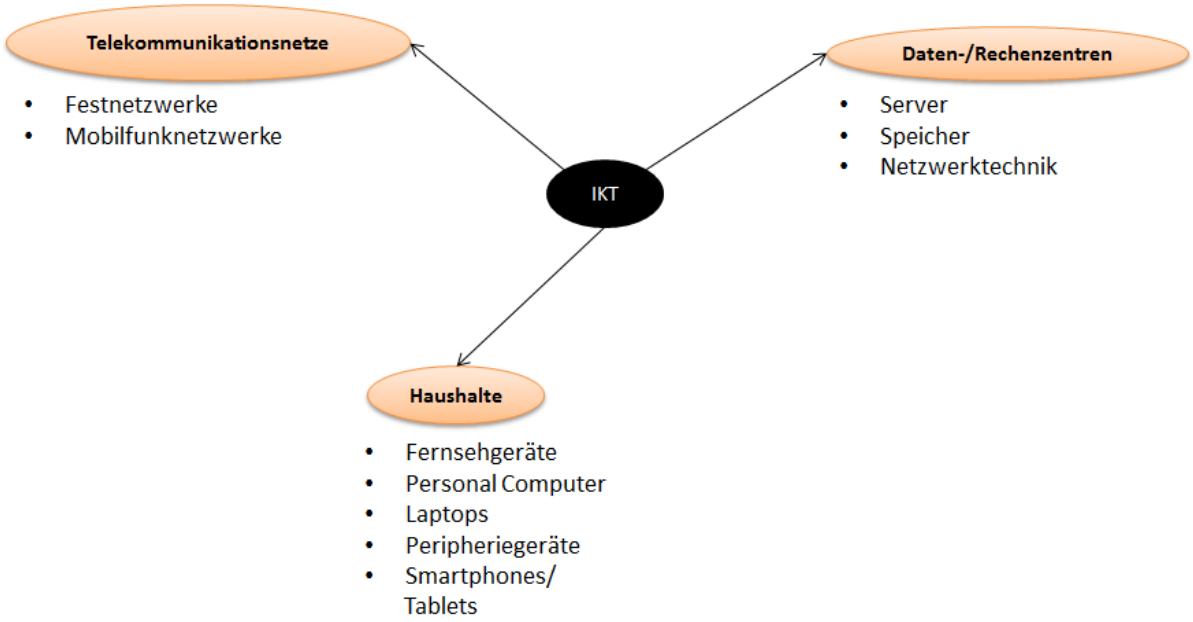
Mit dem Ziel die Forschungsqualität zu erhöhen, werden folgende Handlungsempfehlungen gegeben:

- Mehr Verständnis für das Nutzerverhalten im Zusammenhang mit IKT-Systemen entwickeln.
- Umfangreichere Datensammlung und größere Anzahl an empirischen Studien aufnehmen und auswerten.
- Verbesserung der traditionellen Modellierungsansätze durch Sensitivitätsanalysen.
- Größere Sorgfalt bei der Auswahl der Studien.
- Mehr Kontextintegration über die unterschiedlichen Ebenen der Auswirkungstaxonomie hinaus.

2.2.3 Entwicklung der Energieverbräuche durch *Cloud*-Anwendungen

Borderstep (2016): *Green Cloud? The current and future development of energy consumption by data centers, networks and end-user devices*			
Studienfokus:	*Cloud Computing* und dessen Energieverbräuche für die Bereitstellung von IT-Kapazitäten.		
	#*CloudComputing* #EnergieverbrauchITDeutschland #EnergieverbrauchITweltweit #*GreenIT*		
Autoren:	Dr. Jens Clausen E-Mail: clausen@borderstep.de Tel.: +49 (0)511 30 05 92 45	Dr. Ralph Hintemann E-Mail: hintemann@borderstep.de Tel.: +49 (0)30 30 64 51 00-5	
Ausführendes Institut:	Borderstep Institut Berlin, Deutschland	Veröffentlichung:	08/2016
Auftraggeber:	Eigene Mittel, Bezug zur BMWi geförderten Studie „Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland (2015)“		

Energieverbrauch:	**Prognose:**	**Entwicklung:**	**Entwicklung:**
47,8 TWh durch IKT 2015 in Deutschland	41,3 TWh durch IKT 2025 in Deutschland	+107 % Energieverbrauch durch Datenzentren gegenüber 2010 bis 2025	+142 % Energieverbrauch durch Netzwerke gegenüber 2010 bis 2025



Kurzzusammenfassung

Die Studie untersucht die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs einzelner IT-Bereiche mit den Schwerpunkten Telekommunikationsnetze, Daten-/Rechenzentren und Haushalte. Dabei werden auf Grundlage bestehender Daten sowie eigener Hochrechnungen Prognosen für die Entwicklung des Energieverbrauchs für die Jahre 2020 und 2025 in Deutschland und weltweit erstellt. Das verwendete Modell basiert auf einer quantitativen Erhebung des Bestands an IKT-Geräten aus unterschiedlichen Anwendungsfeldern. Energierelevante technische und nutzungsrelevante Parameter werden verschiedenen Gerätetypen zugeordnet und für die Bestimmung des elektrischen Stromverbrauchs analysiert. Die Parameter für jede Produktgruppe sind wie folgt festgelegt:

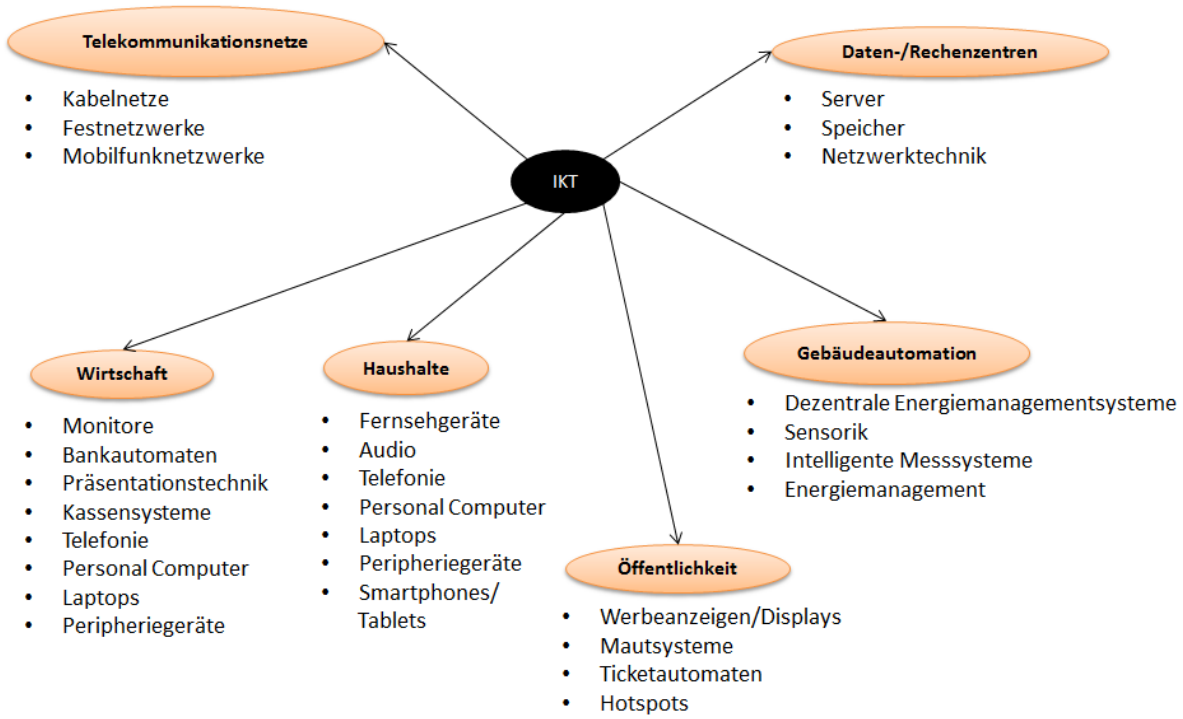
- Typ und Anzahl der Geräte
- Ladeabhängiger Stromverbrauch sowie Zusammenhänge mit anderen Produktgruppen
- Nutzerspezifische Anwendungen und Ladeprofile

Kernaussagen
Das *Outsourcing* von IKT-Funktionalitäten in *Cloud*-Anwendungen wird nach Aussage der Autoren steigen. Aus ökologischer Sicht wird die Nutzung von *Cloud*-Angeboten gewöhnlich als Energie- und Materialsparmaßnahme angesehen. Jedoch ist es eine große Herausforderung, diese Annahme wissenschaftlich zu belegen, denn neue *Cloud*-Anwendungen verursachen zusätzlichen Energieverbrauch und sind für 50 Prozent des *workloads* in Datenzentren verantwortlich. Laut der Studie wird der Energieverbrauch von Netzwerken zur Telekommunikation und Datenübertragung sowie Datenzentren im Zeitraum 2010 bis 2025 signifikant steigen. In Deutschland wird demnach der Energieverbrauch um 89 Prozent in Netzwerken zur Telekommunikation und Datenübertragung und um 56 Prozent in Datenzentren anwachsen. Weltweit betrachtet, wird der Energieverbrauch im Bereich Netzwerke um 142 Prozent und im Bereich Datenzentren um 107 Prozent ansteigen. Es wird geschätzt, dass sich bis 2019 mehr als 80 Prozent des *workloads* der Datenzentren in sogenannte *Cloud*-Datenzentren verschieben wird, was einem Zuwachs des Datenverkehrs um 8,6 Milliarden Terabyte zwischen 2014 und 2019 entspricht. Durch eine Verschiebung von typischen Office-Anwendungen in *Cloud*-Anwendungen besteht ein technisches Energieeinsparpotenzial von 87 Prozent. Demnach ist *Cloud Computing* ein effizienter Weg, um IT-Kapazitäten bereitzustellen. Der gesamte IKT-bedingte Energieverbrauch in Deutschland ist zwischen 2010 und 2015 von 56 TWh auf 47,8 TWh gesunken. Für 2020 und 2025 wird ein weiterer Rückgang prognostiziert. Es ergeben sich 40,6 TWh für 2020 sowie 41,3 TWh für 2025. Dieser Rückgang des Energieverbrauchs, der u. a. durch eine geringere Nutzung der Rechenkapazitäten von (Einzel-)Endgeräten begründet ist, wird dem wachsenden Energieverbrauch von Datenzentren entgegenstehen. *Cloud Computing* wird folglich nicht direkt den Gesamtenergieverbrauch senken, jedoch andere positive Effekte für neue Produkte, Märkte und Geschäftsmodelle hervorrufen. Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass durch die Dynamiken des IKT-Sektors Vorhersagen in die Zukunft (über zehn Jahre) mit großer Streubreite behaftet sind. So können Energieverbräuche individueller Produktgruppen zwischen −10 Prozent bis +40 Prozent schwanken.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
Um genaue Aussagen treffen zu können, wie sich die weitere Verlagerung von IT-Dienstleistungen in *Cloud*-Dienste auf die Auslastung von Datenzentren insgesamt auswirken wird, bedarf es weiteren Untersuchungen über das Ausmaß von aktuellen Entwicklungen wie Industrie 4.0 und smarten Steuerungssystemen.

2.2.4 Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland

Fraunhofer IZM u. Borderstep (2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland			
Studienfokus:	Bestandsaufnahme des Status quo (2015) und Prognose (2025) der weiteren Entwicklung des Energiebedarfs von Informations- und Kommunikationstechnologien.		
	#EnergieeinsatzIKT #DigitalisierungIKT		
Autor:	Dr. phil. Lutz Stobbe (Dept. Environmental & Reliability Engineering) E-Mail: lutz.stobbe@izm.fraunhofer.de Tel.: +49 (0)30 4 64 03-139	Dr. Jens Clausen E-Mail: clausen@borderstep.de Tel.: +49 (0)511 30 05 92 45	
	Dr. Ralph Hintemann E-Mail: hintemann@borderstep.de Tel.: +49 (0)30 30 64 51 00-5	Dr. Severin Beucker E-Mail: beucker@borderstep.de Tel.: +49 (0)30 - 306 45 100-2	
	Marina Proske	Hannes Zedel	
Ausführendes Institut:	Fraunhofer IZM/ Borderstep Institut Berlin, Deutschland	Veröffentlichung:	11/2015
Auftraggeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie		

Energieverbrauch: 56 TWh durch IKT 2010 in Deutschland	**Prognose:** 46 TWh durch IKT 2025 in Deutschland	**Energieverbrauch:** 17 TWh durch Daten-zentren 2010 in Deutschland	**Prognose:** 25 TWh durch Da-tenzentren bis 2025 in Deutschland.



Kurzzusammenfassung

Die Studie bedient sich bisherigen Veröffentlichungen mit dem Bezugsjahr 2010 und errechnet darauf fußend den Stand für das Jahr 2015 sowie Prognosen für das Jahr 2025. Für die Modellierung der Daten gliedert die Studie IKT in

die Bereiche Rechenzentren, Telekommunikation, Arbeitsplatz, Haushalte, Öffentlichkeit und Gebäudeversorgung. Hierfür wurden die folgenden Parameter verwendet: Anzahl und Art des Gerätebestandes (Produktgruppe); lastabhängige elektrische Leistungsaufnahme (Technikparameter); nutzerspezifische Anwendungen bzw. Lastprofile (Nutzungsparameter) sowie Interaktion im Netzwerk bzw. mit anderen Geräten (Datenverkehr).

Kernaussagen

Gemäß den Studienergebnissen entwickelt sich der elektrische Energiebedarf der IKT in Deutschland allgemein rückläufig. Demnach wird gegenüber dem Höchststand von 56 TWh im Referenzjahr 2010 bis zum Jahr 2025 ein Rückgang um etwa 10 TWh für Endgeräte im Haushalts- und Arbeitsbereich prognostiziert. Dies wird als Resultat der EU-Ökodesign-Richtlinie und des EU-Energielabels gesehen.
Der Energieverbrauch von Rechenzentren wird hingegen steigen, da immer mehr Dienste in *Cloud*-Systeme umgelagert werden und durch das Internet der Dinge viele Geräte eine zusätzliche Stromversorgung durch die Digitalisierung beanspruchen. Der jährliche Energiebedarf in Rechenzentren wird von etwa 17 TWh im Jahr 2010 auf 25 TWh im Jahr 2025 steigen.

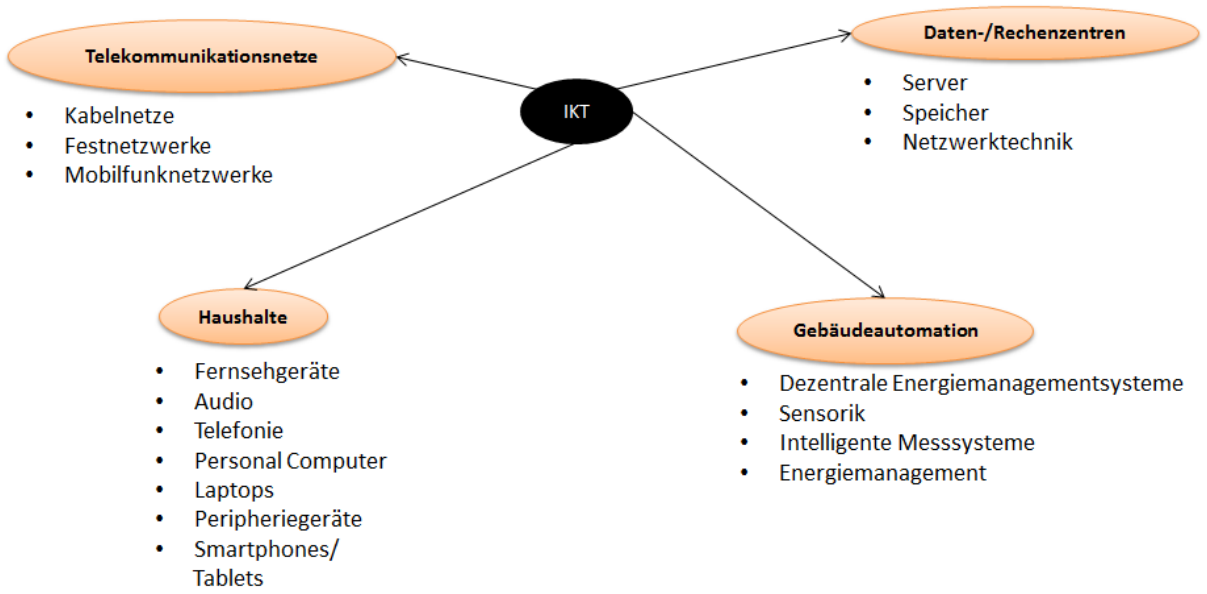
Handlungsempfehlungen aus der Studie

Die Entwicklung der Energieeffizienz im IKT-Bereich bedarf weiterer Beobachtung. Insbesondere folgende Handlungsempfehlungen werden gegeben:

- Ein effizientes Energiemanagement für Netztechnik muss entwickelt werden.
- IKT-Infrastrukturen müssen ausgebaut werden, um den steigenden Datenverkehr zu bewältigen, und vernetzte Endgeräte müssen im Zusammenspiel mit der Telekommunikationsinfrastruktur optimiert werden.
- Eine umfassende, technische und ökonomische Produktanalyse als Grundlage für die Identifizierung von Verbesserungsoptionen und insbesondere zur Quantifizierung von Energieeffizienzzielen sollte aufgesetzt werden.
- Um möglichen Fehlentwicklungen frühzeitig entgegenwirken zu können, wird eine periodische Überprüfung des technischen Entwicklungsstandes und der realen Situation im Anwendermarkt empfohlen.
- Eine Erweiterung des Produktspektrums bei der Analyse des IKT-bedingten Energiebedarfs wird ebenfalls empfohlen. Im Blickpunkt stehen dabei z. B. das Internet der Dinge, Elektromobilität und Industrie 4.0.

2.2.5 Energieverbrauch der IKT in Smart Grids

ADEME u. Capgemini Consulting (2015): *Assessment of electricity consumption in the ICT layer in Smart grids*			
Studienfokus:	Prognose über Stromverbräuche von Smart-Grid-Anwendungsfeldern bedingt durch die momentane Entwicklung im IKT-Bereich innerhalb Frankreichs.		
	#IntelligenteEnergienetzwerke #ElektrischerKonsumIKT #ICTSmartGrid		
Autoren:	Marion Bertholon		
Ausführendes Institut:	*Capgemini Consulting* Frankreich	Veröffentlichung:	06/2015
Auftraggeber:	ADEME – Französische Agentur für Energie- und Umweltmanagement		
Prognose: 350 Mio. vernetzte Dinge 2030 in Frankreich	**Prognose:** 996 GWh durch IKT 2030 in Frankreich	**Prognose:** 252 GWh durch *Smart Home-Anwendungen* 2030 in Frankreich	**Prognose:** 55 GWh durch Verteilnetze 2030 in Frankreich



Kurzzusammenfassung

Für die Jahre 2020 und 2030 wird die Entwicklung des Stromverbrauchs im Hinblick auf die Zunahme von IKT in smarten Stromnetzen in Frankreich untersucht. Hierfür wurde der Begriff Smart Grid in vier Wirkbereiche aufgegliedert:
1. Smart Metering-Infrastruktur
2. Smart Home-Infrastruktur
3. Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge
4. Smarte öffentliche Verteilnetze
Daraus hervorgehend wurden unterschiedliche Szenarien dargelegt. So wurden zum einen die bestehenden Verbräuche ohne steigende Entwicklung zur Grundlage genommen. Zum anderen wurde eine konstante Entwicklung mit hohen Wachstumsfaktoren auf Basis des Moore'schen Gesetzes[8] betrachtet. Da hierbei neben einer Annäherung an physikalische Grenzen auch finanzielle Limitierungen gegeben sind, ergeben sich in der Studie unterschiedliche Annahmen für

[8] Das Moore'sche Gesetz prognostiziert eine Verdoppelung der Transistor-Dichte von Computerchips alle ein bis zwei Jahre.

die Modellierung der zukünftigen Entwicklung.
So müssen fluktuierende Energieerzeuger in ein dezentrales und variables Energiesystem integriert werden. Dazu bedarf es eines Angebot-Nachfrage-Managements sowie einer Anpassung an neue Konsummuster, um mehr Effizienz zu erreichen und den Energieverbrauch zu senken. Die mit der Bewältigung dieser Herausforderungen einhergehende Zunahme von IKT-Anwendungen wird sich auf viele Bereiche des Stromnetzes auswirken.

