



Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten

Kurzstudie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)

Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gGmbH
Clayallee 323
14169 Berlin
www.borderstep.de

Autoren:

Dr. Ralph Hintemann und Simon Hinterholzer

Berlin, März 2018

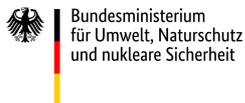
Auftraggeber:

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)
Friends of the Earth Germany
Am Köllnischen Park 1
10179 Berlin
www.bund.net

Titelbild:

Fotolia.com/NicoElNino

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages.



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Danksagung

Im Rahmen dieses Projektes wurde am 6. Dezember 2017 ein Workshop durchgeführt, auf dem wertvolle Impulse vorgestellt und erörtert wurden. Die Autoren und der BUND danken herzlich den Teilnehmenden des Workshops, namentlich Dr. Otmar Deubzer (Fraunhofer IZM), Dr. Johannes Hengstenberg (co2online), Dr. Melanie Jaeger-Erben (Zentrum Technik und Gesellschaft), Olaf Mätzner (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung). Die Verantwortung für den Inhalt der Kurzstudie liegt bei den Autoren und gibt nicht notwendigerweise die Meinung der genannten Expert*innen wider.

Zusammenfassung

In den nächsten Jahren ist damit zu rechnen, dass die Verbreitung von informationstechnisch vernetzten Geräten in Haushalten stark zunehmen wird. Immer mehr Hersteller bieten Produkte mit digitalen Schnittstellen an, es wird ein starker Anstieg der Verkaufszahlen prognostiziert.

Die zunehmende Verbreitung von solchen digitalen Schnittstellen bedeutet einen zusätzlichen Verbrauch von Energie und Ressourcen, vor allem aufgrund der Herstellung von Mikroelektronik, des Stromverbrauchs im laufenden Betrieb durch die ununterbrochene Empfangsbereitschaft sowie bei der Entsorgung bzw. Recycling. Aber auch das eigentliche Gerät kann durch die für Informationstechnik typischen Probleme (Updatefähigkeit, Viren, Kompatibilität, Innovationsdynamik, etc.) schneller obsolet werden und damit die gesamte Produktbilanz verschlechtern.

Viele Funktionen von neuartigen vernetzten Geräten basieren auf Cloud-Diensten wie beispielsweise einer Stimmerkennung, die nur energie- und ressourcenintensiv in Rechenzentren realisiert werden und damit weitere Verbräuche verursachen. Auf Basis der in den vernetzten Produkten generierten Daten werden neue Geschäftsmodelle geschaffen, mit Hilfe von Big-Data Anwendungen versuchen Unternehmen zusätzliche Funktionalitäten und weiteren Profit aus den Produktinformationen zu generieren; auch hierfür sind gewaltige Energie- und Ressourcenaufwendungen notwendig. Den Verbraucher*innen stehen hierzu jedoch kaum Informationen über die Auswirkungen ihrer vernetzten Produkte sowie über gesamtgesellschaftliche Mehrverbräuche zur Verfügung.

Allein für die kontinuierliche Vernetzung und Bereitschaft kann auf Ebene der EU ein jährlicher Mehrverbrauch von 70 TWh Strom entstehen; das entspräche etwa der produzierten elektrischen Energie in den deutschen Atomkraftwerken im Jahr 2017¹. Hierzulande können sich diese Mehrverbräuche auf 15 TWh summieren.

Befürworter und Hersteller der vernetzten Produkte verweisen dagegen einerseits auf die Effizienzpotentiale und andererseits auf die Möglichkeit zur Flexibilisierung von Geräten und dezentralen Stromerzeugern (Demand-Side-Management). Bei Heizungsanlagen konnten in der Vergangenheit tatsächlich sehr umfangreiche Einsparungen von bis zu 30 Prozent durch intelligenteren Regelungen im Betrieb wissenschaftlich nachgewiesen werden. Auch die zeitliche Flexibilisierung von Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken ermöglicht im Zusammenhang mit der fluktuierenden Stromerzeugung aus Windkraft und Sonnenenergie positive Effekte für die Umsetzung der Energiewende im Strombereich und damit auch für den Klimaschutz. Bei kleineren Haushaltsgeräten sind die individuellen Effizienz- und Flexibilisierungspotentiale in der Regel jedoch meist geringer und die zunehmende Vernetzung sollte hinsichtlich Klima- und Umweltschutz kritisch beobachtet werden.

Um diese vielseitigen Veränderungen trotzdem nachhaltig zu gestalten, sind weitreichende Maßnahmen bei der politischen Rahmensetzung, Forschung und Entwicklung sowie der Information und

¹ Alle acht Atomkraftwerke in Deutschland erzeugten im Jahr 2017 insgesamt eine elektrische Energie von 72,4 TWh (Fraunhofer ISE & EEX, 2018a)

digitalen Kompetenz von Bürger*innen notwendig. Als erster Ansatz werden strengere und konsequente Vorgaben an das Ökodesign gefordert, aber auch bei den Informationsmöglichkeiten für Verbraucher*innen sowie in der Forschung existieren Handlungsmöglichkeiten.

Zentrale Erkenntnisse

1. Immer mehr neu entwickelte Alltagsprodukte werden gegenwärtig mit Schnittstellen zum Datenaustausch ausgestattet, im Jahr 2025 werden in Europa zusätzlich zur bestehenden IKT bis zu 1.700 Millionen vernetzte Geräte erwartet.
2. Die Vernetzung von bisherigen Produkten kann zu erheblichen Mehrverbräuchen von Energie und Ressourcen führen – europaweit könnten so Mehrverbräuche von bis zu 70 TWh im Jahr entstehen; pro Gerät bis zu 26 kWh. Hierfür ist insbesondere der Standby-Stromverbrauch im vernetzten Bereitschaftsbetrieb verantwortlich.
3. In vielen Produktkategorien bleibt es offen, ob ein tatsächlicher Mehrwert für die Verbraucher*innen durch die zusätzliche Vernetzung entsteht. Dieser ist oft auch von den individuellen Präferenzen abhängig. Allein aus diesem Grunde sollte generell die Möglichkeit zur Abschaltung der Vernetzung gegeben sein.
4. Produktbezogene Gesetze und Verordnungen sind aufgrund der Komplexität vieler neuer Produkte und dem Verschwimmen von Produktarten häufig nicht in der Lage flächendeckende Steuerungsfunktionen hin zu einer nachhaltigen Vernetzung zu erreichen; es sind ausnahmsfreie Anforderungen für das Produktdesign zu formulieren.
5. Es existieren verschiedene Ansätze, die Vernetzung und Digitalisierung im Haushalt für einen effizienteren Betrieb von Geräten und Anlagen zu nutzen. Während für manche Geräte und Anlagen (z.B. Heizung) bereits Einspareffekte nachgewiesen sind, besteht noch Untersuchungsbedarf hinsichtlich der Auswirkungen einer vollständigen Vernetzung auf Klima- und Umweltschutz.

Inhalt

Einleitung und Untersuchungsgegenstand	8
1 Direkte Mehrverbräuche durch vernetzte Geräte.....	10
1.1 Herausforderungen.....	10
Zusätzlicher Energieverbrauch der Vernetzungskomponenten	10
Zusätzlicher Ressourcenverbrauch der Vernetzungskomponenten.....	17
Produktnutzungsdauer – Auswirkungen durch die Vernetzung.....	18
Veränderte Konsummuster und durch die Vernetzung.....	19
Zunehmend schwierigere Klassifizierung von Produkten.....	20
1.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge	22
2 Energie- und Ressourcenverbrauch in Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren.....	26
2.1 Herausforderungen.....	26
Konsum von Diensten aufgrund der einfacheren Verfügbarkeit sowie der schwierigen Wahrnehmbarkeit von Aufwand und Kosten.....	26
Steigender Berechnungsaufwand durch Big Data Anwendungen.....	27
Immer mehr Social-Media und Multimedia Zugänge steigern deren Datenumsätze	28
Key Facts: Externe Auswirkungen von vernetzten Geräten im Haushalt	31
2.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge	31
3 Chancen der Vernetzung zur Energie- und Ressourceneinsparung.....	34
3.1 Potentiale und deren Erschließung.....	34
Energiesparpotentiale durch automatisiertes Energiemanagement der Heizung	34
Regelungstechnische Effizienzpotentiale von Heizkesseln heben.....	35
Flexibilitätpotentiale für die Energieversorgung.....	35
Digitale Messung und Abrechnung von Stromverbräuchen.....	36
Digitale Messung und Abrechnung von Wärmeverbräuchen	36
Bessere Kommunikation von Mensch und Gerät zur Verbesserung der Effizienz in der Nutzung sowie zur Erhöhung der Lebensdauer.....	37
Key Facts: Chancen der Vernetzung zur Energie- und Ressourceneinsparung	37
3.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge	38
4 Exkurs: Energie- und Ressourcenbedarf der Informations- und Kommunikationstechnik	40
5 Literatur	47