Kernaussagen

Zwischen 2020 und 2030 wird der Anteil vernetzter Objekte in Frankreich von 150 Millionen auf 350 Millionen anwachsen. Der Großteil des wachsenden Energieverbrauchs durch IKT wird von intelligenten Messeinrichtungen getragen werden. Sobald diese installiert sind, wird der Bedarf von 2020 bis 2030 weniger stark ansteigen (510–541 GWh, dies entspricht +6,0 Prozent). Der Verbrauch durch die Ausrüstung von *Smart Homes* wird stärker wachsen (164–252 GWh, dies entspricht +9,5 Prozent). Für die Netzführung und das Monitoring in Verteilnetzen geht man ebenfalls von einem Wachstum aus (51–55 GWh, dies entspricht +7,8 Prozent) und bei smarten Ladeanwendungen wird ein starker Anstieg erwartet (41–148 GWh, was +360 Prozent entspricht).
Insgesamt steigt der IKT-bedingte Strombedarf in Frankreich also von 766 GWh im Jahr 2020 auf 996 GWh im Jahr 2030 (+17 Prozent) (*best case*). In einem Szenario ohne technologischen Fortschritt werden für die Jahre 2020 992 GWh und für 2030 3,41 TWh (+242 Prozent) prognostiziert (*worst case*). Bei Annahme[9] einer abgeschwächten Ausprägung des Moore'schen Gesetzes liegen die Werte dazwischen (851 GWh für 2020 und 1,535 TWh für 2030) (*mid case*).

Handlungsempfehlungen aus der Studie

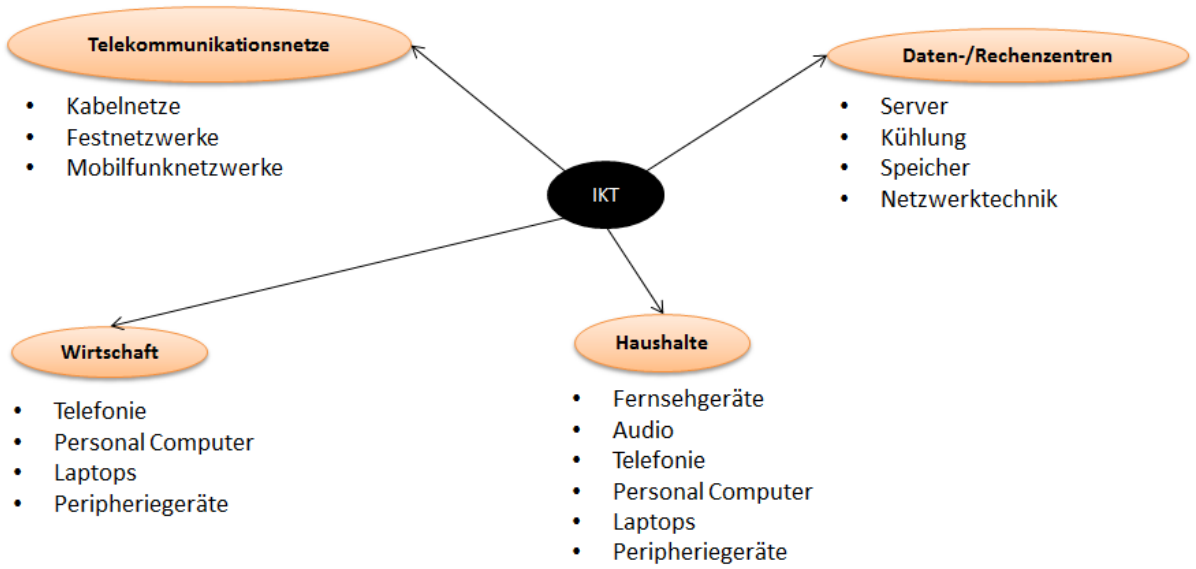
Für die Entwicklung neuer Lösungen sollte der Fokus auf die folgenden Punkte gelegt werden:

- Reduzierung des Energiekonsums und *downsizing* des Equipments.
- Weiterentwicklung von Software, Anwendungen und technischem Ökodesign.
- Entwicklung von Algorithmen, die sich an die lokal und zeitlich verfügbaren Speicherkapazitäten anpassen.
- Unterstützung des Wissenstransfers sehr niedriger Verbräuche zwischen energieerzeugenden Objekten und Objekten mit Batterien sowie Plug-In-Lösungen.
- Festlegung offener Standards, um Interoperabilität zu gewährleisten.
- Angebote an Kunden und Betreiber, um vorhandene Flexibilität und Energieeinsparpotenziale tatsächlich auszunutzen.

[9] In der Studie wird hierunter eine 70-prozentige Kannibalisierungsrate des Moore'schen Gesetzes verstanden, d. h. die Energieverbräuche werden durch erhöhtes Datenaufkommen trotz Verbesserung der Datendichte in den Computerchips steigen.

2.2.6 Einfluss der IKT auf Energieverbrauch und CO_2-Emissionen

Imperial College (2015): *The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions*			
Studienfokus:	In diesem Artikel evaluieren die Autoren den Einfluss unterschiedlicher Sektoren der IKT auf den Energieverbrauch und die CO_2-Emissionen.		
	#EnergieeinsatzIKT #EnergieverbrauchITWeltweit #EmissionseinsparungITGlobal		
Autor:	Prof. Erol Gelenbe Tel.: +44 (0)20 75 94 63 42 E-Mail: e.gelenbe@imperial.ac.uk	Yves Caseau	
Ausführendes Institut:	*Imperial College*, Groß Britannien	Veröffentlichung:	06/2015
Auftraggeber:	*Association for Computing Machinery*, USA		
Energieverbrauch: 1.336 TWh durch IKT in 2015 global	**Energieverbrauch:** 31 TWh durch IKT 2014 in Indien	**Prognose:** 4 GT CO_2-Einsparung bis 2030 durch ITK global	**Energieverbrauch:** +56 % Verbrauch in Datenzentren 2009–2014



Kurzzusammenfassung

Die Studie stellt bereits veröffentlichte Studien gegenüber. Dabei werden bisherige Entwicklungen aufgezeigt und eigene Schlussfolgerungen abgeleitet. In der Studie werden der Kategorie IKT Personal Computer, periphere Ausrüstung, Netzwerke, Telekommunikationsequipment und Datenzentren zugeordnet und unterschieden. Es werden die Sektoren Transport, smarte Gebäude sowie virtuelles Arbeiten und Lernen untersucht.
Demnach wurden im Jahr 2012 circa 4,7 Prozent des weltweiten elektrischen Energieverbrauchs durch IKT verursacht. IKT war damit für circa 1,7 Prozent der gesamten CO_2-Emissionen in die Atmosphäre verantwortlich. Der Studie nach wächst die Anzahl von IKT und der damit verbundene Energieverbrauch sowie CO_2-Ausstoß, wobei die verbesserte Energieeffizienz der IKT-Ausrüstung zu einem langsameren Wachstum beiträgt als die Steigerung der weltweiten IKT-Nutzung dies nahelegen würde. IKT-Lösungen können außerdem zur Reduktion des Energieverbrauchs und des CO_2-Ausstoßes in verschiedenen Sektoren beitragen (wie z. B. durch selbstfahrende Autos zur Optimierung des Transportsektors, *e-commerce* und digitale Produkte sowie Energieoptimierung in bestehenden und neuen Gebäuden).

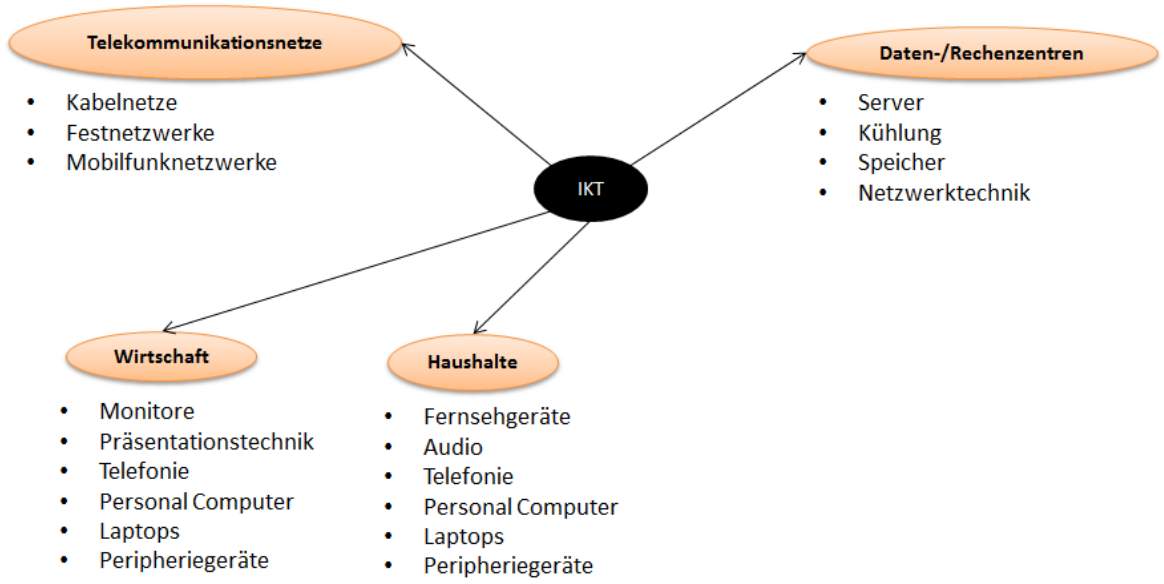
Kernaussagen
Der Energieverbrauch der IKT und dessen Anteil am weltweiten Stromverbrauch ist gewachsen: von 684 TWh (dies entspricht 4,0 Prozent in 2007) bis hin zu 920 TWh (dies entspricht 4,7 Prozent in 2012) auf 1.339 TWh (dies entspricht 6,5 Prozent in 2015)[10]. Zum Vergleich sind auch die IKT-bedingten Energieverbräuche in Indien mit einem Anstieg von 24 TWh (2009) auf 31 TWh (2014) genannt. Für Datenzentren ergibt sich im Zeitraum 2009–2014 ein Anstieg des elektrischen Stromverbrauchs um 56 Prozent. Trotz des steigenden Anteils von IKT wird eine Entlastung anderer Sektoren durch den Einsatz digitaler Technologien vorhergesagt und somit eine Einsparung von CO_2-Emissionen von 4 Gigatonnen (GT) für das Jahr 2030 prognostiziert.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
– Die energie- und kosteneffizientere Ausnutzung von Servern wird durch einen weiteren Ausbau von *Cloud*-Dienstleistungen empfohlen. – Die Optimierung der Rechenleistung kann durch eine bessere Organisation in der Datenbearbeitung und Kühlung sowie Wärmerückgewinnung erzielt werden. – Die Anwendung von neuen elektronischen Systemen, die bei hohen Temperaturen ohne Kühlung ausreichend arbeiten können, bietet ein hohes Einsparpotenzial und bedarf daher weiterer Untersuchungen.

[10] Die Zahlen zum weltweiten Stromverbrauch sind mit dem Online-Tool von Enerdata (2016) abgeglichen: Summe 2007: ca. 17.100 TWh, Summe 2012: ca. 19.600 TWh, Summe 2015: 20.600 TWh.

2.2.7 Kosten-Nutzen-Analyse für die Messung des Energieverbrauchs von IKT

Öko-Institut u. TU Berlin (2014): *Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis*			
Studienfokus:	In dieser Studie werden Methoden zur Messung der Treibhausgasemissionen und des Energieverbrauchs von IKT untersucht und verglichen. Umweltpolitische Maßnahmen werden darauf aufbauend entwickelt. Außerdem werden Möglichkeiten zur Integration der Methoden untersucht.		
	#UmweltauswirkungIKT #KostenNutzenAnalyseIKT #NormungTelekommuniktation #Regelung-Telekommunikationswesen #Telekommunikationspolitik #EG-Umweltpolitik #ICTEU		
Autoren:	Marina Proske (Fraunhofer IZM) E-Mail: Marina.Proske@izm.fraunhofer.de Tel.: +49 (0) 30 4 64 03-771	Siddharth Prakash (Öko-Institut) Tel.: +49 (0)761 4 52 95-244	
Ausführendes Institut:	Öko-Institut e. V. Technische Universität Berlin, Deutschland	Veröffentlichung:	09/2014
Auftraggeber:	Europäische Kommission		

Energieverbrauch:	**Prognose:**	**Wachstum:**
214 TWh IKT 2011 in EU-27	259 TWh IKT 2020 in EU-27	+67 % IKT 2011–2020 in EU-27



Kurzzusammenfassung

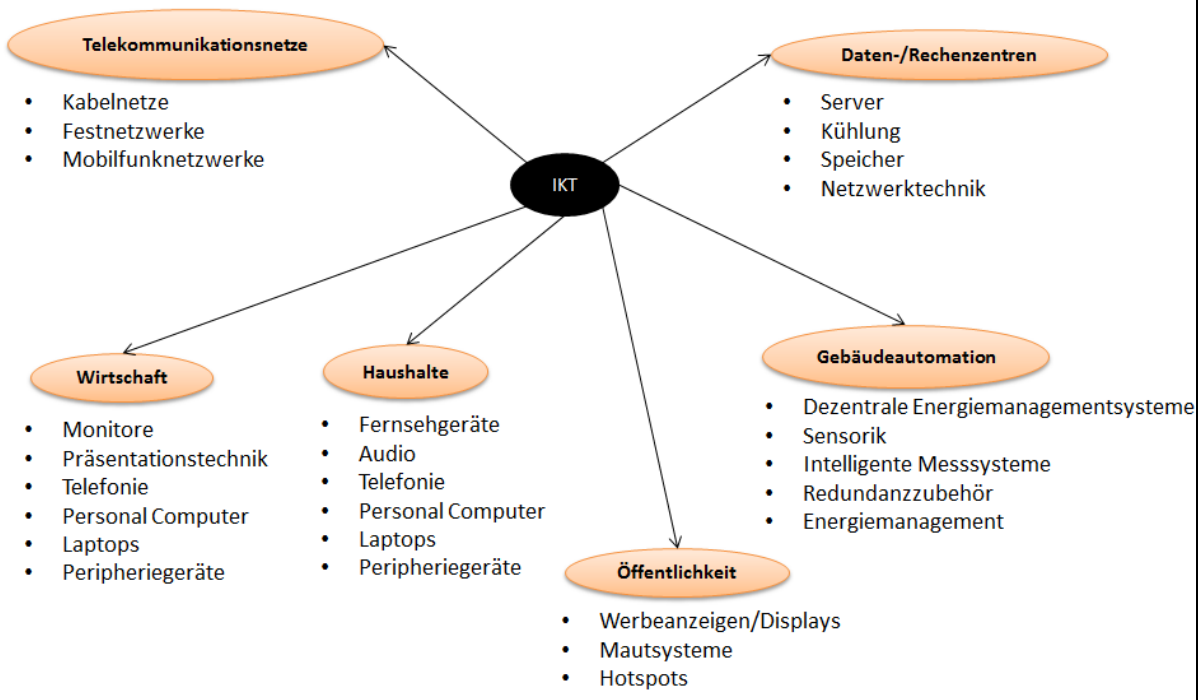
Die Studie bewertet Methoden zur Analyse von Lebenszyklen verschiedener IKT-Produkte. Initiativen, um Anwendungen der IKT-Branche und ihre Wirkung auf andere Bereiche zu messen, wurden herausgearbeitet. Auf Basis einer umfangreichen Datengrundlage, führt die Studie eine Untersuchung der zukünftigen Entwicklung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des IKT-Sektors in Europa durch. Darüber hinaus wird in der Studie eine Kosten-Nutzen-Analyse für ausgewählte politische Optionen (im Sinne von obligatorischen Energieberichterstattungen bei Datenzentren und Telekommunikationsunternehmen) durchgerechnet, um die Vorteile und Risiken für Unternehmen, die diese Maßnahmen umsetzen, zu bewerten.

Kernaussagen
Der IKT-bezogene Energieverbrauch von Haushalten und im Office-Bereich bleibt der Studie nach ungefähr konstant. Die Energieverbräuche in den Bereichen der Telekommunikation, Rechenzentren und Gebäudeversorgung steigen um ca. 67 Prozent von 2011 bis 2020 und damit für den gesamten IKT-Bereich von 214 TWh auf 259 TWh in der EU-27 (ohne IKT-bedingte Energieverbräuche in Produktionsprozessen der Industrie). Obwohl die untersuchten Methoden weitgehend miteinander kompatibel sind, wenn es um die Bewertung des IKT-bedingten ökologischen Fußabdrucks geht, fehlen diesbezüglich immer noch Transparenz und Konsistenz bei der Messung und Berichterstattung über die Umweltbelastung von Produkten, Dienstleistungen, Netzwerken oder Unternehmen. Auch die Glaubwürdigkeit der Unternehmen in Bezug auf das *greening* ihrer Produkte und Unternehmensaktivitäten werden von den Autoren der Studie als unbefriedigend eingestuft. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Umweltauswirkungen der IKT von einer Studie zur anderen erheblich voneinander abweichen, was die Formulierung geeigneter politischer Maßnahmen erschwert. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass die meisten bestehenden Methoden zur Messung der IKT-bedingten THG-Emissionen und Stromverbräuche noch nicht in umweltpolitische Maßnahmen integriert sind. Eine Stärken-Schwächen-Chancen-Risiken-Analyse (SWOT-Analyse) in der Studie ergibt, dass eine der größten Schwächen darin besteht, dass selbst innerhalb einer Produktgruppe (bspw. Computer oder TV-Geräte) IKT-Anwendungen sehr heterogen sind und eine einheitliche Beurteilungsmethode für einen Energie-Effizienz-Index eine große Herausforderung darstellt.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
– Verbesserung des Verständnisses der tatsächlichen Umweltauswirkungen von Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen durch Erweiterung der Daten- und Informationsgrundlage. – Festlegung eines gemeinsamen methodischen Rahmens für die Messung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen. – Pilotstudien zur Messung der Energie- und THG-Emissionen im Lebenszyklus von Rechenzentren und Telekommunikationsnetzen. – Entwurf eines Verfahrens zur Entwicklung von Regelkatalogen für Rechenzentren, Telekommunikationsnetze und Dienstleistungen.

2.2.8 Energieverbrauch des Internets

EMPA (2014): *The Energy Intensity of the Internet: Home and Access Networks*			
Studienfokus:	Es werden bestehende Bewertungen für die Energieintensität von Heim- und Zugangsnetzwerken präsentiert und der Energieaufwand pro Dateneinheit modelliert.		
	#EnergieintensitätInternet #EnergieeffizienzInternet #Kundenraum-Netzwerke #ITAusrüstung		
Autoren:	Vlad Constantin Coroama	Daniel Schien	
	Chris Preist	Lorenz M. Hilty	
Ausführendes Institut[11]:	EMPA – Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Schweiz	Veröffentlichung:	08/2014

Energieverbrauch:	**Energieverbrauch:**	**Energieverbrauch:**	**Prognose:**
Ø 0,39 kWh/GB 2014 durch Internetübertragung	6,05 TWh durch Netzgeräte 2008 in USA	47 TWh durch IKT 2015 in Deutschland	Durchschnittlich +14 % IKT-Verbrauch pro Jahr weltweit.



Kurzzusammenfassung

Die Studie stellt eine Methode zur Abschätzung der Energieintensität des Internets vor, bei der für verschiedene Teile des Netzwerks unterschiedliche Modellierungsparadigmen zum Einsatz kommen. Die Methode wird vor dem Hintergrund einer uneinheitlichen Datenlage bezüglich des Energieverbrauchs des Internets entwickelt, wobei die Autoren in ihrer Analyse entsprechender Studien vor allem abweichende Definitionen der Systemgrenzen als Hauptursache für die großen Unterschiede bei den ermittelten Energieverbräuchen identifizieren.

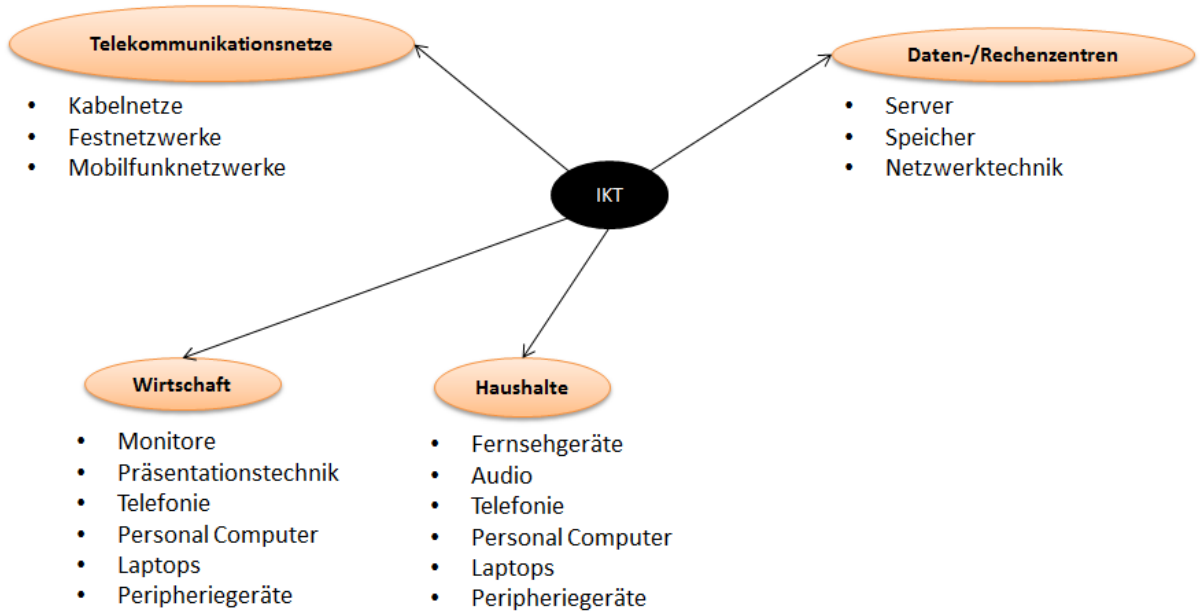
[11] Zur Studie konnte ein Auftraggeber nicht direkt ermittelt werden.

Kernaussagen
Ergebnisse bestehender Studien für die Energieintensität des Internets schwanken je nach verwendeter Methode zwischen 136 kWh/Gigabyte (GB) und 0,0064 kWh/GB. Diese enorme Bandbreite lässt sich einerseits durch die unterschiedlichen Bezugsjahre (2000 und 2011) der jeweiligen Studien begründen, vor allem jedoch durch die unterschiedlichen Systemgrenzen bei der Betrachtung des Energieverbrauchs des Internets. So werden als Beispiel zwei Studien mit dem Bezugsjahr 2008 angeführt, bei denen sich die Energieintensität des Internets um den Faktor 39 unterscheidet, da nur eine der beiden Studien den Energieverbrauch von Datenzentren mit einbezieht. Die Autoren der Studie sprechen sich für eine getrennte Analyse des Netzwerks und der Endgeräte aus, da die Endgeräte meist auch unabhängig von der Netzwerknutzung Energie verbrauchen und es dementsprechend nahe liegt, beide Komponenten einzeln zu untersuchen und bei entsprechendem Untersuchungsrahmen wieder zusammenzuführen. Für diese Trennung spricht auch, dass der Energieverbrauch von Zugangs,- Metro[12] und Kernnetzwerken[13] zum großen Teil unabhängig von Endgeräten und Datenverkehr generierenden Anwendungen betrachtet werden kann. Zusätzlich zu den Netzwerken und dem zugehörigen Energieaufwand für Redundanzequipment und Kühlung, sollten auch Teilnehmernetzgeräte[14] mit in die Bilanz einbezogen werden, da diese Geräte im Gegensatz zu anderen Endgeräten keinen netzwerkunabhängigen Verbrauch haben. Des Weiteren sprechen sich die Autoren für die Einbeziehung des Energieverbrauchs der Signalübertragung und Verstärkung aus, auch wenn dieser verhältnismäßig nur einen Bruchteil des Gesamtverbrauchs ausmacht.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
– Zur Ermittlung der Energieintensität des Internets schlagen die Autoren vor, dass man zwei verschiedene Geräteklassen mit unterschiedlichen Modellierungsparadigmen betrachten sollte. So steigt der Energieverbrauch bei Metro- und Kernnetzwerken mit zunehmendem Datenverkehr, weshalb hier eine Intensität als Energieverbrauch pro Dateneinheit als sinnvoll erachtet wird. – Bei Zugangsnetzwerken und Teilnehmernetzgeräten ist der Energieverbrauch hingegen vor allem von der Nutzungsdauer abhängig, weshalb eine Energieintensität hier besser als Energieverbrauch pro Zeiteinheit (Leistung) modelliert werden sollte.

[12] Ein *Metropolitan Area Network* (MAN) ist ein breitbandiges Telekommunikationsnetz oftmals in Metropolregionen.
[13] Englisch = Core Network; ist der zentrale Teil eines Telekommunikationsnetzes.
[14] Bspw. Telefone, Faxgeräte und Modems.

2.2.9 Die Rolle von IKT beim Energieverbrauch und Energieeffizienz

EMPA (2009): *The Role of ICT in Energy Consumption and Energy Efficiency*			
Studienfokus:	Die Studie analysiert die Entwicklung des Eigenverbrauchs von IKT und das Potenzial, die Energieeffizienz in mehreren Wirtschaftssektoren durch IKT zu verbessern.		
	#PotenzialIKT #ForschungIKT #EmissionenIKT #AnwendungenIKT #ResearchICT		
Autoren:	Lorenz M. Hilty	Vlad Constantin Coroama	
	Thomas F. Ruddy	Esther Thiébaud (-Müller)	
Ausführendes Institut[15]:	EMPA - Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Schweiz	Veröffentlichung:	01/2009
Anteil CO_2-Emission: 2 % der CO_2-Emissionen durch IKT in 2009 weltweit		**Prognose:** 7,8 GT (15 %) CO_2-Emissionseinsparung bis 2020 (zu 2008) durch Effizienzmaßnahmen in Datenzentren	



Kurzzusammenfassung

Auch wenn IKT derzeit nur für einen kleinen Teil der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (2 Prozent), wird in diesem Bereich ein rasantes Wachstum erwartet, weshalb IKT als CO_2-Emissionsquelle zunehmend an Bedeutung gewinnt. Gleichzeitig steigen auch die Erwartungen, dass IKT in anderen Einsatzgebieten die Energieeffizienz erhöhen kann. Die Studie geht dabei auf einige Anwendungsfelder wie TV-Geräte und „Set-Top-Boxen“ ein und trifft Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs.
Die Studie liefert Abschätzungen des aktuellen IKT-Stromverbrauchs und prognostiziert zukünftige Entwicklungen des Energiekonsums sowie durch IKT hervorgerufene Energieeffizienzpotenziale. Dazu ist dem Business-as-Usual-Szenario ein energieoptimistisches Szenario gegenübergestellt. Darüber hinaus sind nationale und internationale Forschungsprogramme aufgelistet, die sich mit der Erforschung von IKT-bedingten Stromverbräuchen und deren Auswirkungen befassen.

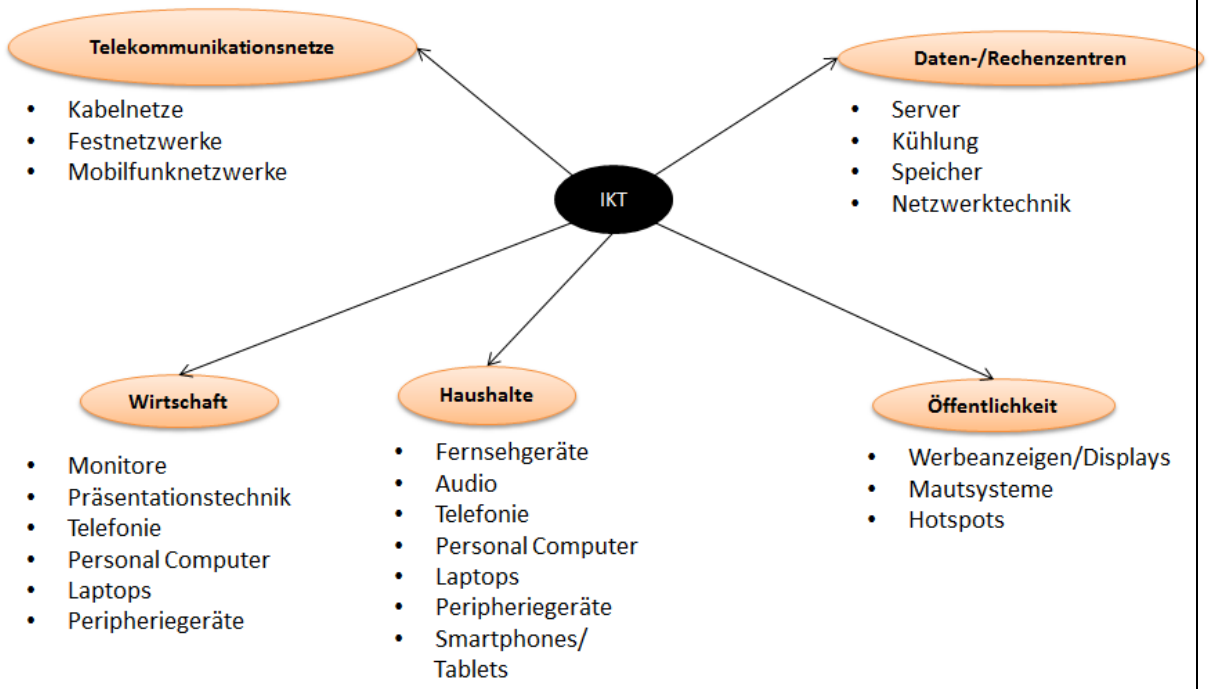
[15] Zur Studie konnte ein Auftraggeber nicht direkt ermittelt werden.

Kernaussagen
Das Potenzial von IKT für mehr Energieeffizienz in der Wirtschaft wird von Experten in den Sektoren Gebäude, Passagier- sowie Gütertransport und Logistik als besonders relevant eingestuft. Für die Bereiche intelligente Stromnetze und Straßenbeleuchtung werden ebenfalls hohe Potenziale gesehen. Die Effizienzgewinne in den Bereichen chemische Prozessindustrie, diskrete Fertigungstechnik, virtuelle Meetings und Echtzeit-Energie-Feedback werden ebenfalls als bedeutsam eingeschätzt – jedoch mit vergleichsweise eher geringerem Potenzial. Bei der Aussagekraft von Effizienzpotenzialen durch IKT im Allgemeinen besteht nach Auffassung der Autoren der Studie ein grundsätzliches Zuweisungsproblem, um deren expliziten Beitrag zur Energieeinsparung zu ermitteln. So kann ein Mix aus vielen Maßnahmen durch den Einsatz von IKT Synergieeffekte hervorrufen, jedoch können Effizienzgewinne nur in Verbindung mit anderen Maßnahmen gehoben werden (z. B. Verwendung von erneuerbaren Energien für den Betrieb von IKT sowie die Substitution mit energieeffizienteren IKT-Anwendungen oder die Verknüpfung von Fahrzeugflotten mit IKT im Logistikbereich, um Leerfahrten zu vermeiden). Die Autoren sehen in Studien eine größere Aussagekraft, die explizit den Stromverbrauch von IKT-Komponenten beurteilen als in Studien, die übergeordnet „Effizienzsteigerungspotenziale“ versuchen zu bewerten.
Handlungsempfehlungen aus der Studie
Verbesserungen für die Datengrundlage im Energieverbrauch: – Vereinheitlichte Mess- und Teststandards einführen. – Zusammenbringen der Expertise von IKT und Energieversorgern zum Messen und Auswerten der Verbrauchsdaten. – Mehr Transparenz über Energieverbräuche auf dem Geräte- und Servicelevel einführen. – Labeling-Konzepte für die Energieeffizienz von IKT-Produkten und Dienstleistungen entwickeln sowie ausweiten. – Geräte sollten über den typischen Energiekonsum in ihrem Lebenszyklus und in der Nutzungsphase informieren. – Systematisches Screening von IKT-Anwendungsfeldern für Hot Spots mit steigendem Energieverbrauch und unbenutzten IKT-induzierten Energieeffizienzpotenzialen aufbauen.

2.2.10 Einfluss von IKT auf die Energieeffizienz

BIO IS u. Fraunhofer IZM (2008): *Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency*			
Studienfokus:	Bestandsaufnahme des Stromverbrauchs von IKT und Trendanalyse für die EU.		
	#ÖkologischerFußabdruckIKT #EURegulierungIKT #DematerialisierungIT #IKTDigitalisierungEnergie		
Autoren:	Eric Labouze: E-Mail: eric.labouze@biois.com	Sanaée Iyama: E-Mail: sanaee.iyama@biois.com	
	Cécile des Abbayes: E-Mail: cecile.desabbayes@biois.com	Adrien Beton: E-Mail: Adrien.beton@biois.com	
Ausführendes Institut:	Bio Intelligence Services Frankreich, European Business Council for Sustainable Energy München, Fraunhofer IZM Berlin	Veröffentlichung:	09/2008
Auftraggeber:	Europäische Kommission DG INFSO		

Energieverbrauch:	**Prognose:**	**Prognose:**	**Potenzial:**
216 TWh durch IKT 2005 in EU-27	433,1 TWh durch IKT 2020 in EU-27 *BAU*	304,7 TWh durch IKT 2020 in EU-27 *eco*	44,4 % Einsparpotenzial *HVAC* bis 2020 in EU-27



Kurzzusammenfassung

Für die Realisierung des 2020-Ziels zur Steigerung der Energieeffizienz um 20 Prozent innerhalb Europas werden Informations- und Kommunikationstechnologien eine entscheidende Rolle zugesprochen. IKT helfen demnach, die Energieintensität zu reduzieren und die Energieeffizienz in der EU-Wirtschaft im Allgemeinen zu steigern. In diesem

Kontext beleuchtet die Studie die Auswirkungen der IKT auf die Energieeffizienz in Europa in einem 2005–2020-Ausblick mittels zweier Szenarien bezogen auf das Gebiet der EU-25 und EU-27.[16] Die Studie analysiert sowohl den ökologischen Fußabdruck des IKT-Sektors an sich, als auch die Auswirkungen der Nutzung von IKT zur Unterstützung höherer Energieeffizienz und Energieeinsparungen in anderen Bereichen (Bau, Industrie, Energie).
Dahingehend werden IKT-Anwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz im Niedrig-Energie-Bau und in der Industrie bzw. bei der Automatisierung sowie in den Energienetzen (Übertragung und Verteilung) untersucht. Außerdem wird ein Ausblick auf die Dematerialisierung der Gesellschaft durch energieeffiziente IKT geboten.

Kernaussagen

Die Untersuchung zeigt, dass der gesamte Elektrizitätskonsum der EU-25 bezogen auf die IKT-Endverbraucherausrüstung und IKT-Infrastruktur 214,5 TWh für das Referenzjahr 2005 beträgt. Im *Business-as-Usual*-Szenario (*BAU*) wird der Stromverbrauch auf ca. 410 TWh im Jahr 2020 ansteigen und im *eco*-Szenario auf 288 TWh. In dem eco-Szenario wird ein markt- oder technologiebasierter „push“ für IKT-basierte Energieeffizienzlösungen angenommen. Für die EU-27 wird folgendes Ergebnis erwartet: Im Referenzjahr 2005 liegt der Stromverbrauch bei 216 TWh. Bei einem *Business-as-Usual*-Szenario werden für das Jahr 2020 433 TWh prognostiziert. In einem durch grüne IKT geprägten Markt werden rund 305 TWh für den EU-27-Raum prognostiziert. Das größte Energieeinsparpotenzial wird für das Jahr 2020 im *HVAC* (Heizungsventilation und *Air Conditioning*) und „Licht-Wohnbereich Öko“ mit 1.767 TWh kalkuliert.

Handlungsempfehlungen aus der Studie

Die Studie spricht folgende Empfehlungen aus:

- Verbesserung und Monitoring statistischer Daten, regulatorische Überwachung sowie Weiterentwicklung von Informationen, *Guidelines* und Technologie.
- Einführung von Mindeststandards für Stromverbräuche von IKT.
- Einführung einer öffentlichen Auftragsvergabe durch die EU nach ökologischen Standards.
- Steigerung der Kundennachfrage nach innovativer IKT.
- Erhöhung der Bereitschaft von Zulieferern innovative IKT anzubieten.
- Finanzielle Subventionen zur Förderung ökologischer Produkte.
- Steuerliche Vergünstigungen und Unterstützung der Halbleiter-Industrie.

[16] Zur Veröffentlichung der Studie im Jahr 2008 war die EU auf 25 Mitgliedstaaten begrenzt. Bulgarien und Rumänien wurden im Jahr 2013 in die EU aufgenommen, weshalb schon vorab der IKT-bedingte Energieverbrauch analysiert und zum Vergleich für die zukünftige Prognose herangezogen wurde.

3 Zusammenfassung der Kernaussagen betrachteter Studien

Im Folgenden werden die einzelnen Kernaussagen der Studien für eine direkte Vergleichbarkeit zusammengefasst. Kategorisch sind die in den untersuchten Studien getätigten Kernaussagen in

- 3.1 „Globale bis nationale Betrachtungen zu IKT“
  - 3.1.1 „Stromverbrauch IKT weltweit“,
  - 3.1.2 „Stromverbrauch IKT EU“,
  - 3.1.3 „Stromverbrauch IKT Deutschland“,
- 3.2 „Globale und nationale Betrachtungen zu Datenzentren/*Cloud*“
  - 3.2.1 „Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* weltweit“,
  - 3.2.2 „Stromverbrauch Datenzentren/*Cloud* Deutschland“,
- 3.3 „Europäische und nationale Betrachtungen zu Haushalte und Wirtschaft“
  - 3.3.1 „Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft EU“,
  - 3.3.2 „Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Deutschland“,
- 3.4 „Globale Betrachtung zum Stromverbrauch des Internet“

zusammengefasst.[17]

Die Kernaussagen sind durch prägnante Zitate aus den analysierten Studien akzentuiert. Außerdem sind Gemeinsamkeiten und widersprüchliche Aussagen verdeutlicht. Bei vorhandenen Daten zu Stromverbräuchen auf weltweiter, europäischer und deutscher Ebene sind grafische Darstellungen in einem Energie-Zeit-Diagramm indikativ aufgezeigt.[18]

3.1 Globale bis nationale Betrachtungen zu IKT

Im Folgenden werden die Energieverbräuche von IKT, die in einzelnen analysierten Studien genannt wurden (wie Anfangs in Kapitel 1.2 in seiner Gesamtheit kategorisiert), in einzelnen geopolitischen Zusammenschlüssen miteinander verglichen. Begonnen wird nachfolgend mit einem weltweiten Gesamtüberblick in 3.1.1.

[17] Die Daten der Studien fokussieren sich hauptsächlich auf den elektrischen Energieverbrauch während der Nutzungsphase. In den Studien der Steckbriefe 6, 7 und 9 wird der Bezug zu thermischer Energie bei der Energieerzeugung sowie während der Nutzung zur Verwendung für Kühlung erwähnt und nicht explizit ausgeklammert.

[18] Um eine Vergleichbarkeit der in den Studien verwendeten Daten in Diagrammen zu ermöglichen, werden entsprechende Einschränkungen bei den in den Studien berücksichtigten Daten vermerkt. Die Darstellungen sind lediglich als Indikationen zu verstehen.