Glossar: Begriffe und Abkürzungen

Bereitschaftsmodus / Bereitschaftszustand	Der Zustand, in dem ein technisches Gerät bzw. dessen Schnittstelle fähig ist, Informationen zu empfangen und zu reagieren.
Big-Data	Big-Data bezeichnet die Sammlung und Verarbeitung von großen Datenmengen, meist stammen diese aus vielseitigen Quellen und sind häufig unstrukturiert.
Content-Delivery-Network (CDN)	Ein Content-Delivery-Network besteht aus einer Vielzahl von verteilten Rechenzentren, die gleiche Inhalte bereithalten, um durch parallele Infrastruktur und räumliche Nähe eine hohe Leistung für jede*n Nutzer*in zu ermöglichen
Cloud	Als Cloud werden zentrale IT-Ressourcen bezeichnet, die lokalen Nutzer*innen Dienste anbieten. Es wird unterschieden zwischen einer private-Cloud, die für eine bestimmte Nutzer*innengruppe bestimmt ist und einer public-Cloud, die öffentlich zugänglich ist.
Demand-Side-Integration (DSI)	Anpassung der Nachfragestruktur elektrischer Verbraucher durch direkte Verbrauchsbeeinflussung oder Reaktion des Verbrauchers auf ein meist monetäres Anreizsignal (Apel u. a., 2012)
Digitalisierung	Die Veränderung von Prozessen mit Informations- und Kommunikationstechnik
Energy Harvesting	Energy Harvesting beschreibt das Nutzen von lokal vorhandenen Energiequellen, beispielsweise Sonnenlicht, Bewegung oder Wärme um daraus Kleinstgeräte wie Sensoren mit Energie zu versorgen.
Full-HD	Videowiedergabe mit einer Auflösung von 1920x1080 Pixeln
Gebäudeautomatisierung	Siehe Smart Building
IEA	Internationale Energieagentur
Informations- und Kommunikationstechnik	Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) beschreibt die physischen Geräte, die in erster Linie zur Aufgabe haben Daten zu verarbeiten und zu übertragen
Internet of Things	Das Internet of Things (IoT, übersetzt: Internet der Dinge) bedeutet die Ausweitung des bereits bestehenden Internet der Computer auf weitere physische Objekte
Interoperabilität	Interoperabilität ist die Fähigkeit von Systemen, miteinander Informationen auszutauschen und so zu interagieren.
Nutzungsdauer	Als Nutzungsdauer wird der Zeitraum bezeichnet, in dem ein Gut (hier meist ein technisches Gerät) typischerweise von Verbraucher*innen benutzt wird, unabhängig davon, ob es durch einen technischen Defekt oder andere Faktoren obsolet wird.
Smart-City	Smart-City ist ein Überbegriff, der das Stadtmanagement und Stadtplanung durch verschiedene digitale Prozesse unterstützt.
Smart Home	Oberbegriff für die Digitalisierung in Wohnräumen und -häusern, welche einen Informationsaustausch sowie die Automatisierung von Abläufen ermöglicht; meist zu Zwecken der Steigerung des Wohnkomforts, der Sicherheit sowie des Energiemanagements.
Smart Meter	Ein Smart Meter ist ein Messgerät, meistens zur Abrechnung, das durch digitale Technologien weitere Dienste wie Fernauslesung oder Tarifschaltungen ermöglicht.
Streaming	Streaming bezeichnet eine Technologie, bei der meist Medieninhalte gleichzeitig während des Abspielens geladen werden, sodass kein vollständiger Download vor Beginn der Wiedergabe erforderlich ist.
WLAN	Siehe Wi-Fi
Wi-Fi	Wi-Fi ist eine Sammlung von Kommunikationsstandards der Reihe IEEE 802.11, im deutschen Sprachgebrauch wird dafür häufig Wireless Lan oder WLAN verwendet.
ZigBee	ZigBee ist eine Spezifikation, die auf dem sehr energieeffizienten Kommunikationsstandard 802.15.4 aufsetzt.

Größen und Einheiten

Datenmenge/-volumen	Byte (B), Kilobyte (KB), Megabyte (MB), Gigabyte (GB)
CO ₂ -Emissionen (equivalent)	kg CO _{2eq} , t CO _{2eq}
Elektrische Leistung	Watt (W), Kilowatt (KW), Megawatt (MW), Gigawatt (GW)
Elektrische Arbeit	Kilowattstunde (kWh), Megawattstunde (MWh), Gigawattstunde (GWh), Terrawattstunde (TWh)
Übertragungsgeschwindigkeit	Bit/s, Kbit/s, Megabit/s, Gbit/s

Einleitung und Untersuchungsgegenstand

Die Digitalisierung von Gesellschaft und Wirtschaft ist ein Megatrend, der unser Leben und Arbeiten schon heute sehr stark beeinflusst. Ein wesentliches Element der digitalen Welt ist die zunehmende technische Vernetzung unserer Umwelt. Immer mehr Geräte und sonstige Dinge werden im Internet vernetzt. Man spricht in diesem Zusammenhang vom Internet der Dinge (Internet of Things – IOT). Die IOT-Vision ist, dass nahezu jedes Objekt in Zukunft im Internet vernetzt ist. Diese Entwicklung schreitet so schnell voran, dass es kaum möglich erscheint, ihre Konsequenzen für Mensch und Umwelt abzuschätzen und zu bewerten. Insbesondere die ökologischen Auswirkungen der zunehmenden Vernetzung werden von den relevanten Entscheidern oft gar nicht oder erst im Nachhinein ins Kalkül gezogen.

Diese Kurzstudie soll dazu beitragen, die Aufmerksamkeit schon frühzeitig auf ein sich aktuell sehr dynamisch entwickelndes Teilgebiet der zunehmenden Vernetzung zu lenken. Gemeint ist die zunehmende Vernetzung von Geräten in privaten Haushalten, von der Kaffeemaschine über den Kühlschrank, die Beleuchtung bis zum Saugroboter. Die Entwicklung steht zwar momentan erst am Anfang, es gibt aber deutliche Hinweise, dass sich die Zahl der vernetzten Geräte in privaten Haushalten in den nächsten Jahren sprunghaft nach oben entwickeln kann.

Neben den zusätzlichen Verbräuchen an Ressourcen und Energie kann die Digitalisierung jedoch bestehende Prozesse effizienter gestalten; im Zusammenhang mit Smart-Home oder Smart-Building Visionen werden hohe Effizienzsteigerungen prophezeit. Auch die Chancen der Vernetzung behandelt diese Kurzstudie in Kapitel 3. Die folgende Abbildung soll den Gegenstand der Untersuchung anschaulich eingrenzen:

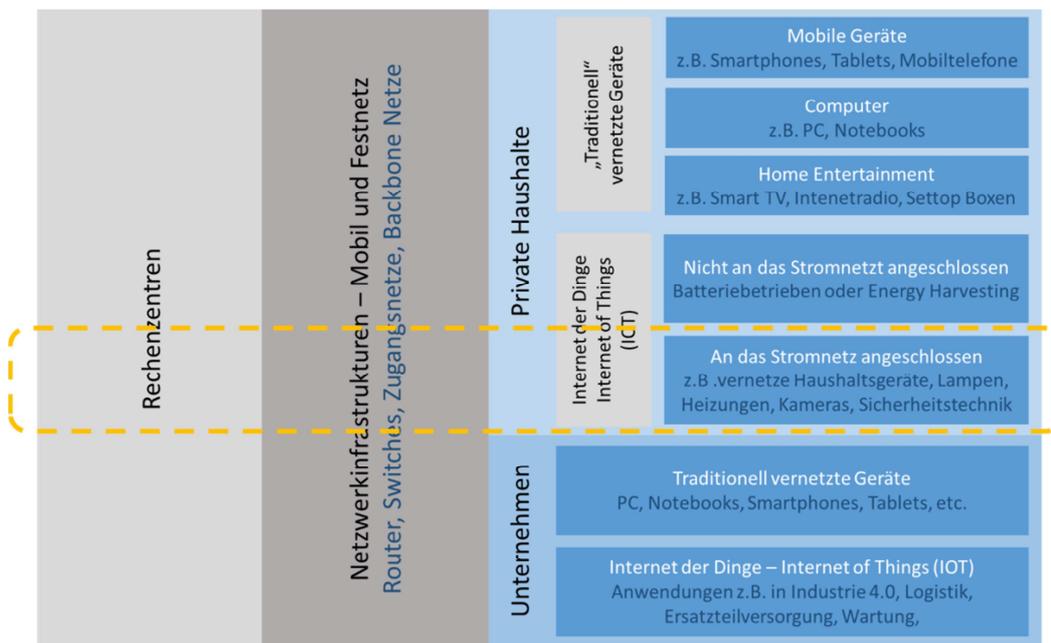


Abbildung 1: Fokus des Papiers

Mit dem dargestellten Fokus beschreitet diese Kurzstudie Neuland. Bis heute gibt es nur wenig belastbare und oft verteilte Informationen zu dem zusätzlich induzierten Energie- und Ressourcenbedarf durch die Vernetzung. Ebenso kursieren sehr unterschiedliche Angaben zu den möglichen Einsparpotenzialen hinsichtlich Energie- und Ressourcen durch mehr Vernetzung und digitale Intelligenz in Geräten. Die vorliegende Kurzstudie soll in diesem Zusammenhang

- die gegenwärtigen Produkttrends erfassen und potentielle Entwicklungen eingrenzen
- vorhandenes Wissen zu Energie- und Ressourcenverbrauch zusammenfassen
- aufzuzeigen, wie hoch der Handlungsbedarf bei verschiedenen Problembereichen schon heute ist – sowohl aus der Perspektive von Bürger*innen als auch von Seiten der Politik darlegen, welche Maßnahmen bereits unternommen wurden und wo diese bereits wirken
- neue problemorientierte Maßnahmen entwerfen

Das Papier richtet sich an eine breite öffentliche Zielgruppe sowie an politische Entscheidungsträger, Bürger, Verbände und Unternehmen.

Die Bewertung von zukünftigen Herausforderungen basieren zum großen Teil auf verfügbaren Marktprognosen zur Entwicklung der Verkaufsmengen von vernetzten und smarten Produkten. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Papiers erscheinen diese Prognosen als sehr wahrscheinlich – dennoch verbleiben Unsicherheiten insbesondere im Hinblick auf die Produktverbreitung und die technischen Details des Produktdesigns.

Abgrenzung: smart - vernetzt

Im Sprachgebrauch der Digitalisierung wird der Begriff „smart“ in unterschiedlichem Kontext verwendet. In vielen Fällen wird dabei eine Vernetzung unterstellt, jedoch nicht immer. Im Rahmen dieses Papiers wird das Adjektiv „smart“ im Hinblick auf seine Sprachbedeutung gemäß Duden „clever, gewitzt“ verwendet. Übertragen auf Produkte im Haushalt induziert das die Eigenschaft, diverse „intelligente“ Fähigkeiten zu besitzen, unabhängig von der Art und Nutzung der Fähigkeit. Ermöglicht wird diese „smartness“ zumeist durch in das Gerät integrierte Elektronik; Schnittstellen bzw. Vernetzung sind hierfür **nicht** automatisch mit inbegriffen. Ein „vernetztes“ Gerät dagegen hat durch die elektronische Vernetzung die Fähigkeit zu kommunizieren. Ohne, dass das Produkt selbst „smart“ ist, kann es durch die Vernetzung ein Element eines smarten Systems sein.

Klassische IKT ist nicht Gegenstand der Untersuchung

„Traditionell“ bereits an das Internet angeschlossene Geräte wie Smartphones, PCs, Notebooks oder auch Smart TV oder Internetradios sind nicht Gegenstand der Untersuchung. Auch die nicht am Stromnetz angeschlossenen Produkte, wie batteriebetriebene Sensoren oder „Smart Clothes“, sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Ebenso wenig werden vernetzte Geräte und Dinge im Unternehmensumfeld betrachtet.

Weitere Auswirkungen, wie beispielsweise die elektromagnetische Verträglichkeit sowie die Auswirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern auf den Menschen durch die zunehmende Vernetzung, sind nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

1 Direkte Mehrverbräuche durch vernetzte Geräte

1.1 Herausforderungen

Die Vision des vernetzten Haushalts nimmt zunehmend Gestalt an. Traditionelle Hersteller wie neue Startups bieten immer mehr Produkte zum Kauf an, die aufgrund ihrer Schnittstellen fähig sind, neue Funktionen für die Nutzer*innen zu ermöglichen. Diese Veränderungen innerhalb der Geräte und die direkten Auswirkungen auf den Gerätebetrieb und damit verbundene Verbräuche werden im Folgenden beschrieben und wo dies aufgrund von wissenschaftlichen Erkenntnissen möglich ist auch quantifiziert.