3.1.1 Stromverbrauch IKT weltweit

Für den weltweiten Stromverbrauch durch den Einsatz von IKT wurde aus vorhandenen Daten der einzelnen Studien die folgende Übersicht erstellt.[19]

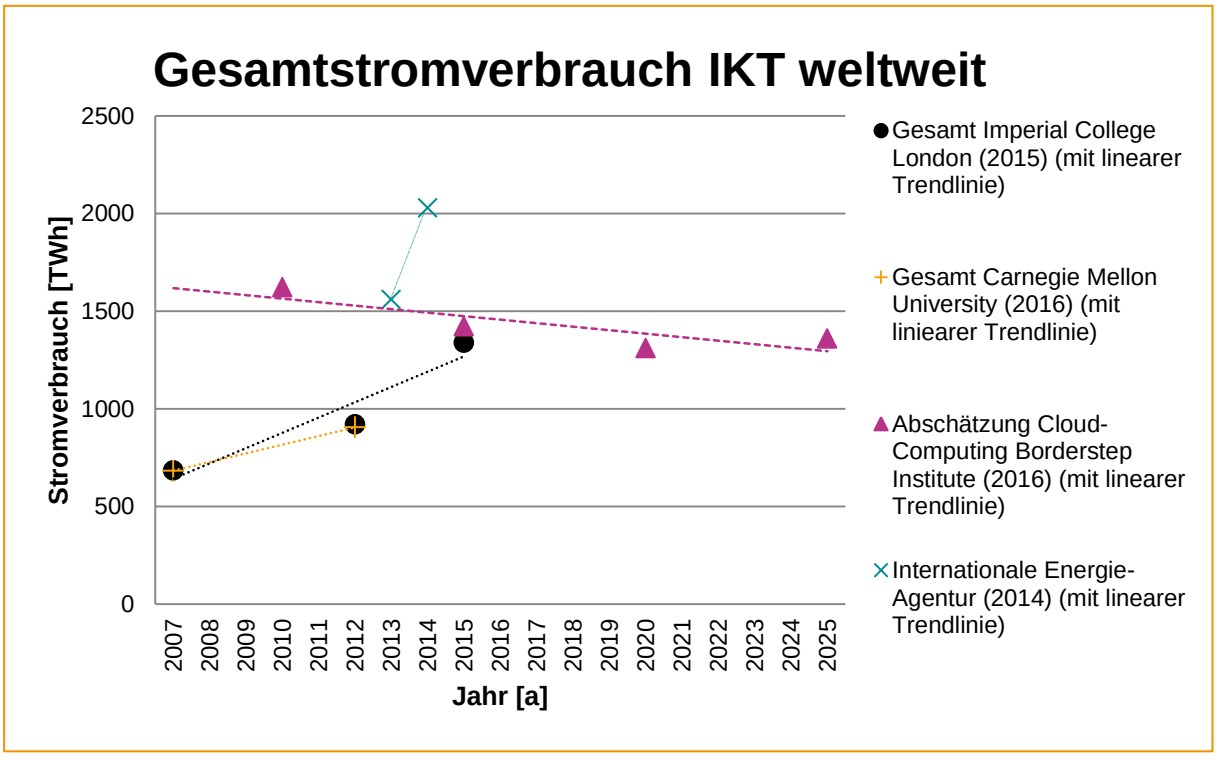


Abb. 2: Gesamtstromverbrauch IKT weltweit

Die Autoren der Studien der *Carnegie Mellon University* (Steckbrief 2) und des *Imperial Colleges* (Steckbrief 6) sind sich darin einig, dass der Stromverbrauch des IKT-Sektors weltweit steigen wird. Die beiden Studien gehen dabei von ähnlichen Werten für 2007 (684 TWh / 685,5 TWh) und 2012 (920 TWh / 905 TWh) rückblickend aus. Prognosedaten für den Zeitraum nach Veröffentlichung liegen nicht in den Studien vor.

Die Autoren der Studie des Borderstep Instituts (Steckbrief 3) gehen bei einer Abschätzung des weltweiten Energiebedarfs für Cloud-Computing davon aus, dass der Verbrauch hierfür zunächst gesunken ist, jedoch in Zukunft weiter ansteigen wird.[20] Da hier nur Cloud-Computing betrachtet wird, müsste der Gesamtstromverbrauch für IKT noch oberhalb der in Abb. 2 dargestellten Werte liegen.

Die Studie des Imperial Colleges weist für die Jahre 2007 und 2012 ein geringes Wachstum auf und sieht für 2015 eine wesentliche Steigerung. Die Werte des Imperial Colleges und des Borderstep Instituts befinden sich für 2015 in einem ähnlichen Wertebereich (1.316 TWh und 1.442,5 TWh). Durch die bessere Datengrundlage und Aktualität der Studie des Borderstep Instituts kann grob angenommen werden, dass sich der weltweite Energieverbrauch von IKT zwischen diesem Verlauf und dem Trend des *Imperial College London* zwischen 2017 und 2025 entwickeln wird.

[19] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.
[20] Das Absinken wird hier vor allem mit dem gesunkenen Energieverbrauch von Fernsehgeräten begründet, die hier u.a. wegen der zunehmenden Bedeutung von Streaming-Anwendungen zu Cloud-Computing gezählt wird.

Bei den genannten Zahlen aus *Imperial College London*(2015) ist anzumerken, dass in *Ghent University* (2014) ebenfalls auf die IKT-bedingten Energieverbräuche von 4 Prozent (bzw. 3,9 Prozent) für das Jahr 2007 und 4,7 Prozent für das Jahr 2012 im Verhältnis zum gesamten Weltstromverbrauch verwiesen wird, ohne eine nachvollziehbare Aufschlüsselung zu geben. Die 920 TWh für das Jahr 2012 aus *Imperial College London* (2015) wurden hingegen nach Kommunikationsnetzwerken, *Personal Computer* und Datenzentren aufgeschlüsselt.

Mit Gegenüberstellung der eingangs in Kapitel 1.2 definierten Kategorien zu IKT, die den Studiensteckbriefen zugeordnet wurden, sollen die Unterschiede aufgeschlüsselt werden. Hieraus ist anzunehmen, dass sich die verschiedenen Stromverbrauchswerte ergründen.

Der Vergleich von *Carnegie Mellon University* (2016) und *Imperial College London*(2015) zeigt den Unterschied, dass nach *Imperial College London*(2015) IKT die Kategorien Kühlung, Telefonie und Audio zusätzlich in die Untersuchung einfließen. Nach Betrachtung in Abbildung 2 zwischen 2007 und 2012 hat dies jedoch keine Auswirkung, da die Verläufe in dem Zeitabschnitt quasi übereinander liegen.

In *Borderstep Institut* (2016) finden sich zumindest die gleichen IKT-Kategorien wie *Carnegie Mellon University* (2016) – dann müssten auch hier die Stromverbräuche nach Abbildung 2 übereinander liegen. Eine tiefergehende Analyse der verwendeten Quellen in den Studien zeigt auf: Die Autoren von *Carnegie Mellon University* und *Imperial College London* beziehen sich auf die gleiche Studie von Autoren der *Ghent University* (2014). In dieser Studie werden hingegen 909 TWh für den gesamten IKT-Stromverbrauch in 2012 berechnet und nicht 905 oder 920 TWh, wie in den Studien-Steckbriefen recherchiert. Autoren des Borderstep Instituts haben in ihrer Studie aus dem Jahr 2016 auf einen vorherigen Bericht des Borderstep Instituts verwiesen, wo eine Veröffentlichung der *Ghent University* (2012) Verwendung fand. Jedoch wurde im Bericht aus dem Jahr 2016 weder diese noch ein aktualisierte Quelle der *Ghent University* verwendet.[21]

Die Internationale Energieagentur (IEA 2014) kommt im Vergleich auf einen IKT-bedingten globalen Stromverbrauch von 1.560 TWh für das Jahr 2013 und hatte für 2014 einen 30-prozentigen Anstieg auf 2.028 TWh prognostiziert. Begründet wurde dieser Anstieg durch den wachsenden Markt für Online-Dienstleistungen und das damit einhergehende steigende Datenverkehrsvolumen. Der IEA zufolge gehören netzwerkermöglichende Geräte sowie die komplette Netzwerkinfrastruktur zu Informations- und Kommunikationstechnologien und erweitern somit die Systemgrenze.

Inzwischen können auch Daten von Indien vorgelegt werden, um die Entwicklung in einem Schwellenland mit zu verfolgen: In Indien ist ein Anstieg von 24 TWh (2009) auf 31 TWh (2014) für IKT zu verzeichnen (nach *Imperial College London 2015)*.

Nachfolgend sind einige ausgewählte Aussagen zur generellen Entwicklung des Energiekonsums durch IKT aus den Steckbriefen für einen direkten Vergleich aufgelistet:

- *EMPA* (2009): Bei der Aussagekraft über Effizienzpotenziale von IKT besteht ein grundsätzliches Zuweisungsproblem, um deren expliziten Beitrag zu ermitteln – es besteht ein Mix aus vielen Maßnahmen, wobei IKT der *Enabler* sein könnte, aber Effizienzgewinne nur in Verbindung mit anderen Maßnahmen erbracht werden.

[21] Der Anspruch dieser Meta-Studie besteht nicht darin, bis ins Detail aufzuschlüsseln, weshalb welche Daten vorliegen, sondern wo Unterschiede bestehen und welche Konsequenzen daraus im Fazit und den Handlungsempfehlungen gezogen werden.

- *Borderstep Institut* (2016): Durch kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen und die Entwicklung im IKT-Bereich entstehen Dynamiken, die Vorhersagen für zehn Jahre in die Zukunft mit großer Streubreite behaften. So können Energieverbräuche individueller Produktgruppen von −10 Prozent bis +40 Prozent schwanken.
- *Imperial College London (2015)*: Aufgrund des steigenden Anteils von IKT wird eine Entlastung anderer Sektoren durch effiziente, automatisierte Abläufe ermöglicht und somit eine realistische Einsparung von CO_2-Emissionen in Höhe von 4 GT weltweit für das Jahr 2030 prognostiziert.
- *Carnegie Mellon University, 2016*: Es kann nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass die Verlagerung von Dienstleistungen, was durch IKT-Anwendungen ermöglicht wird, weniger energieintensiv ist, als bei herkömmlichen Dienstleistungen zu bleiben.

Beim Vergleich der Studien *Carnegie Mellon University* (2016), *Borderstep Instituts* (2016), *EMPA* (2014), *IEA* (2014) oder *Capgemini Consulting* (2015) zeigt sich, dass die Ergebnisse zu Stromverbräuchen im IKT-Bereich voneinander abweichen. Die Abweichungen hängen zum einen vom Untersuchungsumfeld und zum anderen vom jeweilig angenommenen technologischen Fortschritt (einzelner Industrien oder Unternehmen in einer Branche) ab. Dies führt zu dem Ergebnis, dass der Quervergleich der Analysen nur bedingt möglich ist.

3.1.2 Stromverbrauch IKT EU

Der europäische Überblick zu Stromverbräuchen des gesamten IKT-Spektrums wird in diesem Kapitel aufgezeigt. Hierzu wird der in der Studie des *Fraunhofer IZM /BIOIS* (2008, Steckbrief 10) prognostizierte IKT-Gesamtverbrauch für Europa in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Dabei gehen die hier betrachteten Prognosen von einen Anstieg des durch IKT-bedingten Stromverbrauchs im EU-25-Raum bis zum Jahr 2020 (vgl. Abb. 3).

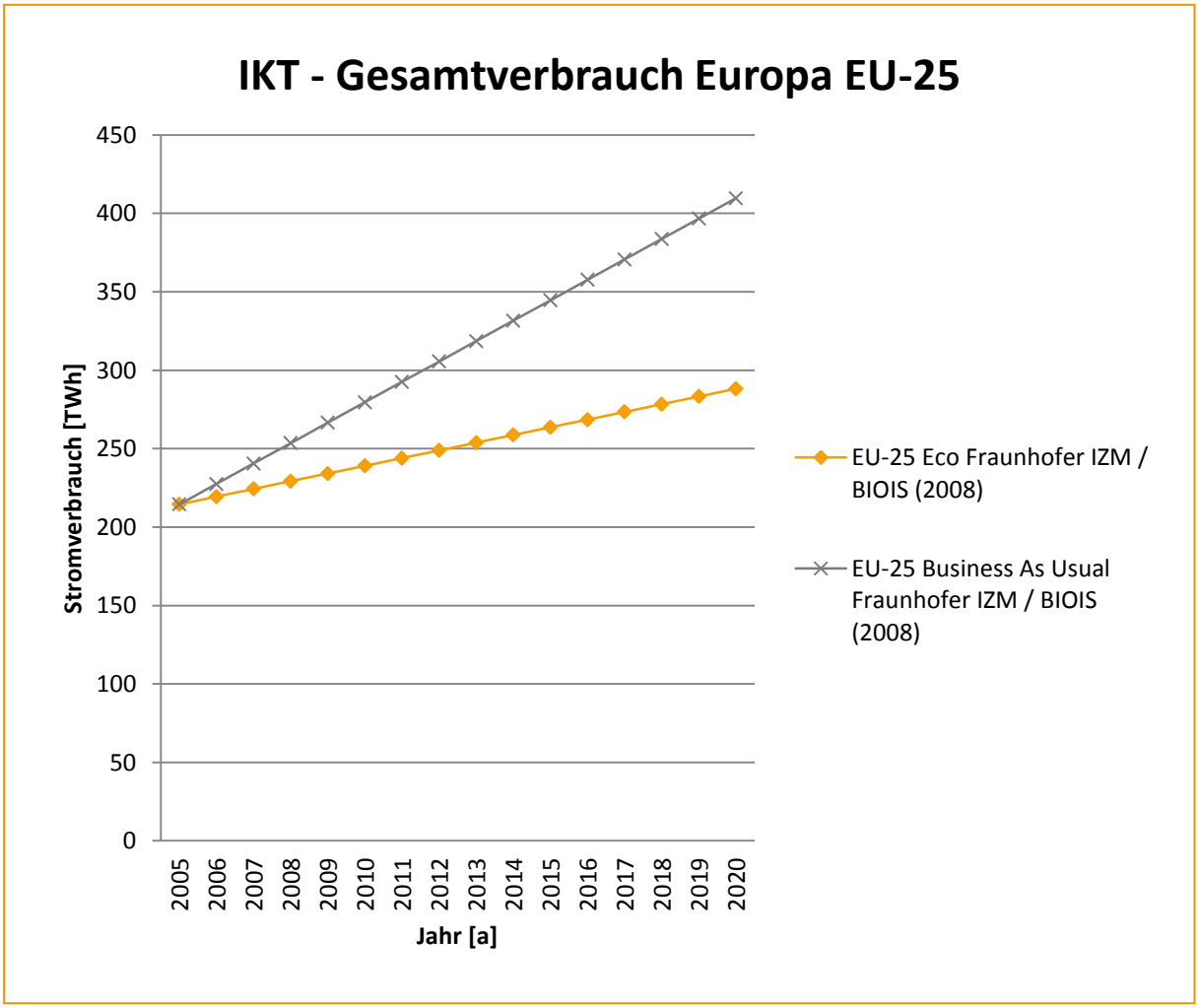


Abb. 3: IKT-Stromverbräuche Europa EU-25[22]

Fraunhofer IZM /BIOIS (2008) zeigt durch die Gegenüberstellung der Szenarien „*Business As Usual*“ und „*Eco*“ auf, wie der Stromverbrauch der IKT mit und ohne Effizienz-Maßnahmen weiter verlaufen könnten. Da die EU-25 zwischenzeitlich auf die EU-27 erweitert wurde, wird in der folgenden Abbildung 4 auf die Stromverbräuche im EU-27-Raum eingegangen.

[22] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.

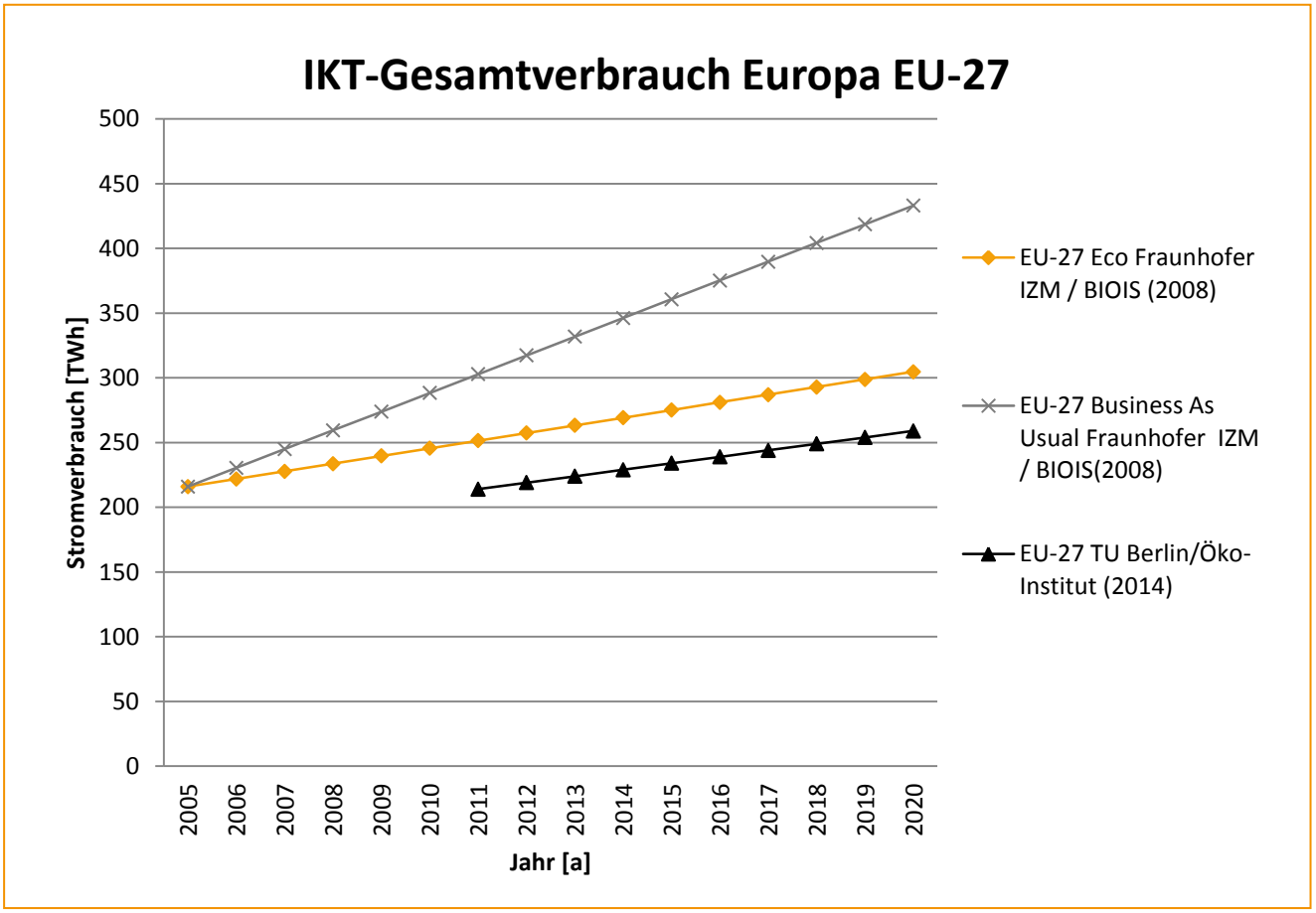


Abb. 4: IKT-Stromverbräuche Europa EU-27[23]

Die Prognosen aus *Fraunhofer IZM / BIOIS* (2008) zeigen jeweils einen Anstieg des durch IKT-bedingten Stromverbrauchs im EU-27-Raum. Beide Szenarien haben den gleichen Ausgangspunkt im Jahr 2005. Im Vergleich zu Abbildung 3 sind die Werte geringfügig größer, also nach oben durch die Aufnahme der Länder Bulgarien und Rumänien lediglich versetzt. Jedoch wird nach den Autoren erwartet, dass die IKT-Märkte sich in den beiden Staaten aufgrund von Nachholbedarfen wesentlich stärker entwickeln werden. Demnach sind Prognosen zu Marktanteilen[24] mit dem Basisjahr in 2005 mit 0,7 Prozent auf 1,4 Prozent in 2010 und 5,4 Prozent in 2020 zugrunde gelegt. In *Öko-Institut / TU-Berlin (2014)* (Steckbrief 7) wird eine parallele Entwicklung zum *eco*-Szenario aus *Fraunhofer IZM / BIOIS* (2008) gezeigt, wobei die Werte in einem ca. 17 Prozent niedrigerem Bereich verlaufen. Dies kann damit begründet werden, dass in der jüngeren Veröffentlichung mehrere parallel verlaufende Entwicklungen inzwischen einen anderen Weg eingeschlagen haben als noch in der älteren Veröffentlichung. So ist ein Rückgang in den Verkäufen von Servern zwischen 2009 und 2013 zu verbuchen und deren Effizienz als auch Speicher-Equipment haben sich maßgeblich gesteigert. Mit dem Vergleich der nach uns definierten Gruppierung von IKT-Hauptkategorien ist die Hauptkategorie „Öffentlichkeit“ nicht Teil der Untersuchung von *Öko-Institut / TU-Berlin* (2014) und somit auch in einem niedrigeren Bereich. Die nachfolgenden Zitate aus den Studien geben detailliertere Informationen zum prognostizierten IKT-bedingten Stromverbrauch im europäischen Raum:

[23] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.
[24] Nach Fraunhofer IZM / *BIOSIS* (2008) steigt der Stromverbrauch proportional zum Marktanteil.