Zusätzlicher Energieverbrauch der Vernetzungskomponenten

Sei es die LED-Leuchte, der A+++ Kühlschrank oder die Waschmaschine – ein Großteil der Geräte im Haushalt wird immer effizienter, nicht zuletzt, weil diese Effizienz durch verschiedene Verordnungen (insbesondere EU-Ökodesign) für den Verkauf in Deutschland bzw. Europa gefordert wird. Immer mehr Geräte werden mit Schnittstellen ausgestattet, die eine Vernetzung mit anderen Geräten ermöglichen; hierdurch entstehen im Produkt Mehrverbräuche, die sich zum Teil nicht unerheblich auf den Gesamtverbrauch des Produkts auswirken. Sieht man von den wenigen Anwendungen mit durchgehendem Datenaustausch (z.B. Videokamera mit direktem Upload) ab, so entsteht der Großteil des Energieverbrauchs nicht für die Datenübertragung selbst, sondern für die kontinuierliche Ansprechbarkeit dieser Geräte. Dies liegt daran, dass viele Kommunikationsstandards nur begrenzte Möglichkeiten bieten, außerhalb der Kommunikationszyklen in einen Ruhezustand überzugehen und Energie zu sparen – entsprechende Kommunikationschips zeigen eine nahezu kontinuierliche Leistungsaufnahme, unabhängig davon ob sie kommunizieren oder sich in Bereitschaft befinden.

muss das Gerät außerhalb des „eigentlichen“ Betriebs innerhalb einer angemessenen Zeit in diesen Zustand umschalten und kann in diesem Bereitschaftszustand dauerhaft verbleiben.² Es wird davon ausgegangen, dass die Geräte durchgehend ansprechbar bzw. im Bereitschaftsmodus sind (Friedli, Kaufmann, Paganini, & Kyburz, 2016).

² Aus technischer Sicht ist in dem Wert des „vernetzten Bereitschaftsbetriebs“ unter Umständen neben der reinen Energieversorgung für das Kommunikationsmodul (Vernetzung) häufig noch ein weiterer Verbrauch enthalten, beispielsweise für einen Chip, der weitere Fähigkeiten (Smartness) ermöglicht. Auf elektronischer Ebene sind diese Prozesse häufig in einer Platine/Chip implementiert und dementsprechend nicht separat messbar; ob eine getrennte Betrachtung dieser Verbräuche sinnvoll ist, hängt von der Anwendung ab, und kann nicht allgemein beantwortet werden. Dementsprechend wird im Screening immer der gesamte Bereitschaftsenergieverbrauch für Smartness + Vernetzung angegeben.

Beispiel: vernetzte Bereitschaft bei der Beleuchtung

In Abbildung 1 ist beispielhaft die Leistungsaufnahme einer LED-Leuchte dargestellt, angelehnt an eine Produkt-Untersuchung des Solid State Lighting Annex der 4E-Kooperation, der Internationalen Energieagentur (Kofod, 2016). Während zwei Stunden Betriebszeit nimmt die LED etwa 17 Watt Leistung auf, über 24 Stunden am Tag ist die Leuchte jedoch auch in Bereitschaft, um Schaltsignale aus dem Netzwerk zu empfangen.

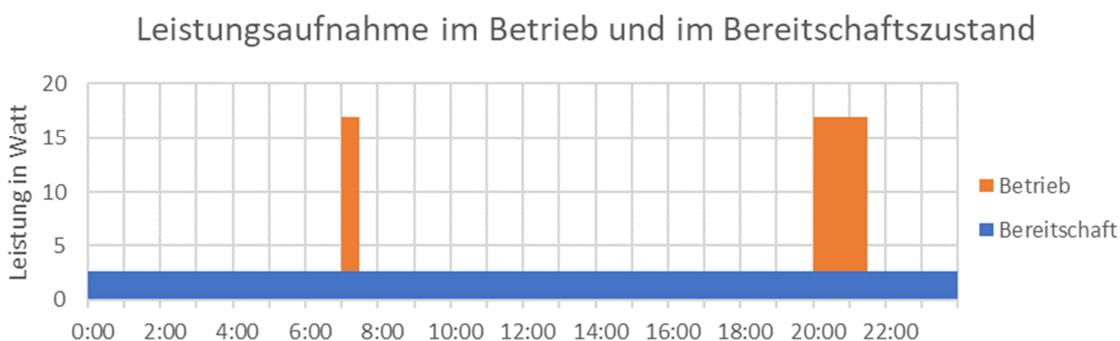


Abbildung 2: Energieverbrauch für Bereitschaft und Betrieb einer LED-Leuchte

Die Leistungsaufnahme dieses Bereitschaftsmodus beträgt 2,7 Watt, wodurch sich über ein Jahr gerechnet fast der doppelte Energieverbrauch für Bereitschaft (23 kWh) im Vergleich zur Betriebsenergie (12,4 kWh) ergibt. Im Durchschnitt der 27 getesteten LED-Leuchten betrug der Energiebedarf in Bereitschaft 35 Prozent des gesamten Energieverbrauches.

Im Hinblick auf dieses Problem wurden in einem Screening charakteristische, gegenwärtig verfügbare Geräte im Haushalt mit entsprechenden Schnittstellen³ betrachtet – die individuellen Funktionen der Vernetzung wurden nicht tiefer analysiert oder verglichen.

Als Quelle für die Leistungsaufnahme für die Ansprechbarkeit der Geräte wird die Herstellerangabe des „vernetzten Bereitschaftsbetriebs“ gemäß der Richtlinie 2009/125/EG (Standby-VO) verwendet, sofern diese angegeben ist; zum Teil werden auch Messergebnisse aus einer Untersuchung der Internationalen Energieagentur (Kofod, 2016) herangezogen⁴. Nach Definition der Standby-Verordnung

³ Je nach Datenlage wurden je Produkt zwischen 3 und 5 Geräte (herstellerunabhängig) betrachtet, Bedingung war eine Schnittstelle im Zusammenhang mit SmartHome-Funktionalitäten.

⁴ Herstellerangaben zu den Stromverbräuchen der Vernetzung der Geräte gibt es praktisch nicht. Abgeschätzt werden können diese Stromverbräuche über den Standby-Stromverbrauch. Dieses Vorgehen wird typischerweise in Untersuchungen zur Bestimmung der Stromverbräuche durch die Vernetzung gewählt (Friedli, Kaufmann, Paganini, & Kyburz, 2016; Kofod, 2016; Leuser, Weiß, & Brischke, 2016). Diese Vorgehensweise ist plau-

Im Folgenden sind die potentiellen Mehrverbräuche für die Bereitschaftsverbräuche einiger typischer Geräte im Haushalt dargestellt:

Tabelle 1: Zusätzliche direkte Energieverbräuche für die Vernetzung der jeweiligen Produkte

	Bezeichnung	Verbrauch für vernetzte Bereitschaft pro Gerät	
		in Watt	in kWh pro Jahr
	Kochen und Backen	1 - 3	8,8 – 26,3
	Spülen	0,5 - 2	4,4 - 17,5
	(Küchen-)Kleingeräte	1,1 - 2	9,6 - 17,5
	Waschen und Trocknen	1,27 - 3	11,1 – 26,3
	Kühlen und Gefrieren	1 - 3	8,8 – 26,3
	Beleuchtung	0,4 - 3	3,5 – 26,3

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass häufig identische Höchstwerte (Worst-Case) für die Verbräuche im Bereitschaftszustand auftreten (26,3 kWh/a), diese entsprechen dem maximal zulässigen Wert der Standby-Verordnung von drei Watt im vernetzten Bereitschaftsmodus (für nicht-HiNa⁵-Geräte). Dies lässt den Rückschluss zu, dass sich Hersteller beim Gerätedesign vor allem an den maximal zulässigen Werten der Standby-Verordnung orientieren. Häufig wird auch bei minimal niedrigeren Verbräuchen auf den Grenzwert aufgerundet, vermutlich um potentiellen Messungenauigkeiten bei Untersuchungen zuvor zu kommen und Klagen zu vermeiden; insbesondere die Messwerte der IEA (Kofod, 2016) lassen dieses Vorgehen vermuten.

sibel, da der Standby-Stromverbrauch (vernetzter Bereitschaftsbetrieb) meist notwendig ist, um die Vernetzung aufrecht zu erhalten. Außerdem wird der Standby-Stromverbrauch der Vernetzung in Summe typischerweise einen sehr großen Anteil am Gesamtenergiebedarf haben, da der Aktiv-Betrieb, in den die Geräte Daten übermitteln, in der Regel nur kurz ist.

⁵ HiNa-Geräte sind Geräte mit direkter Funktion für das Netzwerk wie Router, Repeater und Switches; in dem Screening werden „Nicht-HiNa-Geräte“ betrachtet“

In den Worst-Case Fällen zeigte sich einheitlich, dass die entsprechenden Geräte mit WiFi-Schnittstellen ausgestattet sind. Dieser Kommunikationsstandard ermöglicht hohe Datenraten, ist dagegen weniger auf einen effizienten „Wartebetrieb“ bzw. energieeffizienten Bereitschaftsmodus ausgelegt. Alternative Kommunikationsstandards existieren. Insbesondere im Bereich von batteriebetriebenen Sensoren ermöglichen erst diese Standards eine akzeptable Batterie-/Akkulaufzeit. Der Wechsel zu solchen Standards wird gewissermaßen durch einen LockIn-Effekt durch die hohe Verbreitung der WiFi Router etwas blockiert. In einigen Fällen bieten Hersteller aber auch schon Netzwerkbrücken an, womit beispielsweise der wesentlich effizientere Standard ZigBee (IEEE 802.15.4) an einen bestehenden WiFi Router gekoppelt wird.

Die oben genannten Gerätetypen sollen einen vernetzten Haushalt mit den neuen vernetzten Geräten im Haushalt abbilden; konventionell vernetzte Geräte wie Notebook/PC, Smartphone/Tablet, Spielekonsole oder Internetrouter werden nicht betrachtet. Neben den Produkten auf die hier fokussiert wurde, existiert bereits heute eine Vielzahl weiterer vernetzter Produkte.

Die hohe Innovationsdynamik im Bereich der Heimdigitalisierung lässt erwarten, dass in den kommenden Jahren neben den heute bekannten Produkten noch zahlreiche weitere Anwendungen mit integrierter Vernetzung entwickelt werden.

Für einen Beispiel-Haushalt wurden einige Verbräuche aus dem Screening hochgerechnet, dieser ist in der Abbildung 5 auf Seite 21 dargestellt. Es wurde unterstellt, dass einige charakteristische Anwendungen im Haushalt vernetzt sind. Konkret wurde in dem Beispiel angenommen, dass die üblichen Großgeräte der Weißen Ware (Kühlschrank, Herd/Backofen, Spülmaschine, Waschmaschine/Trockner) sowie zehn Leuchten, zwei (Küchen-)Kleingeräte und die Heizung mit Schnittstellen ausgestattet sind. Dabei werden in Summe Mehrverbräuche von bis zu 330 kWh und entsprechende Stromkosten von etwa 100 € pro Jahr verursacht. Das entspricht etwa dem doppelten Energieverbrauch einer zwei Meter hohen Kühl-Gefrierkombination der Effizienzklasse A++ (Öko-Institut e.V, 2017). Langfristig könnten durch die Entwicklung weiterer vernetzter Technologien aber noch wesentlich mehr vernetzte Produkte in den Haushalten zum Einsatz kommen.

Die Vernetzung von Produkten kennt keine Grenzen - ausgewählte Beispiele:

Smarte Textilien wie z.B. Kopfkissen (Burns, 2018): Ein Kopfkissen kann beispielsweise vibrieren falls die Person darauf nachts schnarcht, ebenso existiert die Funktion, Musik über integrierte Lautsprecher abzuspielen. Es existieren auch Produkte, mit denen die Schlafaktivität (Bewegung/Geräusche) analysiert werden kann, um eine eigene Schlafanalyse zu erhalten. Daneben existieren Textilien, die durch Mikrosensoren Vitaldaten von Menschen zum Beispiel beim Sport erfassen und direkt in die Cloud oder an ein Smartphone oder -Smartwatch übertragen. Ebenso gibt es bereits Kleidung, die über integrierte smarte Fäden verschiedene Gesten erfasst, um damit beispielsweise ein Smartphone zu steuern, also Anrufe entgegenzunehmen, die Wiedergabe von Musik zu steuern, oder sich per Sprachnavigation den Weg zu einem Ziel ansagen zu lassen.

Dash Button (Maehner, 2016): Amazon vertreibt in Kooperation mit verschiedenen Produktherstellern sogenannte „Dash-Buttons“, eine Art Klingelknopf, der am Lagerort eines Produkts angebracht werden kann. Per Knopfdruck können verschiedene Konsumgüter wie Waschmittel direkt bestellt werden; natürlich immer vom entsprechenden Hersteller.

Kühlschrank-Kamera (Modular) (Smarter Applications Ltd., 2018): Es existiert auch eine Nachrüst-Kamera für bisher nicht-smarte Kühlschränke, um das Inventar digital zu erfassen. Diese Kamera wird mit dem WLAN verbunden und im Kühlschrank befestigt. Auf den Bildern wird das Mindest-Haltbarkeitsdatum von Lebensmitteln erfasst und ggf. per Nachricht gewarnt, falls Produkte sich dem Datum nähern. Daneben können Lebensmittel die regelmäßig konsumiert werden automatisch in einem Online-Supermarkt nachbestellt werden. Nähert man sich einem Supermarkt, erinnert die zugehörige Smartphone-App welche Produkte noch gekauft werden sollten.

Vernetzte Kaffeetasse (Ember Technologies, Inc., 2018): Ein Kaffeebecher, der mit dem Smartphone kommuniziert, dabei die Temperatur misst und ggf. fähig ist, ein Getränk auf der richtigen Temperatur zu halten.

Smarte Steuerung der Dusche (Moen Incorporated, 2018): Hier werden die hydraulischen Komponenten in einer Dusche mit einer Steuerung automatisch bedient; über einen Sprachassistenten kann beispielsweise die Temperatur und der Durchfluss gesteuert werden. Daneben kann ein festes Limit für die Dauer eines Duschvorgangs vorgegeben werden.

Neben den gerätespezifischen Problemen hat die Anzahl der verkauften bzw. betriebenen Geräte einen substantiellen Einfluss auf die künftigen Energie- und Ressourcenbedarfe auf nationaler und europäischer Ebene. Eine Abschätzung der aktuellen und künftigen Energiebedarfe durch vernetzte Produkte auf Basis von Prognosen ist zum aktuellen Zeitpunkt mit großen methodischen Herausforderungen verbunden. Der Markt beginnt gerade erst, sich zu entwickeln und wir befinden uns gegenwärtig noch in einer sehr frühen Phase der Markterschließung. Die Zahl der verkauften Produkte

bewegt zum Großteil im vier- bis fünfstelligen Bereich⁶, weshalb die Prognosen mit hohen Unsicherheiten behaftet sind. Die Erfahrungen aus anderen Produktkategorien wie Mobiltelefonen, Smartphones und Tablets zeigen außerdem, dass eine Vorhersage von Marktdurchdringungen neuer digitaler Produkte nur sehr schwer möglich ist.

Aktuelle Untersuchungen gehen für die nahe Zukunft von deutlich ansteigenden Zahlen vernetzter Produkte auf nationaler und europäischer Ebene aus (Bitkom & Deloitte, 2014; Cisco, 2017a; Friedli u. a., 2016). Gründe hierfür sind z.B. deutlich sinkenden Preise, eine durch Standards verbesserte Interoperabilität der Geräte und eine erhebliche Vereinfachung in der Benutzung. Einen ganz erheblichen Schub kann die Entwicklung durch die aktuell von großen Internet-Unternehmen angebotenen Sprachassistenten wie Alexa von Amazon, Google Assistant oder Apple Siri erhalten. Mit diesen internetbasierten Angeboten bekommen die Nutzer*innen ganz neue Möglichkeiten in der Bedienung der technischen Geräte. Statt Informationen umständlich irgendwo abzulesen oder die Geräte über Smartphones oder Tablets fern zu bedienen reichen einfache Sprachbefehle. „Alexa, ist der Kaffee fertig?“, „Alexa, schalte das Licht an/aus!“, „Alexa, ist noch Bier im Kühlschrank?“. Aktuell ist ein deutlicher Trend festzustellen, dass Gerätehersteller ihre vernetzten Produkte für die Bedienung mit solchen Sprachassistenten einrichten. Diese Entwicklung kann eine Marktdynamik entfalten, die alle bisherigen Prognosen zu vernetzten Produkten in Haushalten deutlich übertrifft.

Im Folgenden wird auf Basis verschiedener Prognosen zur künftigen Vernetzung in Haushalten (Cisco, 2017b), (Bitkom & Deloitte, 2014), (Friedli u. a., 2016), (Cebit, 2017) eine eher konservative Abschätzung der Gerätezahlen vorgenommen.

Auf dieser Basis kann abgeschätzt werden, dass die Zahl der zusätzlich in Haushalten vernetzten Produkte in Europa (EU inkl. Großbritannien) im Jahr 2020 zwischen 300 und 600 Mio. und im Jahr 2025 zwischen 800 und 1.700 Mio. liegen wird (Abbildung 3)⁷; das entspricht bis zu drei vernetzten Produkten pro Person. In nicht allzu ferner Zukunft kann die Zahl der neu vernetzten Geräte in Haushalten schon bei 8.500 Mio. (16 Geräte pro Person) liegen. Dann wäre eine weitgehende Vernetzung der heutigen Geräte und Anlagen in den meisten Haushalten erreicht. Wann genau dieser Zeitpunkt sein wird, kann kaum vorhergesagt werden. Bei einer sehr dynamischen Entwicklung kann dies allerdings bereits um 2030 der Fall sein.

⁶ Diese Abschätzung beruht auf wenigen nicht öffentlich zugänglichen Verkaufszahlen von Anbietern/ Herstellern von Gebäudeautomatisierungssystemen und wurde in Einzelgesprächen mit ausgewählten Herstellern bestätigt.

⁷ In Deutschland wird die Zahl der zusätzlich vernetzten Geräte in Haushalten im Jahr 2020 zwischen 50 und 130 Mio. und im Jahr 2025 zwischen 170 und 350 Mio. liegen.

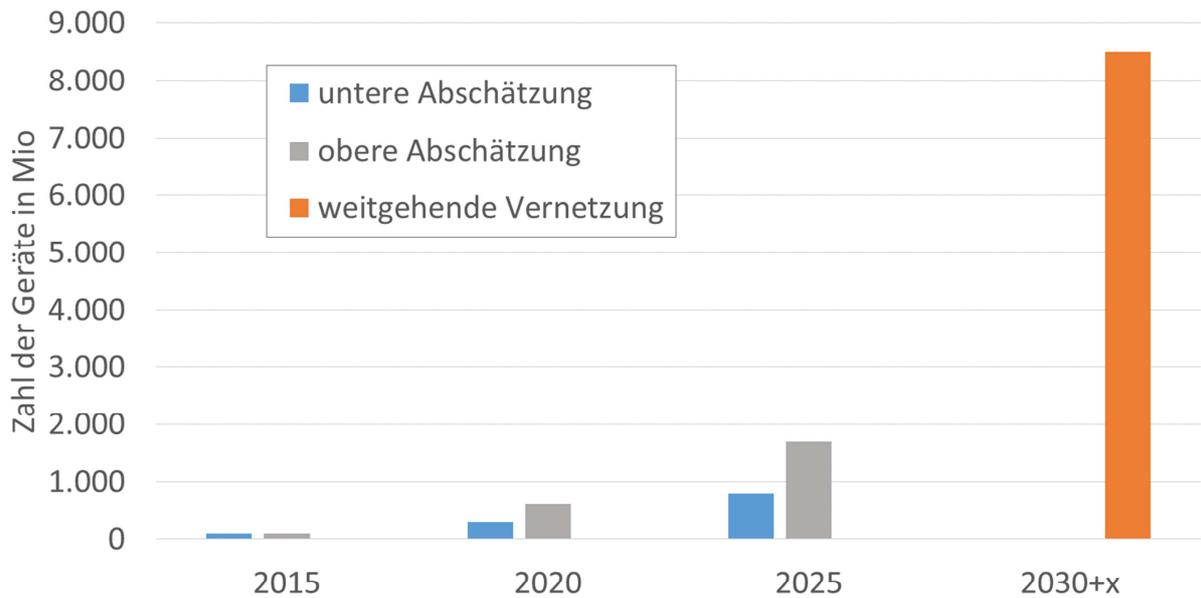


Abbildung 3: Prognose der Zahl der vernetzten Produkte in privaten Haushalten in der EU (incl. GB)

Legt man diese Gerätezahlen zugrunde und schätzt den Standby-Strombedarf der vernetzten Geräte auf Basis der aktuellen Produkte und Technologien, so wird deren Energieverbrauch bis 2025 einen Wert von 7.000 bis 14.000 GWh annehmen (Abbildung 4).

Bei einer weitgehenden Vernetzung der meisten Haushalte kann der Standby-Stromverbrauch vernetzter Geräte auf über 70.000 GWh ansteigen, wenn der durchschnittliche Standby-Stromverbrauch für die Vernetzung nicht deutlich gesenkt werden kann. Zum Vergleich; im Jahr 2016 betrug der gesamte Stromverbrauch von Haushalten in ganz Österreich 17.000 GWh (The European Commission, 2018).