- *Capgemini Consulting* (2015): Je nach verwendetem Prognosemodell wird ein deutlicher Anstieg des IKT-bedingten Stromverbrauchs in den kommenden Jahren in Frankreich erwartet (2020 zwischen 766 GWh und 992 GWh; 2030 zwischen 996 GWh und 3.410 GWh).
- *Öko-Institut, (2014)*: Der Energieverbrauch in der Telekommunikation, in Rechenzentren und in der Gebäudeversorgung steigt in der Zeit von 2011 bis 2020 insgesamt von 214 TWh auf 259 TWh in der EU-27 (ohne Fabrikherstellungsprozesse).
- *Fraunhofer IZM / BIOIS (2008)*: Für die EU 27 kam folgendes Ergebnis zustande: Im Referenzjahr 2005 liegt der Stromverbrauch bei 216,0 TWh, bei einem Business-as-Usual-Szenario werden für das Jahr 2020 433,1 TWh prognostiziert und in einem durch grüne IKT geprägten Markt lediglich 304,7 TWh.

Es zeigt sich, dass die Prognosen zur Entwicklung der Stromverbräuche für Europa untereinander einen ähnlichen steigenden Verlauf annehmen. Die variierenden Wachstumsraten sind zumeist auf unterschiedliche Annahmen für ihre Szenarien zurückzuführen. Neben den unterschiedlich definierten Untersuchungsgegenständen spielt ebenfalls der Zeitpunkt der Veröffentlichung eine Rolle, da neue Erkenntnisse und Entwicklungen in neueren Studien mit einfließen.

3.1.3 Stromverbrauch IKT Deutschland

In diesem Kapitel wird ein Überblick zu Stromverbräuchen des gesamten IKT-Spektrums in Deutschland gegeben.

Die untersuchten Studien weisen für den gesamten IKT-Verbrauch den gleichen Ausgangspunkt (56 TWh in 2010) auf und führen zu einer ähnlichen Entwicklung über die Jahre: Der IKT-bedingte Stromverbrauch ist in den letzten Jahren gesunken und wird mit unterschiedlichem Ausmaß nach deren Prognose weiter sinken. Dies kann dadurch begründet werden, dass Effizienz-Maßnahmen in Deutschland wesentlich schneller umgesetzt werden als auf europäischer - oder globaler Ebene – auch wenn IKT-Anwendungen parallel einen Zuwachs an Energieverbräuchen aufgrund der größeren Anwendungshäufigkeit verzeichnen. Unter IKT werden im nationalen Vergleich Datenzentren, Endnutzergeräte, Netzwerke und Smartphones zusammengefasst. Damit werden die zuvor definierten Hauptkategorien „Öffentlichkeit“ und „Gebäudeautomation“ nicht berücksichtigt. Als Konsequenz kann angenommen werden, dass der eigentliche Gesamtverbrauch an IKT in Deutschland über den Verlauf höher liegt als in Abbildung 5 dargestellt. In dieser sind die Daten für den IKT-Gesamtverbrauch in Deutschland vergleichend visualisiert.

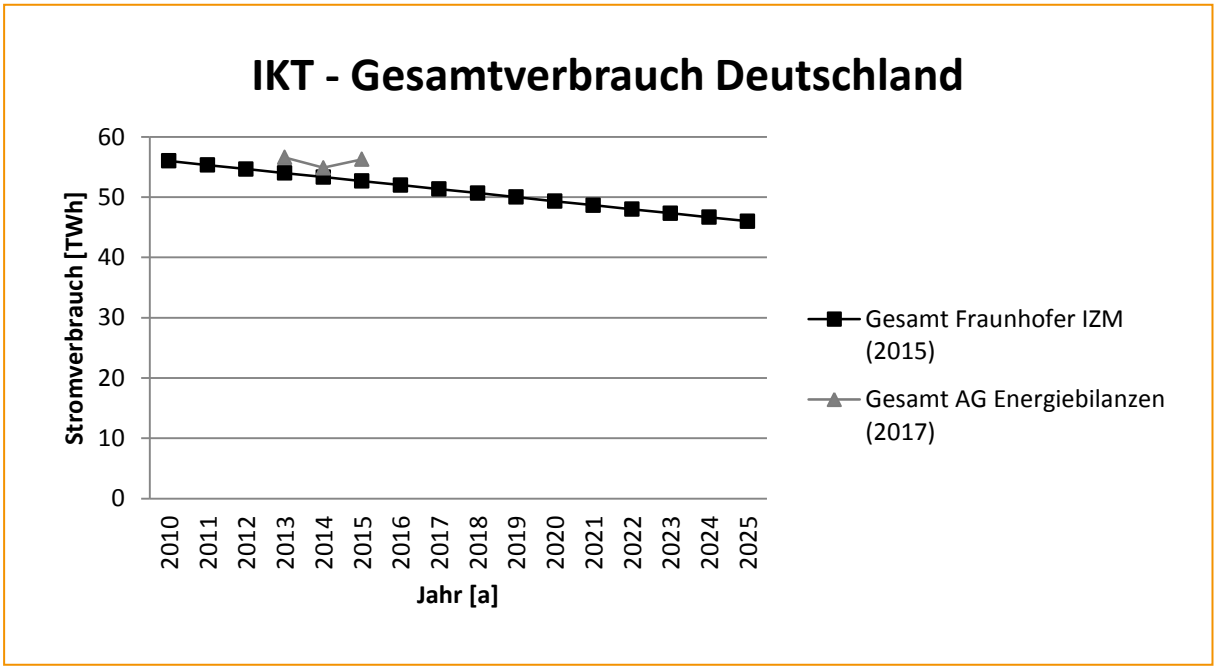


Abb. 5: IKT-Stromverbräuche Deutschland[25]

Weitere Aussagen aus den Studien mit Bezug zur Entwicklung des IKT-Energieverbrauchs in Deutschland sind:

- *Fraunhofer IZM* (2015): Der IKT-bedingte Stromverbrauch im Jahr 2010 beträgt 56 TWh und wird bis 2025 auf 46 TWh absinken (−17,9 Prozent).

Wenn man vergleichend Daten der AG Energiebilanzen[26] hinzuzieht, ist dort insgesamt eher eine leichte Stagnation zu sehen. Für das Jahr 2013 liegen ca. 57,6 TWh, für 2014 ca. 54,9 TWh und das Jahr 2015 ca. 56,0 TWh vor. Diese Werte ergeben sich aus der Summe der Sektoren Industrie, Haushalte sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)[27]:

- Industrie: 9,14 TWh (2013), 9,33 TWh (2014), 9,31 TWh (2015)
- GHD: 24,67 TWh (2013), 23,36 TWh (2014), 24,39 TWh (2015)
- Haushalte: 22,78 TWh (2013), 22,19 TWh (2014), 22,58 TWh (2015)

Demnach steigt der IKT-bedingte Energieverbrauch der Industrie geringfügig von 9,14 TWh in 2013 auf 9,33 TWh in 2014 an und stagniert seitdem ungefähr auf diesem Niveau. Sowohl im GHD- als auch Haushaltssektor liegt 2014 eine leichte Absenkung des Stromverbrauchs vor, worauf 2015 der Verbrauch nahezu wieder auf das Niveau von 2013 steigt.

Auffällig ist, dass für Europa und global betrachtet eine Steigerung der Energieverbräuche erwartet wird, in Deutschland jedoch von einer Senkung des Energieverbrauchs ausgegangen werden kann. Im europäischen und weltweiten Vergleich ist Deutschland als hochindustrialisiertes Land mit hoher Exportausrichtung auf

[25] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.
[26] Vgl. AG Energiebilanzen (2017).
[27] Diese wurden von Petajoule in Terrawattstunden umgerechnet. Direkte Werte, nicht durch Umrechnungen mit Rundungen behaftet, liegen bei aktuellem Stand nicht vor.

High-Tech angewiesen, was sich ebenfalls in der Marktverbreitung effizienter Anwendungen in vielen Sektoren widerspiegelt. Somit liegt der sparsame Umgang mit Energie in der Priorität langfristig geplanter Nutzung von IKT-Anwendungen höher als bei Entscheidungsträgern aus bspw. Regionen, die reich an Energieträgern sind.

3.2 Globale bis nationale Betrachtungen zu Datenzentren/ *Cloud*

Im Folgenden werden die Energieverbräuche der Hauptkategorie Daten-/Rechenzentren (zunehmend für Cloud-Anwendungen genutzt) in einzelnen geopolitischen Zusammenschlüssen miteinander verglichen. Begonnen wird nachfolgend mit einem weltweiten Gesamtüberblick in 3.2.1.

3.2.1 Stromverbrauch Datenzentren/ *Cloud* weltweit

Für den weltweiten Stromverbrauch bedingt durch Datenzentren wurde aus den vorhandenen Daten der einzelnen Studien eine Übersicht in Abbildung 6 erstellt.

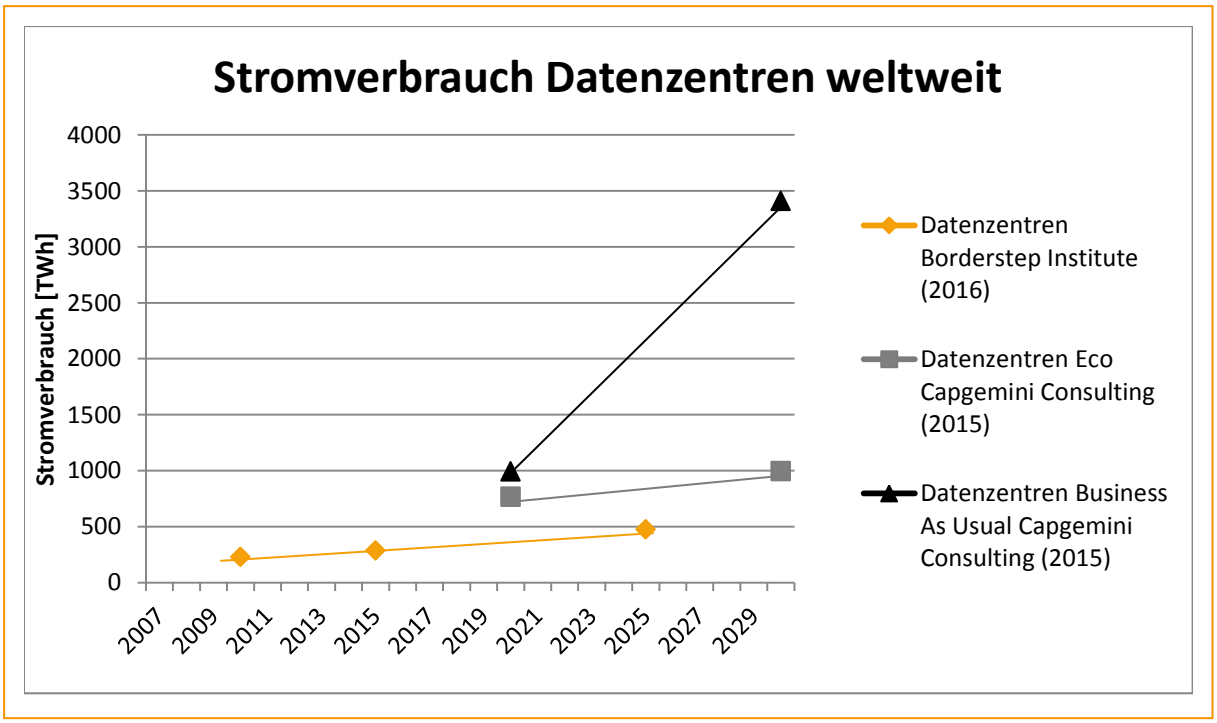


Abb. 6: IKT-Stromverbrauch Datenzentren weltweit[28]

Demnach steigt der weltweite Stromverbrauch von Datenzentren in allen Szenarien der analysierten Studien an. Während in *Borderstep Institut* (2016) historische Daten von 2010 bis 2015 verwendet werden[29] und der weitere Veralauf abgeschätzt wird, betreibt *Capgemini Consulting* (2015) Prognosen für die Jahre 2020 bis 2030. In der Veröffentlichung *Borderstep Institut* (2017) wurden die Daten aus 2016[30] leicht korrigiert, verzeichnen jedoch weiterhin den gleichen Trend. Das *eco*-Szenario aus *Capgemini-Consulting* (2015) zeigt eine parallele Entwicklung zu den Ergebnissen des Borderstep Instituts – jedoch mit insgesamt höheren Verbräu-

[28] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.
[29] Basierend auf den Berechnungen in *Fraunhofer IZM (2015).*
[30] Vgl. Borderstep Institut (2016).

chen (Faktor 2). Im *Business-as-Usual*-Szenario zeigt *Capgemini-Consulting* (2015) einen wesentlich stärkeren Anstieg.

Weitere Aussagen aus den Studien mit Bezug zur Entwicklung des Energieverbrauchs von Datenzentren sind:

- *Borderstep Institut (2017):* Der weltweite IKT-bedingte Stromverbrauch von Datenzentren ist zwischen 2010 und 2015 um mehr als 28 Prozent angestiegen (von 223 TWh in 2010 auf 287 TWh in 2015).
- *Borderstep Institut (2017)*: 23 Prozent des weltweiten Energieverbrauchs von Rechenzentren fallen in Europa an, wovon Deutschland 25 Prozent, Großbritannien 22 Prozent und Frankreich 15 Prozent der Kapazitäten in Anspruch nehmen.
- *Borderstep Institut (2016):* Weltweit betrachtet wird für die Produktgruppen Datenzentren, Endnutzergeräte, Netzwerke und Smartphones für 2015 ein Energieverbrauch von 1.310,9 TWh genannt und für 2025 ein Verbrauch von 1.360,3 TWh prognostiziert. Dies entspricht einem prognostizierten Mehrverbrauch von weniger als 4 Prozent.
- *Borderstep Institut (2016):* Neue *Cloud*-Anwendungen verursachen zusätzlichen Ressourcenverbrauch und sind für 50 Prozent des „workloads“ in Datenzentren verantwortlich.
- *Carnegie Mellon University (2016):* In Datenzentren hat sich der Stromverbrauch zwischen 2000 und 2005 verdoppelt. Das Wachstum des Stromverbrauchs in Datenzentren betrug zwischen 2010 und 2014 hingegen lediglich 4 Prozent.
- *Borderstep Institut, 2016: Cloud Computing* wird nicht den Energieverbrauch insgesamt senken können, jedoch andere positive Effekte für neue Produkte, Märkte und Geschäftsmodelle hervorrufen.
- *Borderstep Institut, 2016:* Der IT-Hersteller Cisco schätzt, dass sich bis 2019 mehr als 80 Prozent des Datenzentren-Workload in *Cloud*-Datenzentren verschieben wird. Das entspricht einem Datenverkehrzuwachs von 8,6 Zettabyte (8,6 Milliarden Terabyte) zwischen 2014 und 2019.

Durch die stark ansteigenden zusätzlichen Kapazitäten von Datenzentren, wird trotz immer effizienterer IKT von einem weltweiten Anstieg der benötigten Strommengen ausgegangen.

Ein Grund hierfür ist, dass mit einer anhaltenden Digitalisierung von nahezu allen Lebensbereichen, auch weiterhin mit einer Zunahme der benötigten Rechen- und Speicherkapazität ausgegangen werden, die zudem verstärkt durch Datenzentren zur Verfügung gestellt wird.

Sogenannte Cloud-Dienstleistungen haben sich weit verbreitet und bilden mithin den größten stromverbrauchenden Bereich innerhalb der IKT mit bis zu zweistelligen Wachstumsprognosen. Dies spiegelt sich erkennbar im verbreiteten Fokus der Studien zu diesem Thema wider. Mit dem zunehmenden Nutzen von beispielsweise *Big-Data*-Anwendungen und der Chance für Entwicklungsländer, zu mehr Wachstum durch digitale Wirtschaftszweige zu kommen, ist der Ausbau von Datenzentren ein treibender Faktor der Entwicklung von Energieverbräuchen weltweit.

3.2.2 Stromverbrauch Datenzentren/ *Cloud* Deutschland

Die in den untersuchten Studien beschriebenen Entwicklungen zum Verbrauch von Datenzentren in Deutschland sind in Abbildung 7 dargestellt.

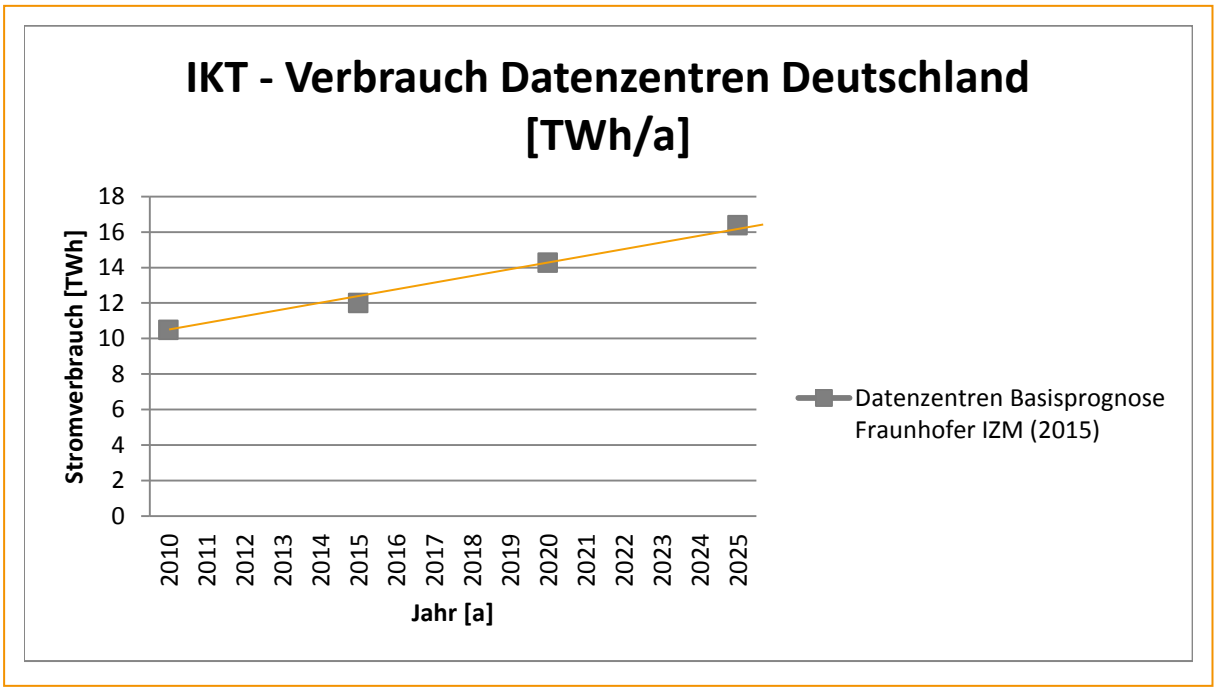


Abb. 7: IKT-Stromverbrauch Datenzentren Deutschland[31]

Borderstep Institut (2016,2017) basieren auf den Berechnungen aus Fraunhofer IZM (2015). Hier wird bei Datenzentren ein kontinuierlicher Zuwachs des Energieverbrauchs (siehe Abbildung 7) im Gegensatz zur Entwicklung des gesamten Stromverbrauchs durch IKT erwartet (siehe Abbildung 5). Demnach ist der Energieverbrauch von Servern in der Zeit von 2015 bis 2016 aufgrund des großen Ausbaus angestiegen. In derselben Zeit stieg der Energieverbrauch bei Speichersystemen stärker an.

Cloud-Dienste beanspruchen ca. ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs von Datenzentren in Deutschland und beanspruchten im Jahr 2016 zusätzlich 3 TWh für Kühlung und Klimatisierung. Weitere Aussagen aus den Steckbriefen sind für einen direkten Vergleich nachfolgend skizziert:

- *Fraunhofer IZM (2015):* Der Verbrauch der Telekommunikation (6,0 auf 8,6 TWh), Rechenzentren (12,0 auf 16,4 TWh) und Gebäudeversorgung steigt (1,5 auf 2,0 TWh) im Zeitraum 2015–2025
- *Fraunhofer IZM (2015):* Der Energiebedarf von Telekommunikation und Rechenzentren wird in Summe von 17 TWh im Jahr 2010 bis zum Jahr 2025 auf 25 TWh inDeutschlands ansteigen.

[31] Die zum Erstellen der Grafik verwendeten Daten sind im Anhang 6.2 in tabellarischer Form aufgelistet.