Für Deutschland kann bis 2025 mit einem zusätzlichen Standby-Stromverbrauch von etwa 3.000 GWh pro Jahr gerechnet werden – das entspricht in etwa dem Stromverbrauch von etwa 900.000 Haushalten⁸. Bei einer weitgehenden Vernetzung kann sich dieser Strombedarf auf 15.000 GWh verfünffachen.

⁸ Berechnet auf Basis eines Durchschnittshaushalts in Deutschland mit Zahlen von (Destatis, 2018)

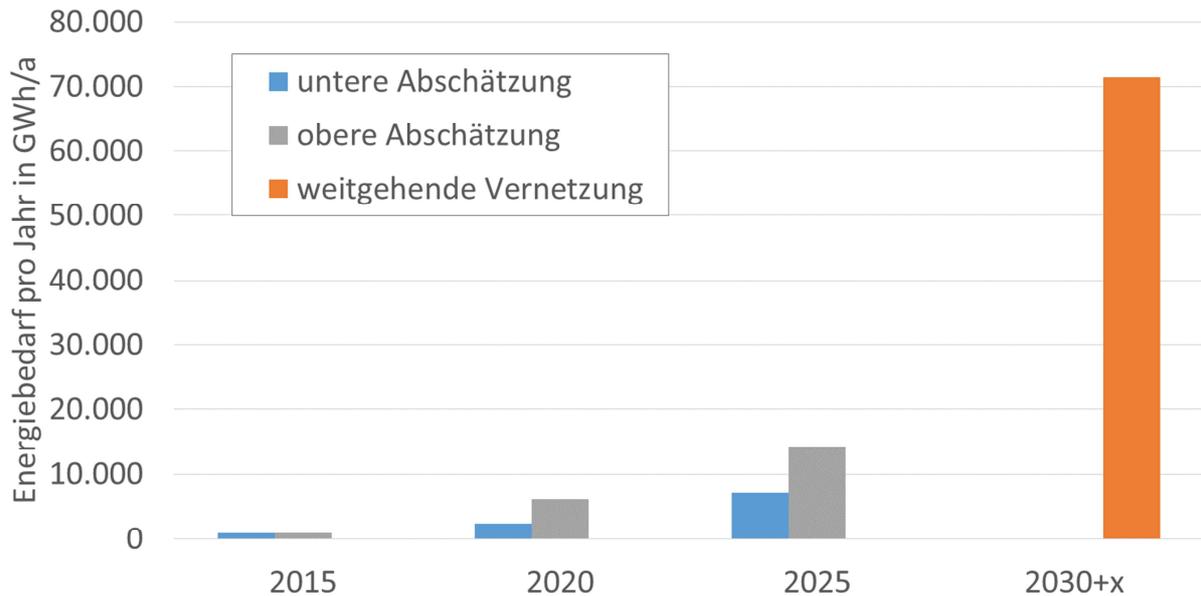


Abbildung 4: Abschätzungen des Energiebedarfs der vernetzten Produkte in Haushalten in der EU (incl. GB) in den Jahren 2015 bis 2025 und Prognose

Zusätzlicher Ressourcenverbrauch der Vernetzungskomponenten

Wesentliche zusätzliche Elemente für die Vernetzung sind Mikrocontroller und Funkmodule – teilweise gibt es auch bereits integrierte Bauteile. Es sind kaum Informationen über die genauen Materialzusammensetzungen dieser Komponenten verfügbar, selbst Hersteller vieler Geräte setzen aus Aspekten der Wirtschaftlichkeit fertige bestückte Standardkomponenten ein. Die Anforderungen an die Vernetzungskomponenten sind aus funktionaler Sicht meistens ähnlich; der primäre Zweck ist Daten zu empfangen und zu senden. Hinsichtlich der Rahmenbedingungen (verfügbarer Platz bzw. Volumen/Gewicht/Platz für Antennen, Temperaturen, EMV⁹) ergeben sich jedoch sehr unterschiedliche Anforderungen aufgrund der Baugrößen der Geräte; beispielsweise ist der verfügbare Platz in einer Leuchte wesentlich geringer, als der in einer Waschmaschine.

Dennoch können zum Ressourcenbedarf von Mikroelektronik grobe Aussagen getroffen werden, indem Analysen von vergleichbaren Platinen und Chips herangezogen werden. Relevante Materialien in solchen Mikrocontrollern sind insbesondere Gold, Indium, Palladium und Silber. Diese Metalle haben einen verhältnismäßig großen ökologischen Fußabdruck, d.h. ihre Gewinnung ist mit hohem Ressourcenaufwand verbunden. Tantal und Niob, die in mikroelektronischen Kondensatoren eingesetzt werden, können ebenso in relevanten Mengen benötigt werden. Tantal, Gold und Niob zählen

⁹ EMV: „Unter elektromagnetischer Verträglichkeit versteht man die Fähigkeit eines Apparates, einer Anlage oder eines Systems, in der elektromagnetischen Umwelt zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für die Umwelt vorhandene Apparate, Anlagen oder Systeme unannehmbar wären.“ Zitat aus Richtlinie 2004/108/EG

zu den „Konfliktrohstoffen“, sie werden z.B. in den Bürgerkriegsregionen im Kongo gewonnen. Außerdem gibt es für sie keine verfügbaren Recyclingprozesse (Angerer u. a., 2009; Erdmann, Behrendt, & Feil, 2011; Fichter, Hintemann, Beucker, & Behrendt, 2012; Schischke, K., Beucker, Clausen, & Niedermayer, 2009).

Nicht betrachtet bei dieser Analyse sind zusätzliche Ressourcenbedarfe durch Monitore und Displays in den Geräten, deren Einsatz meist nur indirekt auf die Vernetzung zurückzuführen ist. Für Displays wird insbesondere das seltene Indium benötigt. Mehr Informationen zum Thema Multimedia/Streaming werden im Exkurs in Kapitel 4 präsentiert.

Eine grobe Abschätzung des Ressourcenaufwandes in der Herstellung der Vernetzungskomponenten kann mit Hilfe einer Untersuchung zu Autonomen Verteilten Mikrosystemen (AVM) vorgenommen werden. Solche Mikrosysteme besitzen vergleichbare Elektronikkomponenten wie die in vernetzten Haushaltsgeräten. Für die Herstellung der Elektronikkomponenten von 500 Mio. AVM wurde ein Energiebedarf von 9,6 PJ (entspricht ca. 2.670 GWh), CO₂-Emissionen von 300.000 t CO₂-eq und ein Wasserbedarf von 3.600.000 m³ ermittelt (Schischke, K. u. a., 2009). Entwickeln sich die Gerätezahlen für vernetzte Produkte in privaten Haushalten wie oben abgeschätzt, so sind im Jahr 2025 in der EU bis zu 1.700 Mio. Geräte zu erwarten. Entsprechend würde die Herstellung der physischen Schnittstellen dann einem Primärenergiebedarf von bis zu 9.080 GWh, CO₂-Emissionen von bis zu 1.020.000 t CO₂-eq und einem Wasserbedarf von bis zu 12.240.000 m³ bedeuten. Dies ist vergleichbar mit dem durchschnittlichen Jahres-Primärenergie-Fußabdruck von 200.000 Personen in Deutschland¹⁰, bzw. dem Jahres-Wasserverbrauch von 260.000 Personen (in Haushalten) in Deutschland¹¹. Nach dem Jahr 2025 ist damit zu rechnen, dass sich die Anzahl der vernetzten Geräte weiter um den Faktor Fünf erhöht auf bis zu 8.500 Mio. Geräte.

Produktnutzungsdauer – Auswirkungen durch die Vernetzung

Ein wesentliches Kriterium hinsichtlich des Ökodesigns von Produkten stellt die Produktnutzungsdauer dar. Hinsichtlich der zunehmenden Vernetzung von Geräten im Haushalt besteht ein hohes Risiko, dass Produkte, die mit entsprechender Mikroelektronik ausgestattet sind, einer verkürzten Nutzungsdauer unterliegen. Das Risiko einer verkürzten Nutzungsdauer entsteht durch mehrere Faktoren:

- Geräte mit einer hohen Komplexität der integrierten Bauteile unterstehen einem größeren Risiko des Ausfalls. Fallen einzelne Elektronikkomponenten aus, kann dies dazu führen, dass ein eigentlich funktionsfähiges Gerät z.B. nicht mehr konfigurierbar oder durch logische Fehlfunktionen nicht mehr nutzbar ist, was dazu führen kann, dass die technische Lebensdauer eines Geräts sinkt.

¹⁰ Berechnet auf Basis der nationalen Verbräuche, pro Einwohner für Deutschland im Jahr 2015, Quelle: (Bundeszentrale für politische Bildung, 2016)

¹¹ Berechnet auf Basis von dem Haushalts-Wasserverbrauch (Eurostat, 2017), Zahlen für 2013

- Software Obsoleszenz kann ein verfrühtes Nutzungsende eines Gerätes bedeuten. Insbesondere Updates für die Sicherheit eines Systems, aber ebenso der Langzeit-Support und die gerätebezogenen Lizenzen/Zertifikate stellen kritische Bedingungen für die Nutzungsdauer von Produkten dar.
- Ebenso stellt die Interoperabilität mit den wichtigsten Kommunikationsstandards ein wichtiges Kriterium für die Lebensdauer von Geräten dar. Ist ein Gerät kommunikationstechnisch aufgrund fehlender Schnittstellen (Hardware/Software) nicht mehr in eine aktuelle SmartHome-Umgebung integrierbar, so stellt auch dies einen potentiellen Grund für einen Gerätetausch dar.
- Produkte der Informations- und Kommunikationstechnik (Notebook, Tablet, Smartphone) unterliegen besonders während der Erstausstattungsphasen einer sehr hohen Innovationsdynamik – der Austausch erfolgt häufig nicht aufgrund eines Gerätedefekts, sondern aufgrund der gesteigerten Leistungsfähigkeit/Funktionsumfang von Neugeräten (Prakash, Dehoust, Gsell, Schleicher, & Stamminger, 2016). Im Zusammenhang mit der Integration von IKT in Geräte im Haushalt ist eine Abfärbung dieser sogenannten psychologischen Obsoleszenz auf Haushaltsgeräte nicht auszuschließen.

Veränderte Konsummuster und durch die Vernetzung

Die Integration von Mikroelektronik zur Erweiterung der Funktionalitäten eines Geräts (smartness) sowie die Ausstattung mit Schnittstellen zur Vernetzung wirken sich auch auf die Nutzungsintensität eines Gerätes aus. Die Integration von Informationstechnik im Gerät ermöglicht unter Umständen neue Funktionen und damit auch ganz neue Nutzungsmuster. Ein typisches Beispiel hierfür ist der smarte Kühlschrank:

Gegenwärtige Konzepte des smarten Kühlschranks beschreiben vielfältige Funktionen. Insbesondere das Fotografieren des Inhalts (häufig aus mehreren Perspektiven) und die direkte Erkennung von den enthaltenen Lebensmitteln anhand einer Bilderkennung¹² werden von allen Herstellern bereits angeboten. Auf dieser Basis kann eine Inventarliste erstellt sowie eine Überwachung des Mindesthaltbarkeitsdatums (MHD) ermöglicht werden. Einzelne Hersteller bieten bereits eine Vernetzung mit Lieferservices für Lebensmittel an (Samsung & Mastercard, 2016). Ein weiterer Service stellt die Erkennung von nicht geschlossenen Türen oder Fehlern der Gerätefunktion dar, was wiederum mit Anwender*innen kommuniziert werden kann. Fast herstellerübergreifend findet sich in den angebotenen Produkten ein großes Touch-Interface auf der Front, über das neben Funktionen des Kühlschranks auch zahlreiche weitere Applikationen (Multimedia, Kommunikation/Soziale Netzwerke, Interaktion mit anderen Haushaltsgeräten, etc.) ermöglicht werden. Die erweiterten Funktionen solcher intelligenten vernetzten Geräte verursachen neben den Ressourcen-



¹² Bilderkennung: Eine Software erkennt beispielsweise die Produkte anhand einer Bilddatei; z.B. ob Äpfel oder Milch im Kühlschrank enthalten ist.

verbräuchen für Herstellung und Betrieb (siehe u. a. Kapitel 2 und Exkurs im Kapitel 4) auch eine Veränderung der Nutzungsart und der Konsumgewohnheiten. Im Falle des oben skizzierten Kühlschranks wären das beispielsweise:

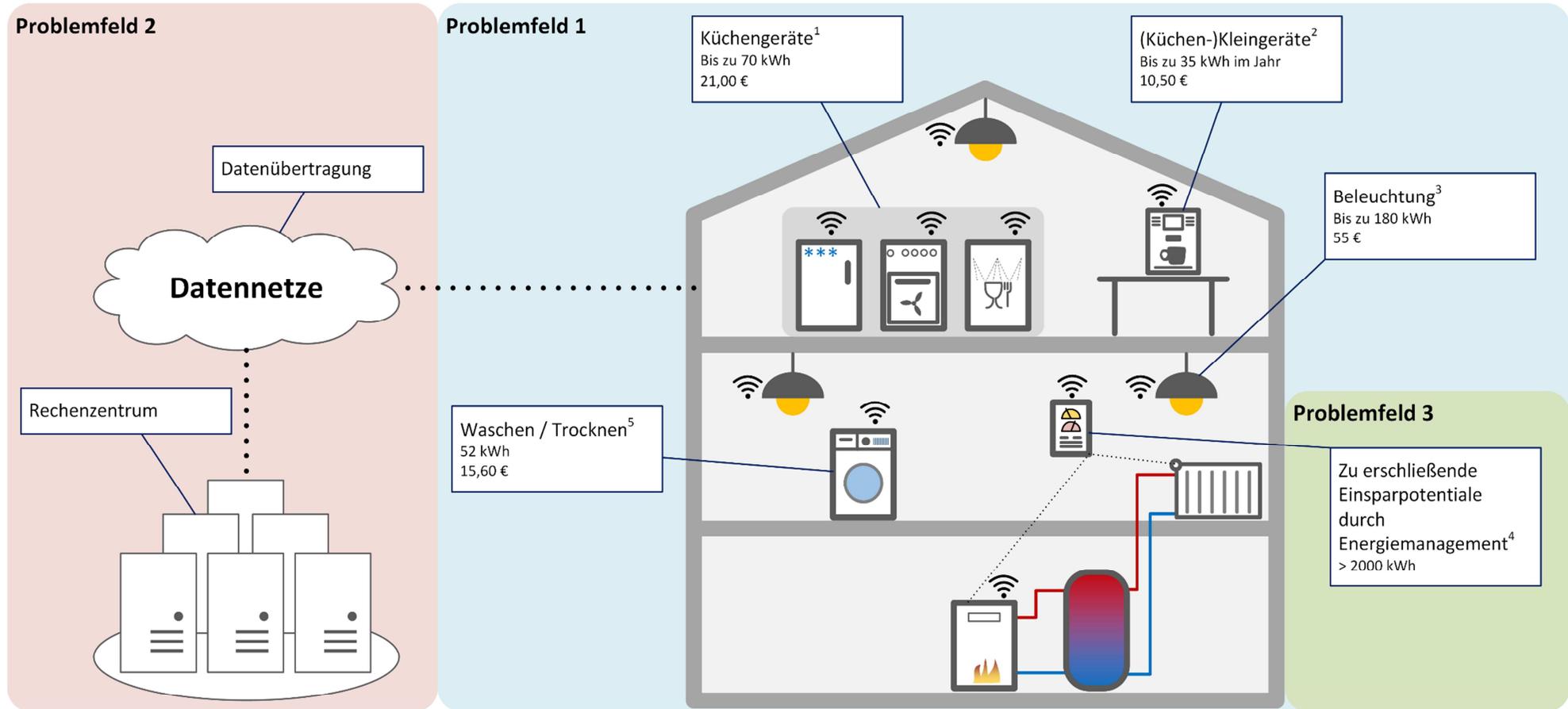
- die Beanspruchung von Lieferservices,
- verstärktes Angebot von Multimedia-Inhalten bis hin zum Multimedia-Haushalt
- ein smarterer Lebensmittelhaushalt sowie zielorientierte Produktwerbung

Diese nutzungsabhängigen, indirekten Auswirkungen durch die Vernetzung können im Rahmen dieser Kurzstudie aufgrund deren Komplexität nicht analysiert werden, in diesem Zusammenhang besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

Zunehmend schwierigere Klassifizierung von Produkten

Durch die Vernetzung von bisher relativ einfach aufgebauten Produkten wird eine Klassifizierung immer komplexer oder sogar unmöglich. Die Integration von elektronischen IKT-Komponenten in herkömmliche Produkte verändert deren Anwendungspraxis und deren Energie- und Ressourcenverbräuche zum Teil erheblich. Dort wo keine scharfe Trennung von Produkten mehr möglich ist, da die Eigenschaften verschiedener Produktkategorien in einem vernetzten/smarten Produkt verschwimmen (z.B. Kühlschrank mit Multimediafunktionalitäten), stoßen die bestehenden Vorschriften an ihre Grenzen. Entsprechende Prüfstellen, die für die Zulassung von neuen Geräten verantwortlich sind, stehen hier vor einem akuten Problem – hier besteht der Bedarf, bestehende Verordnungen an neue Produktarten anzupassen.

Auswirkungen der vernetzten Haushaltsgeräte auf den Energieverbrauch



Anmerkungen: Alle Angaben beziehen sich auf den Endenergieverbrauch,

¹ Kühlschrank+Backofen/Herd-Kombi+Spülmaschine, ² bei zwei Kleingeräten; ³ bei 7 vernetzten Leuchten, ⁴ Einsparpotential bei durchschnittlichem Gebäudezustand in Deutschland, ⁵ Waschmaschine plus Trockner.

Stand: Januar 2018, Für den Haushaltsstrompreis werden 0,30 € pro kWh angenommen

Abbildung 5: Ein Beispielhaushalt mit vernetzten Geräten, Quelle: Borderstep 2018

Key Facts: Direkte Auswirkungen auf die Energie und Ressourcenverbräuche der Geräte

- Die Produktart und die übertragenen Datenmengen wirken sich kaum auf den lokalen Mehrverbrauch des Geräts selbst aus
- Bei den Kommunikationstechnologien gibt es enorme Unterschiede hinsichtlich des Bereitschaftsenergieverbrauchs
- Der zusätzliche Energieverbrauch der Schnittstelle entsteht hauptsächlich für die Bereitschaft; pro Geräte sind hier bis zu 26,3 kWh zusätzlicher Verbrauch pro Jahr zu erwarten
- Weder Energieverbrauch noch problematische Rohstoffe müssen beim Verkauf der Produkte angegeben werden.
- Zusätzlicher Stromverbrauch im Haushalt von bis zu 330 kWh – Mehrkosten von 100 €/a
- Europa: Erwarteter Stromverbrauch im Jahr 2025 von 14 TWh; langfristig bis zu 70 TWh
- Deutschland: Erwarteter Stromverbrauch im Jahr 2025 von bis zu 3 TWh; langfristig bis zu 15 TWh.
- Für die Ressourcenverbräuche existieren bisher keine konkreten Daten; es gibt Indizien, dass problematische Stoffe für die Vernetzung eingesetzt werden (v. a. Gold, Indium, Niob, Palladium, Silber und Tantal) – im Hinblick der hohen erwarteten Verbreitung besteht hier dringender Handlungsbedarf.

1.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge



Ordnungsrecht

Die Ökodesign Richtlinie der Europäischen Union regelt gegenwärtig die Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von 40 Produktgruppen. Die Verordnung (EG) 1275/2008 (Standby-VO) mit den Aktualisierungen der Verordnung (EU) 801/2013 regelt unter anderem die „[...] Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand [...]“. Mit der Verordnung werden Hersteller verpflichtet, ihre Produkte

innerhalb der angegebenen Grenzwerte zu entwickeln, bei der CE-Zertifizierung erfolgt die Überprüfung entsprechender Kennzahlen. Die wesentlichen Anforderungen sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt 2017 (geplante Anforderungen ab 2019 in Klammern¹³)

- Standby/Aus-Zustand: 0,5 (0,3) Watt
- Geräte mit geringer Netzwerkverfügbarkeit (LoNA) im vernetztem Bereitschaftsbetrieb dürfen nicht mehr als 3 (2) Watt Leistung dauerhaft aufnehmen
- Geräte mit hoher Netzwerkverfügbarkeit (HiNA), z. B. Router dürfen nicht mehr als 8 (8) Watt an Leistung dauerhaft aufnehmen
- Möglichkeit zur Deaktivierung der drahtlosen Netzwerkverbindung(en)

Die Europäische Kommission geht davon aus, mit der Senkung des vernetzten Bereitschaftsbetriebs bis 2020 etwa 36 TWh und bis 2025 etwa 49 TWh Strom jährlich einzusparen (Europäische Kommis-

¹³ zum Zeitpunkt der Studiererstellung wurden die für 2019 geplanten Anforderungen überprüft. Tatsächlicher Geltungsbereich, Zeitpunkt des Inkrafttretens und das Ambitionsniveau der Anforderungen können sich daher ändern.

sion, 2013). Das entspricht in etwa der dreifachen Menge, der in Österreich verbrauchten elektrischen Energie in Haushalten¹⁴

Vorschlag 1: Ab 2021 wird die Grenze des „vernetzten Bereitschaftsbetriebs“ auf 1 Watt gesenkt, ab dem Jahr 2023 sind nur noch 0,5 Watt zulässig. Eine Ausnahme für Geräte, die funktional auf eine hohe Bandbreite (z. B. von WLAN) angewiesen sind, kann diskutiert werden. Ebenfalls sollte der Grenzwert für HiNa Geräte ab 2021 auf 6 Watt gesenkt werden.