- *Borderstep Institut (2017):* Neben einem 4-prozentigen Anstieg des Energieverbrauchs von Servern im Zeitraum von 2015–2016, stieg der Verbrauch von Energie in derselben Zeit bei Speichersystemen mit 7 Prozent an. [32]
- *Borderstep Institut (2017):* In 2016 waren in Deutschland 2,3 Mio. Server mit ungefähr 4,5 TWh im Einsatz. Vergleichend dazu befanden sich in Österreich 210.000 Server mit einem Bedarf von 1,24 TWh und in der Schweiz 340.000 Server mit einem Bedarf von 2,25 TWh in Betrieb. Hieraus ergeben sich folgende spezifische Energieverbräuche: 1,96 MWh pro Server und Jahr in Deutschland, 5,90 MWh pro Server und Jahr in Österreich sowie 6,62 MWh pro Server und Jahr in der Schweiz.
- *Borderstep Institut (2016):* Bei der Betrachtung von Datenzentren allein ist ein Anstieg von 15 Prozent zwischen 2010 und 2015 zu verzeichnen (von 10,5 TWh auf 12 TWh).
- *Borderstep Institut* (*2016*): Der geminderte Energieverbrauch und eine Nutzungsverschiebung von energieintensiven „*Standalone*"-Endgeräten hin zu energieeffizienteren *Cloud*-basierten Geräten im Allgemeinen (−50 Prozent zwischen 2010 und 2020) werden dafür sorgen, dass sich die Einsparungen und der Mehrverbrauch durch Zuwachs der Ausnutzung von Datenzentren ungefähr die Waage halten bzw. leicht ansteigen.
- *Borderstep Institut (2016):* Der Energieverbrauch von Netzwerken und Datenzentren stieg in Deutschland um 89 Prozent bis 2010 und wird um weitere 56 Prozent bis 2025 wachsen.
- *Borderstep Institut (2016):* Für die Produktgruppen Datenzentren, Endnutzergeräte, Netzwerke und Smartphones ist der Energieverbrauch in Deutschland zwischen 2010 und 2015 von 50,8 TWh auf 44,1 TWh gesunken (−13,2 Prozent).

In Deutschland wird der Bedarf an Energie für den Einsatz von Rechenzentren - wie auch auf globaler Ebene - weiterhin ansteigen. Dies liegt vor allem daran, dass diese überproportional zur Effizienzsteigerung weiter ausgebaut werden und demnach in Summe mehr Energie benötigen.

[32] *Borderstep Institut (2016)* und *Borderstep Institut (2017)* basieren auf Berechnungen aus *Fraunhofer IZM (2015).*

3.3 Europäische und nationale Betrachtungen zu Haushalte und Wirtschaft[33]

Im Folgenden werden die Energieverbräuche von der Hauptkategorie Haushalt und Wirtschaft (hauptsächlich geprägt durch Endgeräte) in einzelnen geopolitischen Zusammenschlüssen miteinander verglichen[34]. Begonnen wird nachfolgend mit einem europäischen Gesamtüberblick in 3.3.1.

3.3.1 Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Europa

Auf europäischer Ebene wird im Haushalts- (124 TWh auf 123 TWh) und Wirtschafts-Bereich (17 TWh auf 16 TWh) ein leichter Rückgang der Stromverbräuche durch Endgeräte für die Zeit von 2011 bis 2020 in der EU27 nach Öko-Institut (Steckbrief 7) prognostiziert. Ein grafischer Verlauf dazu ist in Abbildung 8 aufgezeigt.

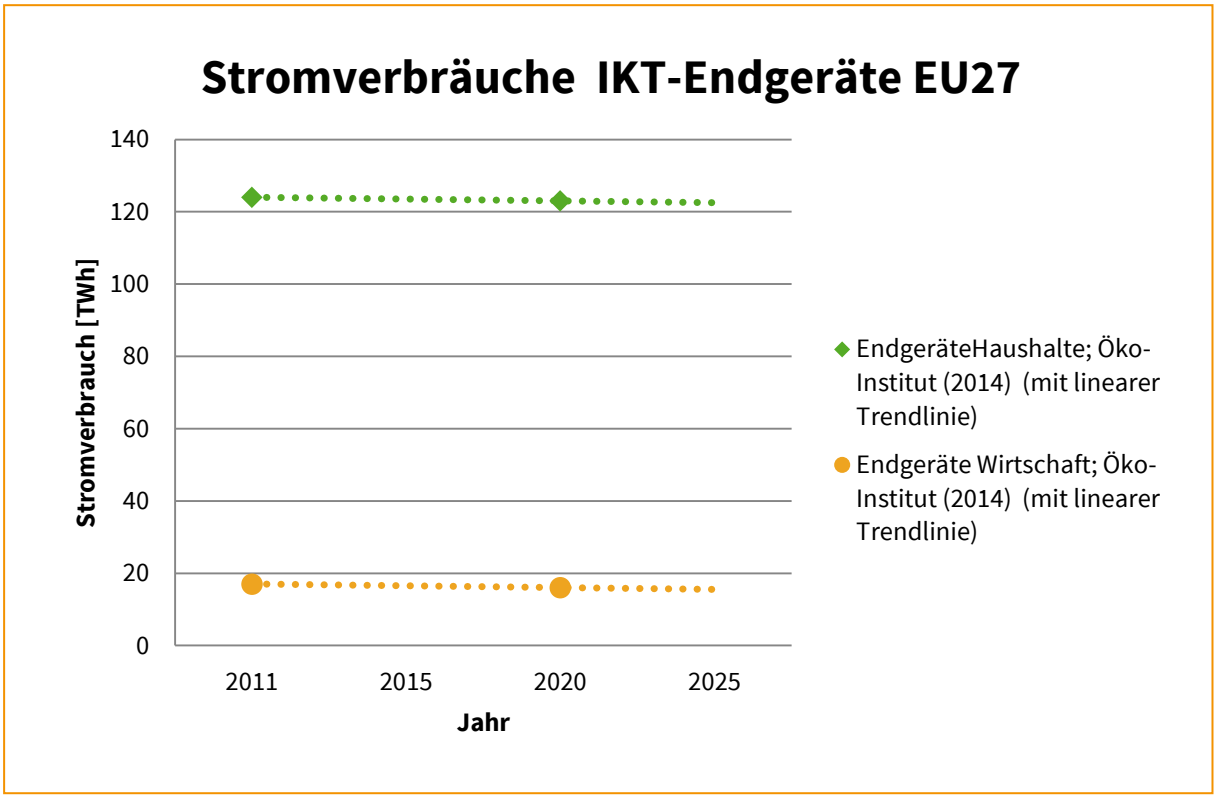


Abb. 8: Stromverbrauch von Endgeräten in der EU27

Die Verläufe zum Stromverbrauch in den Kategorien Haushalte und Wirtschaft lassen sich damit erklären, dass die Ausstattung von Endgeräten, die der IKT zugeordnet werden, bereits ein hohes Niveau erreicht haben. Nach Ende der Nutzungsdauer haben Neuanschaffungen i. d. R eine höhere Effizienz und somit verminderte Stromverbräuche, wodurch der geringfügige Rückgang für die Zukunft prognostiziert wird. Speziell

[33] Nach der anfangs geschilderten Kategorisierung in „Wirtschaft“ werden Bankautomaten und Kassensysteme nur in einer Studie erwähnt. Für die nachfolgende Analyse werden demzufolge keine expliziten Aussagen zu Stromverbräuchen unter der Betrachtung von Bankautomaten und Kassensystemen getroffen. Daher sind die nachgehend identifizierten Stromverbräuche zu „Wirtschaft“ auf die anderen gängigen Büro-Technologien zu verstehen.
[34] Auf globaler Ebene wurde in den Studien keine repräsentative Aufschlüsselung der IKT-Energieverbräuche nach Haushalten und Wirtschaft betrachtet.

wird dies hauptsächlich mit fortlaufenden Effizienzsteigerungen bei den Endgeräten Fernseher, Personal Computer und Notebooks begründet.

Für IKT-Endgeräte im privaten und betrieblichen (Wirtschaft) Bereich ist, trotz des unterschiedlichen Niveaus, mit einem Rückgang des Energieverbrauchs zu rechnen. Dies liegt daran, dass sich Ausstattung an Endgeräten zwischen Haushalten und betrieblichen Anwendungen angeglichen haben und kaum noch Unterschiede aufweisen.

3.3.2 Stromverbrauch Haushalte und Wirtschaft Deutschland

In Fraunhofer IZM (Steckbrief 4) wird bei in Deutschland befindlichen Haushalten ein stärkerer Rückgang mit höheren Anfangswerten in der Zeit von 2010–2025 als im Vergleich zur Wirtschaft verzeichnet: In Haushalten wird demnach der Energieverbrauch von 28,9 TWh (2010) über 21,2 TWh (2015) und 15,4 TWh (2020) auf 13,1 TWh (2025) sinken. Auch Büro-Anwendungen aus der Kategorie Wirtschaft werden einen sinkenden Energieverbrauch verzeichnen – nämlich von 9,6 TWh (2010) über 8,0 TWh (2015) und 6,4 TWh (2020) auf 5,5, TWh (2025). Ein grafischer Verlauf ist in Abbildung 9 aufgezeigt.

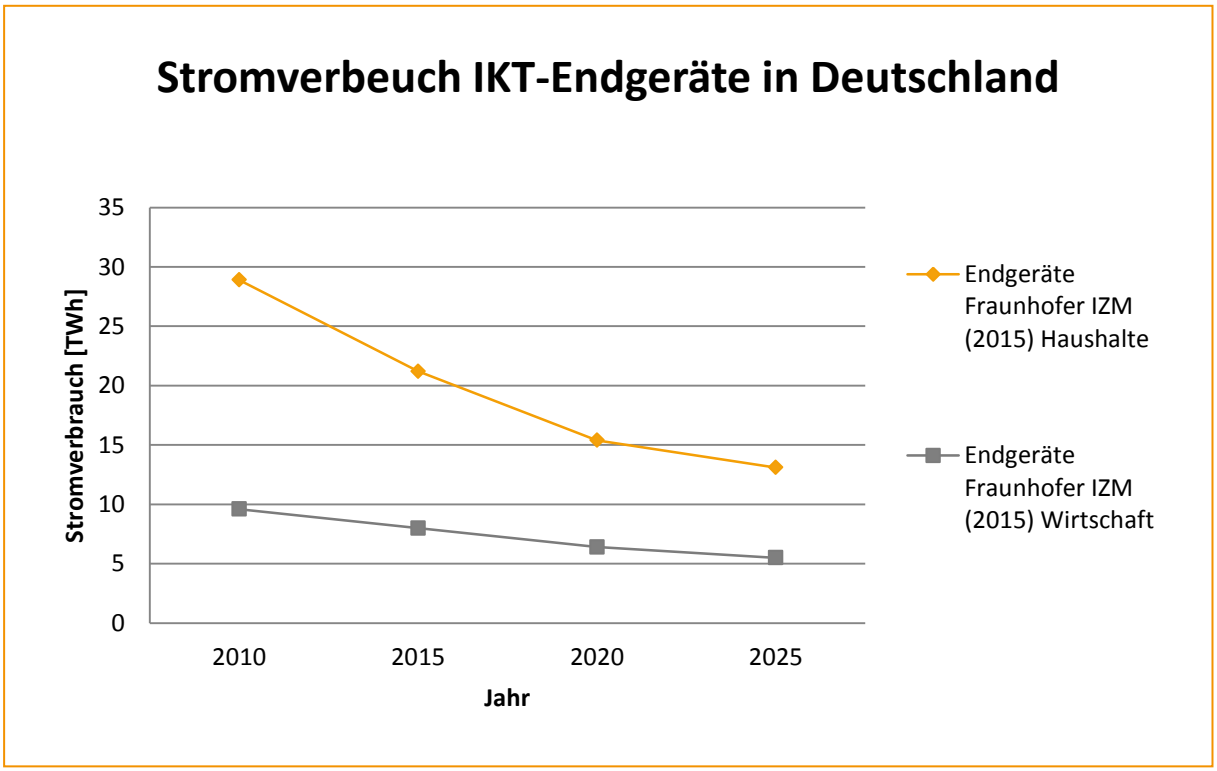


Abb. 9: Endgeräteverbrauch in Deutschland

Dieser Rückgang könnte damit erklärt werden, dass das Thema Effizienz in Deutschland seit Langem stärker propagiert wird als in anderen vergleichbaren Ländern der EU. Ab 2020 wird mit technologischen Grenzen zur Optimierung der Stromverbräuche von IKT-Endgeräten gerechnet und lediglich die Substitution veralteter Technik eine Option ist, weshalb die Kurven abflachen.

Nachstehend sind Aussagen aus den Studiensteckbriefen zu IKT-Verbräuchen aus dem Haushalt- und Wirtschafts-Sektor aufgeführt:

- *Carnegie Mellon University (2016)*: Beim Nutzerverhalten können auch Rebound-Effekte auftreten, die einen erhöhten Verbrauch durch die Implementierung neuer Technologien hervorrufen.
- *Borderstep Institut (2016)*: Durch eine Verschiebung von typischen Büro-Anwendungen in die *Cloud*, besteht ein technisches Einsparpotenzial von 87 Prozent beim Energieverbrauch.
- *EMPA (2009):* Die Sektoren Konsumenten-Echtzeit-Energie-Feedback[35], chemische Prozessindustrie, virtuelle Meetings und Herstellungsprozesse werden als relevant für IKT-Einsparpotenziale von befragten Experten gesehen.

Für den privaten und betrieblichen (Wirtschaft) Bereich wird abschließend festgehalten, dass ein Rückgang an Energieverbräuchen durch IKT-Endgeräte zu erwarten ist. Auf Haushaltsebene wird dabei das Einsparpotential höher als im betrieblichen Kontext eingeschätzt. Da bei professionellen betriebswirtschaftlichen Entscheidungs- und Beschaffungsprozessen bereits verstärkt auch die zu erwartenden Energieverbräuche berücksichtigt werden, sind hier vermehrt energieeffiziente Geräte beschafft worden, sodass das Einsparpotential vergleichsweise geringer ist.

3.4 Stromverbrauch Internet

Als Exkurs unternimmt die Studie des zehnten Steckbriefs (Kapitel 2.2.10 - EMPA 2014) den Versuch, die Stromverbräuche während des Surfens im Internet und damit verbundenen Datenübertragungen zu bemessen. Nach Analyse mehrerer ausgewählter Quellen der Studienautoren sind folgende Kernaussagen aus der Studie aufgelistet:

- Ergebnisse von bestehenden Studien für die Energieintensität des Internet schwanken sehr stark zwischen 136 kWh/GB und 0,0064 kWh/GB. Diese großen Unterschiede lassen sich u.a. mit den sehr unterschiedlichen Methoden und Systemgrenzen erklären, die den Betrachtungen zugrunde liegen. Eine direkte Vergleichbarkeit ist so ohne weiteres nicht möglich.[36]
- Internetrouter zur Verbindung von Geräten im lokalen Haus- oder Unternehmensnetzwerk (LAN) mit dem Internet über Telefon- und TV-Kabelnetze oder Mobilfunknetze (WAN verbrauchen 6,05 TWh/a für alle Netzgeräte in den USA.
- Inklusive Servern, Datenspeichern sowie Kühlung und Ventilation ergibt sich für WAN und Internetrouter bei EMPA 2014 ein Internet-Energieverbrauch von ca. 47 bis 50 TWh/a[37]. Heruntergebrochen bedeutet dies 0,39 kWh/GB. Die Internationale Energieagentur (IEA 2014) nennt dagegen mit 0,2 kWh/GB einen niedrigeren Energiebedarf.
- Zwischen 2000 und 2005 wurde ein jährliches Wachstum von 14 Prozent pro Jahr verzeichnet, dessen Trend sich fortsetzt. Die Wachstumsraten im Datenverkehr beliefen sich für 2008 auf 50 Prozent und für 2009 auf 45 Prozent.

[35] Eine Übersetzung aus der Studie, womit Nutzer in Echtzeit über Energieverbräuche informiert werden und aufgrund dessen sofort handeln können.
[36] Eine Begründung für die starke Abweichung kann dem Steckbrief zur Studie „*The Energy Intensity of the Internet: Home and Access Networks*“ (Kapitel 2.2.8) entnommen werden.
[37] Vgl. hierzu auch. Lanzisera 2012/05, der ebenfalls in EMPA 2014 zitiert wurde.

4 Fazit und Handlungsempfehlungen

Kapitel 4 schließt die Untersuchungen mit einem zusammenfassenden Fazit sowie durch daraus abzuleitende Handlungsempfehlungen.

4.1 Fazit

Eine allgemein gültige Aussage zur Entwicklung der IKT-bedingten Stromverbräuche lässt sich aufgrund der unterschiedlichen Annahmen in den einzelnen Studien aktuell nur schwer treffen. Beispielhaft sei diesbezüglich auf die große Streubreite von Energieverbräuchen durch die Übertragung von Daten im Internet genannt (siehe Kapitel 3.4). Weltweit betrachtet können noch keine verlässlichen Prognosen für die Energieverbrauchsentwicklung im gesamten IKT-Bereich abgeschätzt werden. Einig sind sich die Autoren der analysierten Studien darüber, dass die Energieverbräuche bezogen auf Datenzentren auf der nationalen, der europäischen und der globalen Ebene steigen werden. Eine flächendeckende und kontinuierliche Messung der Energieverbräuche von IKT auf nationaler und internationaler Ebene, die diese These untermauert, liegt heute bisher nicht vor. Hilfreich zur Schaffung einer verlässlichen Datengrundlage wäre daher zunächst eine gemeinsame Verständigung zur standardisierten und quantifizierten Erfassung der Energieauswirkungen nach einheitlichen Methoden, wie sie von der internationalen Fernmeldeunion (ITU)[38] vorgeschlagen oder den Kriterien des Gremiums EPEAT[39] zu entnehmen sind.

Vor allem in Bereichen mit einem prognostizierten absoluten Anstieg der Energieverbräuche, wie beispielsweise bei Datenzentren, sollte verstärkt nach Potentialen zur Energieeinsparung geforscht werden, damit der stark ansteigende Nettozubau von Rechenzentren möglichst nicht weiterhin die gesteigerte Energieeffizienz neu eingesetzter Server überkompensiert. Ein zentraler Ansatzpunkt für weitere Energieeffizienzmaßnahmen in diesem Zusammenhang können die Kühl- und Klimasysteme bzw. Wärmerückgewinnungssysteme von Datenzentren sein, da diese einen erheblichen Anteil des Energieverbrauchs ausmachen.

Weitere Untersuchungen zum generellen Nutzerverhalten und den damit einhergehenden Energieverbräuchen in Bezug zum Einsatz von IKT, liefern wesentliche Erkenntnisse über deren Stromverbräuche und Ansatzpunkte für zusätzliche Effizienzmaßnahmen. Dies gilt beispielsweise für die spezifischen Stromverbräuche von verschiedenen Server-Technologien. Durch zusätzliche Analysen und einem proaktiven Informationsaustausch zur verwendeten Technik, kann die Transparenz erhöht und damit auch die Durchführung von sinnvollen Einsparmaßnahmen befördert werden. Ein geleiteter Dialog zwischen den Anwendern und Technologie-Herstellern ist aufgrund der Bedeutung von Server-Anwendungen im Kontext einer weiter voranschreitenden Digitalisierung aller Lebensbereiche zu empfehlen.

Ebenso ist genauer zu untersuchen, inwieweit der Einsatz transparenzfördernder Software-Lösungen die Energieeffizienz im IKT-Bereich erhöht. Für den privaten und gewerblichen Bereich zeigt sich, dass auch hier weiterhin Aufklärungsbedarf besteht und Effizienzpotenziale erschlossen werden können.

[38] Empfehlung L.1420 (02/12): Methodik für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen Folgenabschätzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Organisationen
[39] Kriterien vom EPEAT-Programm des *Green Electronic Council:* http://www.epeat.net/resources/criteria-2/

Neben zusätzlichen Untersuchungen spielen wie bereits erwähnt generelle Aufklärungsarbeit und Informationsaustausch eine zentrale Rolle, um das Thema Energieeffizienz in der IKT in das Bewusstsein der Anwender zu bringen. Die voranschreitenden Entwicklungen im Bereich Industrie 4.0 und die parallele Einführung von Smart Metern für ein optimiertes Management relevanter energetischer Prozesse in Deutschland sollten auch hinsichtlich des Energieaufwands tiefgreifender analysiert werden. In diesem Bereich finden sich bis dato keine expliziten Studien zum Energiebedarf der dafür benötigten IKT in der Literatur. Forschungsvorhaben mit einem entsprechenden Fokus sind aufzusetzen und entsprechend unabhängig und ganzheitlich durchzuführen.