Gegenwärtig existieren in der Standby-Verordnung einige Schwachstellen, die ungewünscht hohe Energie- und Ressourcenverbräuche ermöglichen.

So sind Produkte, „[...]die ausschließlich für die Nutzung über eine einzige drahtlose Netzwerkverbindung bestimmt sind und nicht über drahtgebundene Netzwerkverbindungen verfügen[...]“ gegenwärtig von der Pflicht befreit, ihre drahtlosen Schnittstellen abschaltbar zu gestalten (Umweltbundesamt, 2014). Außerdem existiert gegenwärtig keine Vorgabe, dass drahtlose Schnittstellen im Auslieferungszustand deaktiviert sein müssen.

Bei verschiedenen Geräten (z.B. Fernsehern) hat es sich gezeigt, dass nur kleine Teile der Nutzer*innen die Vernetzung von einem Gerät aktiv einsetzen (Schneider, Fuchs, Kunow, & Ünal, 2017). Die Lebensdauer eines Geräts kann durch die Integration von Elektronik negativ beeinflusst werden.

Vorschlag 2: Jede drahtlose Schnittstelle muss im Auslieferungszustand (Default-Einstellungen) deaktiviert sein und erst durch ein bewusstes Aktivieren von einer Person in Betrieb genommen werden.

Über eine explizite Design-Anforderung ist zu gewährleisten, dass Geräte unabhängig von der Vernetzungsschnittstelle funktionieren, also „offline“ in ihrer Hauptfunktion nutzbar (bedienbar) sind. Hinsichtlich Updatefähigkeit und -verfügbarkeit, Interoperabilität (Schnittstellen) sowie Sicherheit sollen für neue Produkte Mindestanforderungen gelten. Die Schnittstellen müssen modular aufgebaut sein, sodass ein nachträglicher Ausbau/Reparatur/Tausch der Komponente einfach umsetzbar ist – vergleichbar mit Wi-Fi Modulen in Notebooks.

Die Produktkategorisierung wird immer schwieriger, Produkte lassen sich häufiger nicht mehr zu einer spezifischen Kategorie im Hinblick auf die Ökodesign-Richtlinie zuordnen.

Vorschlag 3: Spezifische Auswirkungen der Vernetzung müssen noch stärker produktübergreifend durch horizontale Verordnungen geregelt werden – vergleichbar mit der Standby-Verordnung.

¹⁴ (österreichsenergie.at, 2018)



Information

Gemäß der Standby-Verordnung (EU 801/2013) müssen alle Geräte ihren Energieverbrauch im Standby sowie bei Geräten mit Schnittstellen im „vernetzten Standby“ angeben. Diese Verbräuche müssen in der technischen Dokumentation bzw. den „Technischen Daten“ auf der Herstellerwebsite angegeben werden. In Abbildung 6 sind solche Herstellerangaben beispielhaft dargestellt.

Energieeffizienz	A+
Leistung Standby/Display an	0,9 W
Leistung Standby/Display aus	0,5 W
Leistung Standby/Netzwerk: Bitte beachten Sie die Hinweise in der Gebrauchsanweisung, wenn Sie die WiFi-Funktion ausschalten möchten.	3,0 W
Zeit auto-Standby/Display an	20,0 min
Zeit auto-Standby/Display aus	20,0 min
Zeit auto-Standby/Netzwerk	20,0 min

Abbildung 6: Beispielhafter Auszug aus den technischen Daten eines vernetzten Backofens, Quelle (Siemens, 2017)

Aus diesen Angaben lässt sich der Mehrverbrauch durch die Vernetzung berechnen. Inwiefern solche kleinen Leistungswerte innerhalb der „Technischen Daten“ bei Verbraucher*innen eine vorstellbare Größe des jährlichen Energieverbrauchs bzw. der Energiekosten hervorrufen, sollte überprüft werden.

Es existieren zahlreiche allgemeine Informationsangebote zum Thema „Standby“, jedoch konnten keine aufbereiteten Informationen für Verbraucher*innen im Bereich „Energieverbrauch vernetzter Geräte“ gefunden werden.

Bei der Verwendung von problematischen Rohstoffen müssen Hersteller gegenwärtig keine Angaben auf dem Produkt machen.

Nutzer*innen sind sich im Umgang mit neuen Geräten häufig nicht bewusst, welche weitreichenden Wirkungen die Erfassung und Eingabe von Daten bedeuten.

Vorschlag 1: Die bestehenden Vorschriften im Zusammenhang mit dem Labeling von Produkten hinsichtlich Energieeffizienz werden überarbeitet und die jährlichen Bereitschafts-Verbräuche für Vernetzung werden explizit aufgeführt. Für Produkte mit problematischen Rohstoffe(n) wird ein Symbolschema erstellt, das einfach erkennbar darüber informiert, wenn durch enthaltene Rohstoffe beispielsweise „hohe Umweltzerstörung“ oder „Kinderarbeit“ verursacht wird. Sind in Produkten Stoffe

enthalten, die für Recycling/Entsorgung von Bedeutung sind, sollte dies auf dem Produkt mit Mengenangaben vermerkt sein.

Vorschlag 2: Außerdem wird eine Beteiligung und Integration von Nutzer*innen in Designprozesse oder InnoLabs/ Homelabs zur partizipativen Erforschung der Nutzungspraxis empfohlen.

Wissenschaft und Forschung



Der Zusammenhang von Vernetzung und Ressourcenverbrauch von Geräten ist noch kaum wissenschaftlich untersucht, nur wenige Institutionen wie die Gruppe 4E der Internationalen Energieagentur haben hierzu Erkenntnisse veröffentlicht.

Insgesamt liegen noch sehr wenige Kenntnisse über die Auswirkungen der Vernetzung von Geräten im Haushalt vor.

Die Auswirkungen der Vernetzung auf die Nachhaltigkeit (Sustainable Development Goals) ist bisher kaum untersucht.

Vorschlag 1: Intensive Unterstützung von Forschungsvorhaben zur Untersuchung von Zusammenhängen der Energieverbräuche, der Rohstoffverbräuche sowie der Obsoleszenz von Geräten. Diese Untersuchungen sollten auch mit einer umfänglichen Marktbeobachtung verbunden sein, um die realen Trends bei aktuellen Produkten zu erfassen. Es sollten für die Untersuchung auch Nutzer*innen-Befragungen durchgeführt werden und anhand von Real-Laboren Effekte analysiert werden.

2 Energie- und Ressourcenverbrauch in Telekommunikationsnetzen und Rechenzentren

2.1 Herausforderungen

Neben den direkten Mehrverbräuchen an vernetzten Geräten im gesamten Lebenszyklus ist es für eine ganzheitliche Betrachtung erforderlich, auch die dadurch verursachten Veränderungen in den Kommunikationsnetzen sowie in den Rechenzentren zu berücksichtigen. Heute sind nahezu alle Anwendungen und Dienste, die mit vernetzten Produkten verbunden sind, auf den Datenaustausch mit zentralen, teilweise weit entfernten Rechenzentren angewiesen. Dieser Datenaustausch geht in beide Richtungen: zum einen werden durch die vernetzten Geräte Daten generiert, zum anderen benötigen die Geräte zentral verfügbaren Daten wie beispielsweise Informationen zum Wetter. Die Datenübertragung im Internet sowie die Verarbeitung von Daten in Rechenzentren verursachen Energieverbräuche, die in diesem Kapitel behandelt werden.

Die Bestimmung des künftigen Anteils der vernetzten Produkte an der Datenübertragung in Telekommunikationsnetzen und der Datenverarbeitung und -speicherung in Rechenzentren ist nur sehr schwer möglich. Dies liegt zum einen an der Unsicherheit über die tatsächliche Verbreitung neuer vernetzter Produkte. Zum anderen liegen gegenwärtig nur wenige Informationen zu den Datenvolumina, die übertragen und verarbeitet werden, vor. Eine direkte Messung solcher Verbräuche ist praktisch nicht möglich, da hierzu weder die notwendigen Messverfahren existieren noch eine repräsentative Cloudanwendung für alle zu erwartenden Anwendungsmöglichkeiten existiert.¹⁵

Konsum von Diensten aufgrund der einfacheren Verfügbarkeit sowie der schwierigen Wahrnehmbarkeit von Aufwand und Kosten

Mit der Vernetzung der Geräte im Haushalt werden in der Regel zusätzliche Online-Dienste angeboten, die auf Anwendungen in der Cloud basieren. Hierfür werden in der Regel Daten ausgetauscht; der Kühlschrank meldet „Die Milch ist fast alle“, die Waschmaschine informiert über die Restlaufzeit der Wäsche und die Überwachungskamera lädt zyklisch Bilder in einen Onlinespeicher. Diese Dienste werden durch die Rechen- und Speicherleistung von Rechenzentren bereitgestellt. Oft ist die Nutzung dieser Dienste nicht mit zusätzlichen direkten Kosten für die Nutzer*innen verbunden, sie werden entweder mit dem Gerätekauf erworben oder vom Anbieter auf andere Weise finanziert. Ein Gerätehersteller hat z.B. ein hohes Interesse an Daten zur realen Nutzung seiner Geräte. Damit kann er künftige Gerätegenerationen besser an den Bedürfnissen der Kunden ausrichten. Außerdem ist z.B. ein Erkennen von Fehlern oder der notwendige Austausch von Ersatzteilen so frühzeitig möglich. Andere Anbieter haben ein Interesse an der Vermarktung der gewonnenen Daten zum Nutzerver-

¹⁵ Cloud-Dienste arbeiten meist stark abstrahiert von der physischen Hardware durch Virtualisierung¹⁵ bzw. Containerisierung¹⁵, so dass eine Zuordnung der physischen Ressourcen zu dem einzelnen Dienst kaum möglich ist.

halten. Es ist davon auszugehen, dass den Bedürfnissen von Bürgerinnen und Bürgern eine untergeordnete Rolle bei der Entwicklung von Diensten zukommt, sondern vordergründig andere Interessen Dritter hinter der Datenerhebung und Vernetzung stecken. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass sich übertragene Datenmengen sowie die Verarbeitung von übertragenen Datenmengen an den Bedürfnissen von Nutzer*innen orientieren.