4.2 Handlungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen, die sich aus der Meta-Analyse zu IKT-bedingten Stromverbräuchen ergeben, sind nach dem in Abbildung 10 dargestellten Schema gegliedert. Die hier dargestellten Handlungsfelder fassen die notwendigen Aktivitäten zusammen und werden nachfolgend erläutert.[40]

Abb. 10: Handlungsfelder bzgl. IKT-bedingten Stromverbrauchs

4.2.1 Verbesserung der Datengrundlage

Aus den einzelnen Handlungsempfehlungen der betrachteten Studien lässt sich ablesen, dass die Datengrundlage zur ganzheitlichen Beurteilung des Energieverbrauchs von IKT aus volkswirtschaftlicher Perspektive verbessert werden muss, um die tatsächlichen Folgen eines erhöhten Einsatzes von IKT auf die Energieeffizienz vornehmen zu können. Dabei sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Aufgrund der Komplexität, die durch die digitale Verknüpfung vieler Bereiche entsteht, und den daraus resultierenden unmittelbaren und mittelbaren Zusammenhängen zwischen einer Vielzahl an

[40] Die Verbesserung der Datengrundlage, geht den spezifischen Handlungsempfehlungen voraus und gilt als Fokusaktivität.

Prozessen, ist eine gesamtheitliche Betrachtung wichtig. Eine umfängliche Datengrundlage, die zunächst einmal die in Verbindung stehenden Bereiche (z. B. minimierter Energieverbrauch durch Reduzierung der unternehmenseigenen Serverleistungen versus Erhöhung des Energieverbrauchs durch einen alternativen Einsatz von Cloud-Systemen in einer externen Dienstleistung) erfasst, ist wichtig. Ebenso ist der gesamte Lebenszyklus der eingesetzten Technologien (Energieaufwand für den Aufbau von IKT-Systemen, deren Betrieb, Halbwertzeit und Entsorgung) entscheidend für eine ausreichend nachhaltige Beurteilung der Entwicklung. Dies geht über das Betrachtungsfeld der einzelnen Studien hinaus. Wesentlicher ist es daher zunächst einzelne IKT-Technologien über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg zu untersuchen und ihre Potentiale hinsichtlich der Energieeffizienz einzuschätzen. Die Summe der globalen Energieverbräuche im IKT-Bereich zu erfassen ist sehr komplex und sollte abschließend auf Basis der wesentlichen Einzelanalysen aufbauen.

- Vor dem Hintergrund der Ausweitung digitaler Anwendungen ist grundsätzlich zu empfehlen, offene bzw. interoperable Standards zur Messung und Überprüfung von Energieverbräuchen digitaler Systeme sowohl im Hard- als auch im Softwarebereich weiter zu entwickeln. Ebenso sind Regelkataloge zur standardisierten Erfassung des Energieverbrauchs für beispielsweise Rechenzentren, Telekommunikationsnetze und IT-Dienstleistungen aufzusetzen und für die Forschung in diesem Bereich zugänglich zu machen. Diese Aufgabe könnte in einer ersten Instanz durch die zuständigen Branchenverbände übernommen werden. Ein Dialogprozess unter den verschiedenen Akteuren/Anwendergruppen sollte rechtzeitig parallel aufgesetzt werden, um die Herangehensweise zu harmonisieren und gleiche Messkriterien aufzusetzen. Dieser Prozess ist grundsätzlich auch international zu denken. Die dena könnte hier eine vermittelnde und organisierende Rolle einnehmen.
- Der Produkt- bzw. Regelkatalog zur Erfassung des IKT-bedingten Energiebedarfs sollte periodisch erweitert werden, sodass die Dynamik in den Bereichen wie das Internet der Dinge, Elektromobilität und Industrie 4.0 fortfolgend Beachtung finden und entsprechend flexibel angepasst werden (Fraunhofer IZM / BIOIS 2008 und Fraunhofer IZM 2015). Borderstep Institut (2016) empfiehlt, die Anwendungen der smarten digitalen Systeme besonders hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die steigende Verlagerung der Rechenkapazität auf Datenzentren zu beobachten.
- Methodisch sollte der Stromverbrauch der IKT von der induzierten Energieeffizienz durch IKT-Anwendungen (*Green through IT*) klar unterschieden werden. Die durch IKT ermöglichten Einsparpotenziale unterscheiden sich in den Studien deutlich, da insbesondere die Abgrenzungen der Anwendungsfelder oft unterschiedlich definiert sind. In EMPA (2009) wird darauf hingewiesen, dass bspw. IKT-Anwendungen in der Gebäudeautomation deutlich mehr zu potenziellen Energieeinsparungen beitragen als Anwendungen aus dem Haushalt (z. B. Fernseher oder Set-Top-Boxen) und dementsprechend auch im Sinne der Vergleichbarkeit der Aussagen differenziert betrachtet werden sollten.
- Im Rahmen der Metastudie wird der Bedarf an empirischen Daten über die Interaktion von Nutzern mit IKT-Systemen deutlich. Die Einsparpotenziale durch Dematerialisierung im Haushalt und am Arbeitsplatz sowie Änderungen des Nutzerverhaltens durch Substitutions- oder Reboundeffekte sind auf Grundlage des bisherigen Wissensstands nur ungenau abzuschätzen (*Carnegie Mellon University* 2016).

Daneben gilt es grundsätzlich in den einzelnen Unternehmen den Energieverbrauch von IKT deutlicher in den Fokus zu nehmen: Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi 2014) kommt

in seinem Bericht (in Zusammenarbeit mit Fraunhofer IZM und ISI sowie VDE/VDI) „Energieeffiziente IKT in der Praxis“ mit den Anwendungsbeispielen Büroarbeitsplätze und Rechenzentren ebenfalls zu dem Schluss, dass eine fundierte Datenbasis gegeben sein muss, um Energiesparmaßnahmen effektiv einzuleiten und umzusetzen. Hierfür dienen Energiemanagementsysteme nach DIN EN ISO 50001 als Grundlage – insbesondere bei dem Umgang mit veralteten IKT-Systemen, wofür eine große Datenbasis erstmals geschaffen werden muss. Andererseits ermöglicht IKT in Form von Energiedatenmanagementsystemen auch eine höhere Transparenz bei anderen Unternehmen für ihr Energiemanagement.

4.2.2 Rechen-/Datenzentren

Die Aussagen der untersuchten Studien über den Energieverbrauch von Rechenzentren beruhen dagegen bereits auf einer breiteren Datenbasis. Studienübergreifend wird deutlich, dass der Energieverbrauch der Rechenzentren weltweit steigt. In Deutschland stellen kleinere Rechenzentren im Eigenbetrieb von Unternehmen als auch bei Behörden mit Abstand den größten Anteil an den Gesamtkapazitäten der Rechenzentren dar, was u.a. auf Datenschutzbedenken der Akteure bei der Auslagerung von IT-Prozessen zugeschrieben wird .[41]

Imperial College London (2015) empfiehlt mit Blick auf eine Steigerung der Energieeffizienz den Ausbau weiterer *Cloud*-Dienstleistungen, da diese dazu beitragen können, Server besser auszunutzen und ein Energiemanagement hier sehr viel effizienter eingreifen kann. Dies sei kosteneffektiv und energieeffizient. Außerdem können im Rahmen von *Cloud*-Dienstleistungen durch die zentralen Rechenzentren Kühl- sowie Wärmerückgewinnungsprozesse besser realisiert und optimiert werden. Auch seien die Potenziale von Systemen, die eine höhere Arbeitstemperatur haben und somit weniger Kühlung bedürfen noch nicht ausgeschöpft (dies ist bei einem verstärkten Einsatz von Cloud-Services und den dahinterstehenden Server-Parks der Fall). Informationsinitiativen, die u.a. über diesen Sachverhalt, aber auch zu anderen nicht trivialen Zusammenhängen im Kontext der Energieeffizienz von IKT-Systemen aufklären und auch über die damit zusammenhängenden Kosten- und CO_2-Einsparungen informieren, sind dafür anzudenken. Entsprechende Kampagnen sind diesbezüglich adressatengerecht aufzusetzen und inhaltlich klar und fokussiert auszugestalten, um den Informationsgehalt eines inhaltlich nicht leichten Themas verständlich zu vermitteln. Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien hat bereits 2012 einen Leitfaden zur Messung der Energieeffizienz (*power usage effectiveness* = PUE) von Rechenzentren veröffentlicht.[42] Modelle zur Berechnung des PUE haben zum Ziel, die Komplexität in der energetischen Abbildung von Datenzentren zu vereinfachen und gleichzeitig konkrete Aussagen über den Stand und die künftige Entwicklung der Energieeffizienz in Daten- und Rechenzentren treffen zu können. Hierfür dient der Leitfaden als eine gute Grundlage und sollte eine breite Anwendung finden.

[41] Vgl. Borderstep (2017).
[42] Vgl. BITKOM (2012)

4.2.3 Telekommunikationsinfrastruktur

Der zunehmende Datenverkehr wirft auch die Frage nach der Entwicklung der Energieeffizienz der Telekommunikationsinfrastruktur auf. *Fraunhofer IZM* (2015) und *BIOIS* (2008) empfehlen, die steigende Anzahl an vernetzten Endgeräten im Zusammenspiel mit der Telekommunikationsinfrastruktur zu optimieren, um auch der Netztechnik ein effizientes Energiemanagement zu ermöglichen und den steigenden Datenverkehr zu bewältigen. Dazu bedarf es eines besseren Verständnisses über Energieverbräuche im Bereich der Telekommunikationsinfrastruktur, weshalb eine detaillierte Ausweisung des teilnetzbezogenen Energiebedarfs durch die Betreiber oder im Rahmen der statistischen Erfassung durch die Bundesnetzagentur von den Studienautoren gefordert wird. Zudem wird ein umfassend geplanter Rückbau von alten und unproduktiven Technologien, wie bspw. der zweiten Generation Mobilfunk (GSM[43]), vorgeschlagen.

Eine Optimierung der Energieeffizienz sollte idealerweise das Gesamtsystem (Endgeräte, Software-Anwendungen, Rechenzentren, Telekommunikationsnetzbetreiber) umfassen, weshalb mehr Planung und Koordination zwischen den verschiedenen Ebenen notwendig wäre. So sollten bereits bei der Softwareentwicklung Energiesparmechanismen verankert werden, da bspw. mobile Pull- und Push-Dienstfunktionen für ineffizienten Signalisierungsverkehr sorgen können.

4.2.4 Weitere IKT-Anwendungen

Nach *BIOIS* (2008) sind finanzielle Subventionen zur Förderung grüner IKT-Produkte, steuerliche Vergünstigungen und die Unterstützung der Halbleiter-Industrie effektive Hebel zur Steigerung der technischen Energieeffizienz im IKT-Bereich, die von der Politik vorangetrieben werden sollten. Zu den Handlungsempfehlungen gehört auch die Verbesserung und das Monitoring statistischer Daten, regulatorische Überwachung sowie die Weiterentwicklung von Informationen, *Guidelines* und der Technologie an sich (siehe auch vorherige Abschnitte). An sich ist die Forderung nach finanzieller Unterstützung immer leicht zu formulieren, wobei aus Sicht der dena hier vorrangig Aufklärung und Wissensvermittlung effektive und begründete Hebel sind, die finanziell unterstützt werden sollten. Perspektivisch ist der Einsatz von energieeffizienter Technologie in allen Bereichen wesentlich und kann nicht dauerhaft und flächendeckend finanziell subventioniert werden. Das Wissen, welcher Nutzen mit dem Einsatz von energieeffizienter Technologie ökonomischer und ökologischer Art einhergeht, sollte jedoch sehr wohl gefördert werden.

Auch die Auseinandersetzung mit indirekten Auswirkungen auf Energieverbräuche durch Dematerialisierung sollte verstärkt in das Bewusstsein der Endnutzer getragen werden. Mithilfe von Aufklärungskampagnen könnten bei geförderten Substitutionsmaßnahmen *Rebound-Effekte* gemildert werden.

[43] Das Global System for Mobile Communications (früher Groupe Spécial Mobile, GSM) ist ein Standard für volldigitale Mobilfunknetze, der hauptsächlich für Telefonie, aber auch für leitungsvermittelte und paketvermittelte Datenübertragung sowie Kurzmitteilungen (Short Messages) genutzt wird. Es ist der erste Standard der sogenannten zweiten Generation („2G“) als Nachfolger der analogen Systeme der ersten Generation.

5 Übersicht über aktuelle Aktivitäten und Forschungsprojekte

Im Nachfolgenden sind aktuelle Forschungsprojekte im Bereich energetische Optimierung von IKT aufgelistet.

Programm:	***Future Information Technology (FIT) - Fundamentals, Novel Concepts, and Energy Efficiency***
	Forschungsziel ist, mittels neuer innovativer Forschungsansätze die Rechenleistung, Datenspeicherdichten und Datenübertragungsraten von Informationstechnologien zu erhöhen und gleichzeitig den Bedarf an elektrischer Energie zu reduzieren.
Ausführendes Institut:	Helmholtz-Gemeinschaft, Deutschland: https://www.helmholtz.de/ueber_uns/die_gemeinschaft/satzung_und_governance/programmorientierte_foerderung/ergebnisse_begutachtungen_20132014/energie/
Kontakt:	Programmsprecher: Prof. Dr. Rainer Waser, Forschungszentrum Jülich
	Pressestelle: Anne Rother, Tel.: +49 (0)2461 61-4661, E-Mail: a.rother@fz-juelich.de
Veröffentlichung:	Rötger, A. (2016/06: S. 2): Daten mit Spins verarbeiten

Programm:	***ICT as an enabling technology***
Projekte:	ZEN (2016–2024): https://www.ntnu.no/zen
	IKT als Schlüsseltechnologie trägt zum neuen Forschungszentrum für EE FME Nullemission-Nachbarschaften bei. Gemeinden, Geschäfte, regierungsnahe Agenturen und Wissenschaftler arbeiten eng zusammen, um Internetseiten ohne Treibhausgasemissionen zu planen, entwickeln und durchzuführen. Die Fakultät für Architektur und Feine Künste leitet das Projekt mit SINTEF (nicht zu verwechseln mit dem BMWi-Förderprogramm SINTEG).
	Carbon Track and Trace (2016–2019): https://www.carbontrackandtrace.com/
	IKT als Schlüsseltechnologie trägt zum „Carbon Track and Trace“ (CTT) bei. Das EU-geförderte Projekt zielt auf die Entwicklung eines automatisierten Systems für das Monitoring und Reporting von Treibhausgasemissionen. Das System ermöglicht Gemeinden die automatische Aufzeichnung und Analyse zum Messen direkter THG-Emissionen. Partner sind Climate-KIC, LoCal, ICLEI, Kommune Trondheim, Kommune Vejle, DTU
Ausführendes Institut:	NTNU – Sustainability, Norwegen: https://www.ntnu.edu/sustainability/ict-as-an-enabling-technology
Kontakt:	Prof. John Krogstie, Tel.: +47 93 41 75 51, E-Mail: John.krogstie@idi.ntnu.no

Programm:	**CITRIS *Sustainable Infrastructures***
	Die CITRIS Initiative Nachhaltige Infrastruktur verfolgt Informationstechnologie-Forschung in Energie, Wasser, Transport und anderen Anwendungsbereichen als essentielle Komponenten für das Cyber-Fundament einer nachhaltigen Gesellschaft zur Gewährleistung von Resilienz. Explizit trägt das Programm zum energieeffizienten Bauen, Netzmanagement und der Energieerzeugung, -speicherung sowie -verteilung bei. Open-Source-Plattformen zur Steuerung, Sammlung, Analyse und Visualisierung von Energiedaten sind dabei wesentliche Bausteine. Das Programm baut auf die Initiativen CITRIS i4Energy und CITRIS Intelligent Infrastructure Initiative auf.
Projekte (2015–2020):	Hamilton: Flexibles, Open-Source $10 Wireless-Sensor-System für energieeffiziente Gebäudenutzung: http://citris-uc.org/sustainable-infrastructures/project/hamilton/
	Micro-Synchrophasoren in Verteilsystemen: http://citris-uc.org/energy/project/micro-synchrophasors-distribution-systems/
	Plug-In intelligente Ladung elektrischer Fahrzeuge in Kalifornien (XBOS-V): http://citris-uc.org/sustainable-infrastructures/project/xbos-v/
	Vernetzte Korridore: https://connected-corridors.berkeley.edu/
Ausführendes Institut:	*CITRIS (Center for Information Technology Research in the Interest of Society) und das Banatao Institut, USA*
Kontakt:	David E. Culler (Ph. D.), Tel.: +1 (510) 643-7572, Mail: culler@cs.berkeley.edu

Programm:	**IT-Infrastruktur und Digital Office**
	In dieser Plattform werden bereits viele der genannten nötigen nächsten Schritte aufgegriffen und an offenen Standards für die Gewährleistung von Sicherheit, Verfügbarkeit und Effizienz von Rechenzentren gearbeitet. In der Stellungnahme „Strukturelle ITK-Forschungsförderung in den letzten zehn Jahren“ von 2016 sieht der Branchenverband einen kontinuierlichen Rückgang der Forschungsförderung und weist darauf hin, dass Deutschland ohne weitere Gegensteuerung den Anschluss im Weltmarkt für IKT (von BITKOM als ITK bezeichnet) als Schlüsseltechnologie verlieren könnte und daher wieder mehr Mittel seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung sowie des Bundeswirtschaftsministeriums für Wirtschaft und Energie zur Verfügung gestellt werden sollten.
Projekte:	Arbeitskreis „Rechenzentrum und Infrastruktur“: https://www.bitkom.org/Bitkom/Organisation/Gremien/Rechenzentrum-IT-Infrastruktur.html
	Etablierung offener Standards und nachvollziehbare Kriterien hinsichtlich betriebssicherer und effizienter Rechenzentren als Orientierungshilfe für IT-Entscheider, Geschäftsführung sowie Planungsingenieure und Betreiber.
	Arbeitskreis „Server, Storage und Networks“: https://www.bitkom.org/Bitkom/Organisation/Gremien/Server-Storage-Networks.html
	Auswirkungen wachsendender Anforderungen von Anwendern bezüglich Flexibilität und Effizienz auf die IT. Bedarfsanpassung der Rechenleistung, Speicherplatz und Bandbreite, ohne Kosten- und Verfügbarkeitsvorgaben zu verletzen.
Ausführendes Institut:	BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.
Kontakt:	Christian Herzog, E-Mail: c.herzog@bitkom.org

Programm:	**TEMPRO – *Total Energy Management for professional data centers***
	Dieses Projekt betrachtet die Energieeffizienz von Rechenzentren unter Berücksichtigung vor- und nachgelagerter Wertschöpfungsstufen in Deutschland.
Projekte (1.11.2016–31.10.2019):	AP1: Energiebedarf, Ressourcenstock und Rohstoffeffizienz in Rechenzentren: https://tempro.uni-oldenburg.de/projekt/arbeitspaket-1
	AP2: Wechselwirkungen und Abhängigkeiten von Rohstoff- und Energieeffizienz: https://tempro.uni-oldenburg.de/projekt/arbeitspaket-2
	AP3: Informations- und Bewertungsmodelle für die Energieeffizienz in Rechenzentren: https://tempro.uni-oldenburg.de/projekt/arbeitspaket-3
	AP4: Aktuelle technologische Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz in Rechenzentren https://tempro.uni-oldenburg.de/projekt/arbeitspaket-4
	AP5: Erforschung erfolgversprechender Effizienztechnologien: https://tempro.uni-oldenburg.de/projekt/arbeitspaket-5
Ausführendes Institut:	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Deutschland
Kontakt:	Dr.-Ing. Alexandra Pehlken,Tel.: +49 (0)441 7 98 47 96, E-Mail: alexandra.pehlken@uni-oldenburg.de
Veröffentlichung:	Dr. Ralph Hintemann (2017): Green IT-Innovationen durch Unternehmensallianzen?, Vortrag im Rahmen des *Borderstep Impact Forums*, 15. Mai 2017. Online: https://tempro.uni-oldenburg.de/images/pdfs/Hintemann-Einleitung_Green_Computing-Web_2017-05-15.pdf
	Dr.-Ing. Alexandra Pehlken (2017): Der wahre Energieverbrauch von Rechenzentren Projekt „TEMPRO“ nimmt gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur in den Blick. Pressemitteilung der Universität Oldenburg vom 31.Januar 2017. Online: http://www.presse.uni-oldenburg.de/mit/2017/030.html

6 Anhang

6.1 Identifizierte Studien

Hier befindet sich die Vorauswahl der 25 erfassten Publikationen, wovon die zehn orange gekennzeichneten Titel für die Metastudie explizit als relevant beurteilt wurden:

Studientitel	Ausführendes Institut	Veröffentlichung	Verfügbar unter:
Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Steigerung des Energiebedarfs deutscher Rechenzentren im Jahr 2016	Borderstep Institut	2017/03	https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf
Verbraucher messen nach – Intelligente Strommesssysteme im Praxistest	dena – Deutsche Energie-Agentur	2016/10	Auf Anfrage.
Known unknowns: Indirect energy effects of ICT	Carnegie Mellon University	2016/10	http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/10/103001/meta
Green Cloud – current and future development of energy consumption	Borderstep Institut	2016/08	https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/09/ICT4S-Hintemann-Clausen-Green-Cloud-final-2016.pdf
Pressemitteilung „atmendes“ Stromnetz	VDE – Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik	2016/04	https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-studie-atmendes-stromnetz
ICT Energy Strategic Research Agenda	EPFL – École polytechnique fédérale de Lausanne	2016/03	http://www.ict-energy.eu/
Chancen und Herausforderungen durch die Digitalisierung der Wirtschaft	Forum für Zukunftsenergien	2016/02	http://www.zukunftsenergien.de/fileadmin/user_upload/zukunftsenergien/Dokumente/FfZ_KuratSchri_Band9_Digitalisierung.pdf
IKT in der Energiewirtschaft – Der Weg der Digitalisierung	energate	2016/01	http://www.energate.de/unternehmen/aktuelles/single/news/detail/News/jetzt-erschienen-e21digital-ausgabe-12016/
Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland	Fraunhofer IZM u. Borderstep Institut	2015/11	http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.pdf;jsessionid=7C2E99BF32C68D9F91F92C0261FC37A3?__blob=publicationFile&v=3

Assessment of electricity consumption in the ICT layer in Smart grids	ADEME – Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie u. Capgemini Consulting	2015/06	http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/assessment-of-electricity-consumption-tic-smart-grids-summary.pdf
The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions	Imperial College London	2015/06	https://www.researchgate.net/publication/282517963_The_impact_of_information_technology_on_energy_consumption_and_carbon_emissions
Measuring Information Society	ITU – International Telecommunication Union	2015	http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2015.aspx
Study practical application framework methodology for measuring environmental impact of ICT – cost/benefit analysis	Öko-Institut u. Technische Universität Berlin	2014/09	https://publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/ef17c01f-ea7c-49e0-91aa-878f16ba6361
The Energy Intensity of the Internet: Home and Access Networks	EMPA – Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt / CESC – Centre for Sustainable Communication	2014/08	https://www.researchgate.net/publication/266968141_The_Energy_Intensity_of_the_Internet_Home_and_Access_Networks
Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware	EMPA – Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt/KTH – Royal Institute of Technology Stockholm	2014/08	https://www.researchgate.net/publication/266968100_Grey_Energy_and_Environmental_Impacts_of_ICT_Hardware
Green ICT for Sustainability A Holistic Approach	Hochschule für Telekommunikation Leipzig	2014/05	https://www.researchgate.net/publication/261746794_Green_ICT_for_Sustainability_A_Holistic_Approach
Rebound Effects and ICT – A Review of the Literature	Telecom Business School	2014/01	https://www.researchgate.net/publication/263658145_Rebound_Effects_and_ICT_A_Review_of_the_Literature
More Data, Less Energy – Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices	IEA – International Energy Agency	2014	https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/MoreData_LessEnergy.pdf
ICT Footprint – Pilot testing on methodologies for energy consumption and carbon footprint of the ICT-sector	ECOFYS, Quantis, Bio Intelligence Service	2013/02	https://www.ecofys.com/files/files/ec-ecofys-quantis-bis-2013-ict-footprint.pdf
The contribution of ICT to energy efficiency: local and regional initiatives	EU – Europäische Union	2011/03	https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/contribution-ict-energy-efficiency-local-and-regional-initiatives-implementing-energy

Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft	Fraunhofer ISI – Institut für System- und Innovationsforschung / IZM – Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration	2009/03	http://www.pt-em.de/documents/IZM-ISI_Studie_EnergiebedarfIKT.PDF
The Role of ICT in Energy Consumption and Energy Efficiency	EMPA – Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt	2009/01	https://www.researchgate.net/publication/267411194_The_Role_of_ICT_in_Energy_Consumption_and_Energy_Efficiency
ICT for Energy Efficiency	EU Ad-Hoc Advisory Group	2008/10	http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/consultations/advisory_group_reports/ad-hoc_advisory_group_report.pdf
Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency	Bio Intelligence Service/E5/Fraunhofer IZM – Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration	2008/09	http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/studies/2008/2008_impact-of-ict_on_ee.pdf
SMART 2020 – enabling the low carbon economy in the information age	GeSI – Global e-Sustainability Initiative	2008	https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Smart2020Report.pdf

6.2 Daten der Studien

Nachfolgend findet sich eine Auflistung der aus den Studien gezogenen Daten in Tabellenform.[44] Bei diesen Werten handelt es sich um absolute Energieverbräuche, wobei aus den einzelnen Studiensteckbriefen ersichtlich ist, welche IKT-Anwendungen in die Ermittlung mit einbezogen wurden.

Daten aus den Studien des jährlichen weltweiten Energieverbrauchs von IKT insgesamt sowie für Datenzentren

Weltweiter jährlicher Energieverbrauch [TWh/a]	2007	2010	2012	2013	2014	2015	***2020***	***2025***	***2030***
IKT Gesamt Carnegie Mellon University (2016)	682,5	-	905,0	-	-	-	-	-	-
IKT Gesamt Borderstep Institute (2016) inkl. Trend	-	1622,1	-	-	-	1422,5	1310,9	1360,3	-
IKT Gesamt Imperial College London (2015) inkl. Trend	684,0	-	920,0	-	-	1339,0	-	-	-
IKT Gesamt Internationale Energie-Agentur (2014)	-	-	-	1530,0	2028,0	-	-	-	-
Datenzentren Borderstep Institute (2017)	-	223,0	-			287,0	-	-	-
Datenzentren Borderstep Institute (2016)	-	229,2	-			287,0	-	460,8	-
Datenzentren Eco Capgemini Consulting (2015)	-	-	-			-	766,0	-	996,0
Datenzentren Business As Usual Capgemini Consulting (2015)	-	-	-			-	992,0	-	3410,0

Daten aus den Studien des jährlichen europaweiten Energieverbrauchs von IKT insgesamt

Europaweiter jährlicher Energieverbrauch von IKT [TWh/a]	2005	2011	***2020***
EU-27 TU Berlin/Öko-Institut (2014)	-	214,0	259,0
EU-27 Eco Fraunhofer IZM / BIOIS (2008)	216,0	-	304,7
EU-27 Business As Usual Fraunhofer IZM / BIOIS (2008)	216,0	-	433,1
EU-25 Eco Fraunhofer IZM / BIOIS (2008)	214,5	-	288,2
EU-25 Business As Usual Fraunhofer IZM (2008)	214,5	-	409,7

Daten aus den Studien des jährlichen deutschlandweiten Energieverbrauchs von IKT insgesamt sowie für Datenzentren

Deutschlandweiter jährlicher Energieverbrauch [TWh/a]	2010	2011	2012			2013	2014	2015	2016	***2020***	***2025***
IKT Gesamt Borderstep Institute (2016)	56,0	-	-			-	-	47,8	-	40,6	41,3
IKT Gesamt Fraunhofer IZM (2015)	56,0	-	-			-	-	-	-	-	46,0
IKT Gesamt AGEB (2017)	-	-	-			56,59	54,88	56,28	-	-	-
Datenzentren Borderstep Institute (2017)	10,5	10,7	10,9			11,2	11,5	12,0	12,4	-	-
Datenzentren Borderstep Institute (2016)	10,5	-	-			-	-	12,0	-	30,8	33,4
Datenzentren Fraunhofer IZM (2015)	17,0	-	-			-	-	-	-	-	25,0

Datensatz aus den Studien zum jährlichen deutschlandweiten Energieverbrauch von Endgeräten in Haushalten und Wirtschaft

Deutschlandweiter jährlicher Energieverbrauch Endgeräte [TWh/a]	2010	2015	2020	2025
Endgeräte Fraunhofer IZM (2015) Haushalte	28,9	21,2	15,4	13,1
Endgeräte Fraunhofer IZM (2015) Wirtschaft	9,6	8,0	6,4	5,5

[44] Vermerk: Zwischen den Daten der jeweiligen Tabellen wurde in Kapitel 3 für die grafische Darstellung linear interpoliert, um eine einfache Vergleichbarkeit durch die visualisierte Trendlinie zu ermöglichen.

Datensatz aus den Studien zum jährlichen europaweiten Energieverbrauch von Endgeräten in Haushalten und Wirtschaft

EU27-weiter jährlicher Energieverbrauch Endgeräte [TWh/a]	2011	2015	2020	2025
Endgeräte Öko-Institut (2014) Haushalte	124,0	-	123,0	-
Endgeräte Öko-Institut (2014) Wirtschaft	17,0	-	16,0	-

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht der in den Studien verbundenen IKT-Kategorien und -Technologien 8

Abb. 2: Gesamtstromverbrauch IKT weltweit 33

Abb. 3: IKT-Stromverbräuche Europa EU-25 36

Abb. 4: IKT-Stromverbräuche Europa EU-27 37

Abb. 5: IKT-Stromverbräuche Deutschland 39

Abb. 6: IKT-Stromverbrauch Datenzentren weltweit 41

Abb. 7: IKT-Stromverbrauch Datenzentren Deutschland 43

Abb. 8: Stromverbrauch von Endgeräten in der EU27 45

Abb. 9: Endgeräteverbrauch in Deutschland 46

Abb. 10: Handlungsfelder bzgl. IKT-bedingten Stromverbrauchs 49

8 Literaturverzeichnis

ADEME u. Capgemini Consulting - Marion Bertholon (2015): *Assessment of electricity consumption in the ICT layer in Smart grids.* Capgemini Consulting. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 13:58): http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/assessment-of-electricity-consumption-tic-smart-grids-summary.pdf

AG Energiebilanzen – AGEB (2017): AGEB - Zusammenfassung Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2015. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Online (aufgerufen am 02.05.2017 um 15:34): https://www.ag-energiebilanzen.de/8-0-anwendungsbilanzen.html

BIO IS u. Fraunhofer IZM - Labouze, E.; Iyama, S.; Abbayes, C. d. u. Beton, A. (2008): *Impacts of Information and Communication Technologies on Energy Efficiency.* Bio Intelligence Services, European Business Council for Sustainable Energy und Fraunhofer IZM. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 14:44): http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/studies/2008/2008_impact-of-ict_on_ee.pdf

BITKOM (2016): Strukturelle ITK-Forschungsförderung in den letzten zehn Jahren. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.. Online (aufgerufen am 10.05.2017 um 14:40): https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Strukturelle-IKT-Forschungsfoerderung-in-den-letzten-zehn-Jahren.html

BITKOM (2012): Leitfaden Wie messe ich den PUE richtig? Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.. Online (aufgerufen am 10.05.2017 um 15:15): https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2012/Leitfaden/Wie-messe-ich-PUK-richtig/121112-PUE-Messung.pdf

BMWi (2014): IT2Green-Broschüre *Energieeffiziente IKT für Mittelstand, Verwaltung und Wohnen*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Online (aufgerufen am 10.05.2017 um 16:54): http://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/it2green-broschuere.html;jsessionid=7A2A8EBF4ACB182DE6E31A815E2C94C5

Borderstep Institut – Hintemann, R. (2017): Rechenzentrumsmarkt boomt in Deutschland, Österreich und der Schweiz – Trotz verbesserter Energieeffizienz steigt der Energiebedarf der deutschen Rechenzentren im Jahr 2016. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 13:21): https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/03/Borderstep_Rechenzentren_2016.pdf

Borderstep Institut - Clausen, J. u. Hintemann, R. (2016): *Green Cloud? The current and future development of energy consumption by data centers, net-works and end-user devices.* Borderstep Institut. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 13:31): https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/09/ICT4S-Hintemann-Clausen-Green-Cloud-final-2016.pdf

Carnegie Mellon University - Horner, Nathaniel C., Azevedo, Ines M.L., Shehabi, Arman (2016): *Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology.* Carnegie Mellon University und Lawrence Berkeley National Laboratory, in Environmental Research Letters Vol. 11 Nr. 10. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 11:47): http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/10/103001/meta

dena (2017/07): *Grundsatzpapier der Plattform Digitale Energiewelt.* Deutsche Energie-Agentur GmbH. Online (aufgerufen am 03.07.17 um 14:35): https://www.digitale-energiewelt.de/fileadmin/Bilder/PDE_Downloads/Grundsatzpapier_der_Plattform_Digitale_Energiewelt.pdf

dena (2017/03): dena-Umfrage: Jedes zweite deutsche Unternehmen nutzt digitale Technologien zur Erhöhung seiner Energieeffizienz, Pressemitteilung, Berlin. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Online (aufgerufen am 17.07.2017 um 12:55): https://www.dena.de/newsroom/meldungen/2017/dena-umfrage-jedes-zweite-deutsche-unternehmen-nutzt-digitale-technologien-zur-erhoehung-seiner-energieeffizienz/

dena (2016): *Verbraucher messen nach – intelligente Strommesssysteme im Praxistest.* Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).

dena (2012/02): *Green IT: Potenzial für die Zukunft. Energieeffizienz steigern, Wachstumsmärkte erschließen und Nachhaltigkeit sichern.* Online (aufgerufen am 03.07.2017 um 14:25): https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/1337_Broschuere_Green-IT.pdf

ECOFYS, Quantis, Bio Intelligence Service (2013): *ICT Footprint – Pilot testing on methodologies for energy consumption and carbon footprint of the ICT-sector.* Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:26): https://www.ecofys.com/files/files/ec-ecofys-quantis-bis-2013-ict-footprint.pdf

EMPA - Coroama, V. C.; Hilty, L. M.; Preist, C. u. Schien, D. (2014): *The Energy Intensity of the Internet: Home and Access Networks.* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 14:27): https://www.researchgate.net/publication/266968141_The_Energy_Intensity_of_the_Internet_Home_and_Access_Networks

EMPA/KTH Royal Institute of Technology (2014): *Grey Energy and Environmental Impacts of ICT Hardware.* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, KTH Royal Institute of Technology. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:17): https://www.researchgate.net/publication/266968100_Grey_Energy_and_Environmental_Impacts_of_ICT_Hardware

EMPA - Hilty, L. M.; Coroama, V. C.; Ruddy, T. F. u. Thiébaud (-Müller), E. (2009): *The Role of ICT in Energy Consumption and Energy Efficiency.* Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 14:27): https://www.researchgate.net/publication/267411194_The_Role_of_ICT_in_Energy_Consumption_and_Energy_Efficiency

Enerdata (2016): *Global Energy Statistical Yearbook 2016.* Online (aufgerufen am 25.04.2017 um 18:00): https://yearbook.enerdata.net/electricity-domestic-consumption-data-by-region.html

energate (2016): IKT in der Energiewirtschaft – Der Weg der Digitalisierung, e21.Digital, Ausgabe 1/2016. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://www.energate.de/unternehmen/aktuelles/single/news/detail/News/jetzt-erschienen-e21digital-ausgabe-12016/

EPFL (2016): *ICT Energy Strategic Research Agenda.* École polytechnique fédérale de Lausanne. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://www.ict-energy.eu/

EU (2011): *The contribution of ICT to energy efficiency: local and regional initiatives.* Europäische Kommission, Belgien. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/contribution-ict-energy-efficiency-local-and-regional-initiatives-implementing-energy

EU Ad-Hoc Advisory Group (2008): *ICT for Energy Efficiency*. EU Ad-Hoc Advisory Group. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/consultations/advisory_group_reports/ad-hoc_advisory_group_report.pdf

Forum für Zukunftsenergien e. V. (2016): *Chancen und Herausforderungen durch die Digitalisierung der Wirtschaft.* Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://www.zukunftsenergien.de/fileadmin/user_upload/zukunftsenergien/Dokumente/FfZ_KuratSchri_Band9_Digitalisierung.pdf

Fraunhofer ISI, IZM (2009): *Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft.* Fraunhofer ISI, Fraunhofer IZM. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://www.pt-em.de/documents/IZM-ISI_Studie_EnergiebedarfIKT.PDF

Fraunhofer IZM u. Borderstep Institut – Stobbe, L.; Clausen, J.; Hintemann, R.; Beucker, S.; Proske, M. u. Zedel, H.(2015): Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Fraunhofer IZM, Borderstep Institut. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 13:53): http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.pdf;jsessionid=7C2E99BF32C68D9F91F92C0261FC37A3?__blob=publicationFile&v=3

GeSI (2008): *SMART 2020 – enabling the low carbon economy in the information age*. Global e-Sustainability Initiative. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/Smart2020Report.pdf

Ghent University (2012): *Worldwide electricity consumption of communication networks, in Optics Express, 26 (2012: B513 – B527), Belgien.*

Ghent University (2014): *Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012.* In: Computer Communications 50 (2014: S. 64 – 76), Belgien.

Hochschule für Telekommunikation Leipzig (2014): *Green ICT for Sustainability A Holistic Approach.* Hochschule für Telekommunikation Leipzig. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:22): https://www.researchgate.net/publication/261746794_Green_ICT_for_Sustainability_A_Holistic_Approach

HZB – Rötger, A. (2016): Daten mit Spins verarbeiten, in lichtblick HZB-Zeitung externe Ausgabe 28. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 17:25): https://www.helmholtz-berlin.de/media/media/aktuell/print/lichtblick/150/lichtblick_juni-2016_extern_web.pdf

IEA (2014): *More Data, Less Energy – Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices.* International Energy Agency, Frankreich. Online (aufgerufen am 09.05.2017 um 11:34): https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/more-data-less-energy.html

Imperial College London – Gelenbe, E. u. Caseau, Y. (2015): *The Impact of Information Technology on Energy Consumption and Carbon Emissions*. Imperial College London. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 14:13): https://www.researchgate.net/publication/282517963_The_impact_of_information_technology_on_energy_consumption_and_carbon_emissions

ITU (2015): *Measuring Information Society.* International Telecommunication Union. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2015.aspx

Koomey, J. G. u. Taylor, C. (2008): *Estimating Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Internet Advertising.* Stanford University.

Lanzisera, S., Nordman, B., Brown, R.E. (2012/05): *Data Network Equipment Energy Use and Savings Potential in Buildings.* In: Energy Efficiency 5 (2) 2012.

Öko-Institut u. Technische Universität Berlin - Roske, M. u. Prakash, S. (2014): *Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT – cost/benefit analysis.* Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 14:24): https://publications.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/ef17c01f-ea7c-49e0-91aa-878f16ba6361

Telecom Business School (2014): *Rebound Effects and ICT – A Review of the Literature.* Telecom Business School. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): https://www.researchgate.net/publication/263658145_Rebound_Effects_and_ICT_A_Review_of_the_Literature

TEMPRO – Hintemann, R. (2017): Green IT-Innovationen durch Unternehmensallianzen?, Vortrag im Rahmen des Borderstep Impact Forums, 15. Mai 2017. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 17:25): https://tempro.uni-oldenburg.de/images/pdfs/Hintemann-Einleitung_Green_Computing-Web_2017-05-15.pdf

TEMPRO - Pehlken, A. (2017): Der wahre Energieverbrauch von Rechenzentren Projekt „TEMPRO“ nimmt gesamten Lebenszyklus der Infrastruktur in den Blick. Pressemitteilung der Universität Oldenburg vom 31.Januar 2017. Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 17:25): http://www.presse.uni-oldenburg.de/mit/2017/030.html

VDE (2016): *Pressemitteilung ‚atmendes‘ Stromnetz.* Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE). Online (aufgerufen am 16.11.2017 um 15:08): https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-studie-atmendes-stromnetz

9 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
APPs	Applikationen
BAU	*business as usual*
CO_2	Kohlenstoffdioxid
D	Deutschland
dena	Deutsche Energie-Agentur
EG	Europäische Gemeinschaft
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EU	Europäische Union
Fr	Frankreich
GB	Gigabyte
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GWh	Gigawattstunden
HVAC	Heizung, Ventilation, *Air Conditioning*
HZB	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
iMSys	Intelligentes Messsystem
IT	Informationstechnologie
kWh	Kilowattstunden
KUA	Kundenumgebungsausrüstung
LAN	*Local Area Network*
MAN	Metropolitan Area Network
MWh	Megawattstunden
mM	moderne Messeinrichtung
PJ	Peta Joule
PUE	*power usage effectiveness*
TEMPRO	*Total Energy Management for Professional Data Centers*
THG	Treibhausgasemissionen
TWh	Terawattstunden
WAN	*Wide Area Network*

Art.-Nr.: 9232

www.dena.de

dena
Deutsche Energie-Agentur