Steigender Berechnungsaufwand durch Big Data Anwendungen

Gerade wenn, wie zuvor beschrieben, Clouddienste häufig kostenlos angeboten werden, ist in vielen Fällen davon auszugehen, dass hinter den Geschäftsmodellen eine intensive Analyse und Nutzung von erfassten Daten durch Dritte erfolgt. Die Verbraucherzentrale wies im März 2017 in Hinblick auf kostenlose Spiele (Apps/Onlinespiele) explizit auf die versteckten Kosten hin (Verbraucherzentrale (Hrsg.), 2017), eine Schlussfolgerung kann lauten: „Was nichts kostet, wird mit Daten bezahlt“. Die Zeitung „The Economist“ vergleicht in ihrem Artikel „Data is giving rise to a new economy“ die Bedeutung von Daten im 21. Jahrhundert mit der Bedeutung von Rohöl im letzten Jahrhundert. In dem Artikel wird ein direkter Bezug zu den personenbezogenen Daten des Internet-of-Things hergestellt, also entsprechend den vernetzten Geräten im Haushalt (The Economist, 2017). Der Gegenwert dieser Daten wird auf vielfältige Art und Weise generiert. Wirtschaftlich zum Beispiel um Werbebeiträge gezielter auf Kundeninteressen abzustimmen. Aber auch die gesellschaftliche oder politische Datenerhebung für die gezielte Beeinflussung von Bürgern sind gegenwärtige Anwendungsfelder von persönlichen Daten. Die Europäische Kommission schätzt den Wert der persönlichen Daten aller EU-Bürger im Jahr 2020 auf 1 Billion € jährlich (European Commission, 2015). Die Daten werden dabei in gigantischen Datenbanken gesammelt und langjährig kumuliert – im Zusammenhang mit dem Handel solcher Daten ist das milliardenschwere Geschäftsfeld der „Data-Broker“ entstanden. Häufig wird die Entstehung der datenbasierten Geschäftsmodelle im Internet mit der Zeit des Wilden Westens verglichen, im Sinne der Erschließung von neuen Ressourcen ohne jegliche Rahmenbedingungen. Vorrangig werden die Daten genutzt, um Onlinewerbung hinsichtlich der Charakteristika von Einzelpersonen zu optimieren und dadurch Erlöse zu generieren.

Eine Untersuchung von verschiedenen Android-Smartphones zeigte im Januar 2018 auf, dass Nutzer*innen bei der Aktivierung des Dienstes nicht informiert werden, wie umfangreich die Datenmengen sind, die für den Google-Standortverlauf von ihrem Smartphone automatisch an Google gesendet werden (Yanofsky, 2018). Eine ähnliche Problematik im Sinne der Datenerhebung und der fehlenden Transparenz gegenüber Bürgerinnen und Bürgern ist auch im Zusammenhang mit smarten Geräten im Haushalt zu erwarten.

Entsprechend ihres Werts sind enorme Datenmengen nach ihrer Entstehung quasi unbegrenzt in Datenbanken verfügbar, werden gehandelt und immer wieder analysiert – hierfür sind enorme Kapazitäten an Informationstechnik und Elektrizität erforderlich. Es existieren für diese Energie- und Ressourcenverbräuche bisher kaum wissenschaftlich fundierte Kenntnisse. Zu vermuten bleibt, dass diese Daten je nach inhaltlicher „Qualität“ und Granularität sowie deren Umfang sehr unterschiedlich verwendet werden dürften. Hinsichtlich der steigenden Bedeutung dieser Märkte besteht hier dringender Untersuchungsbedarf.

Immer mehr Social-Media und Multimedia Zugänge steigern deren Datenumsätze

Das Internet hat die Nutzung nahezu aller Medien bereits revolutioniert. Bücher als E-Books, Musik und Videos als Stream sowie Zeitungen in Online-Ausgaben sind bereits heute Stand der Technik. Die Verfügbarkeit von Medien hängt mittlerweile kaum mehr von Ort oder Uhrzeit ab, über das weltweite Internet und die verschiedenen physischen Zugänge werden Medien nahezu beliebig verfügbar. Immer häufiger werden vernetzte Geräte auch mit entsprechenden Wiedergabefunktionen (Ton-/Bildwiedergabe) ausgestattet, die einen entsprechenden Medienkonsum ermöglichen.

Steht der Kühlschrank mit großem Touchdisplay erst einmal in der Küche, so wird man beim Kochen vermutlich auch Rezepte abrufen oder Kochshows zum gewünschten Menü ansehen. Ebenso existieren bereits Leuchten mit integrierten Lautsprechern, die ein Musikstreaming an jedem erdenklichen Ort der Wohnung ermöglichen (Sommer, 2018). Durch die immer stärkere Integration von Multimediafunktionen in herkömmliche Geräte ist zu erwarten, dass der Medienkonsum weiter steigen wird. Die wesentlichen Probleme durch Multimedia-Streaming auf den Energie- und Ressourcenverbrauch sind in einem Exkurs in Kapitel 4 auf Seite 40 dargestellt.

Cloudbasierte Services ermöglichen neue Anwendungsfelder

Wie oben bereits dargestellt, gibt es zunehmend „Voice-Services“ zur Steuerung von Geräten und Diensten. Bei der Nutzung solcher Dienste werden die Tonaufnahmen zu einem Cloud-Service gesendet, dort analysiert und gespeichert und die Auswertung bzw. Antwort zurück an das Gerät versandt – häufig geschieht dies in Sekundenbruchteilen. Hierfür ist allerdings eine enorme Infrastruktur in den Übertragungsnetzen und in den Rechenzentren notwendig. Die Daten müssen schnell übertragen, verarbeitet und gespeichert werden. Auf Basis der Erfahrungen im Betrieb werden die Cloud-Systeme weiter optimiert; Geräte, die heute verkauft werden, können morgen mit neuen Fähigkeiten (Skills) erweitert werden. Beispiele für solche Skills sind die Bestellung eines Taxis, die Buchung einer Bahnfahrt oder die Anpassung der Beleuchtung an die jeweilige Situation. Durch eine solche Erleichterung und Anregung zum Konsum können weitere externe Wachstumseffekte stimuliert werden und verursachen entsprechende Auswirkungen auf den Energie- und Ressourcenverbrauch.

Pauschale Internettarife

Anbieter von Festnetz-Zugängen zum Internet bieten fast ausschließlich Flatrate-Tarife an, auch im Mobilfunknetz verbreiten sich diese Pauschal-Tarife insbesondere im Europäischen Umfeld zunehmend. Solche Tarife vermitteln den Nutzer*innen jedoch die Möglichkeit unbegrenzt Daten zu übertragen, das Volumen der Daten spielt dabei maximal eine Rolle, wenn es um die Verbindungsgeschwindigkeit und damit Wartezeiten geht. Ein bewusster Umgang mit den Ressourcen der Kommunikationsnetze ist dementsprechend nicht zu erwarten.

Auswirkungen auf die Telekommunikationsnetze

Eine Abschätzung des Energiebedarfs in den Telekommunikationsnetzen, der durch neue vernetzte Produkte in Haushalten verursacht wird, ist sehr komplex und dementsprechend schwierig. Für die meisten Produktkategorien wie Haushaltsgeräte oder Lampen ist davon auszugehen, dass nur verhältnismäßig wenig Daten übertragen werden. Ein Kühlschrank beispielsweise, der am Tag jeweils beim Schließen zwei Fotos in einer Auflösung von 5 Megapixel aufnimmt und in die Cloud überträgt, wird bei 10 Öffnungen des Kühlschranks am Tag im Jahr ca. 10 GB an Daten übertragen. Bei der heutigen Technik würde so ein Kühlschrank in Telekommunikationsnetzen einen zusätzlichen Strombedarf von 0,5 kWh pro Jahr verursachen¹⁶.

Einige Informationen für die aufgrund vernetzter Haushalte zusätzlich übertragenen Datenmengen können aus Messungen abgeleitet werden, die in Kooperation mit Spiegel Online im Jahr 2015 in einer vollständig vernetzten Wohnung durchgeführt wurden (Horchert & Stöcker, 2015). In dieser Modellwohnung befinden sich insgesamt über hundert vernetzte Geräte. Datenströme wurden je nach Gerätegruppe getrennt über 34 Tage im Herbst 2015 gemessen. Die Messungen zeigen, dass die Mediennutzung die Datenströme im Smart Home gegenwärtig dominiert, Mobilgeräte, Laptop und Musikanlage erzeugen 98,75 Prozent des gesamten Traffics, die Heizungsanlage 0,67 Prozent und andere vernetzte Geräte 0,58 Prozent.

Einen erheblichen Anteil am Datenverkehr können allerdings Lösungen verursachen, bei denen Videodaten von Kameras aus Smart-Home-Haushalten in die Cloud gestreamt werden, z.B. zum Schutz vor Einbrüchen. Hier sind bereits vereinzelt Systeme im Einsatz, die kontinuierlich streamen oder auch mit Bewegungsmelder arbeiten. Mit Bewegungsmeldern können so jährliche Datenvolumina erreicht werden, die nur in der Größenordnung von 10 GB liegen. Wird dagegen kontinuierlich gestreamt kann die Datenmenge deutlich höher liegen und je nach Art und Zahl der Kameras auch 1.000 GB erreichen. Dafür würde der Energieaufwand für die Datenübertragung etwa 50 kWh im Jahr betragen.

Auf Basis der vorliegenden Informationen können kaum Aussagen zum möglichen zusätzlichen Datenvolumen in den Telekommunikationsnetzen durch neue vernetzte Geräte in Haushalten gemacht werden. Plausibel erscheint aus aktueller Sicht ein geringes zusätzliches Datenvolumen. Damit ergeben sich auch nur verhältnismäßig niedrige zusätzliche Energiebedarfe in den Telekommunikationsnetzen, die im Vergleich zum Videostreaming (siehe Exkurs) vernachlässigbar sind und sich in der Größenordnung von max. 5 kWh pro Jahr bei einem durchschnittlich vernetzten Haushalt bewegen dürften.

¹⁶ Der aufgrund der Datenströme im Internet anfallende Energieaufwand kann in Anlehnung an die Analysen von Coroama, Hilty, Heiri & Horn (2013, S. 10) und die aktuelle Schätzung von Hilty (Hilty, 2016, S. 33) auf 0,05 kWh/GB veranschlagt werden. Dies ist auch an die von Aslan et al. (2017) genannten 0,06 kWh/GB sowie den auf schwedischen Daten beruhenden Wert von 0,08 kWh/GB von Andrae und Elder (2015) anschlussfähig und berücksichtigt eine in den nächsten Jahren zu erwartende, leichte Effizienzverbesserung.

Auswirkungen in den Rechenzentren

Die weltweite Kapazität der Rechenzentren wird in den nächsten Jahren stetig zunehmen, Abbildung 7 zeigt einen entsprechenden Ausblick. Vernetzte Produkte haben hieran einen Beitrag.

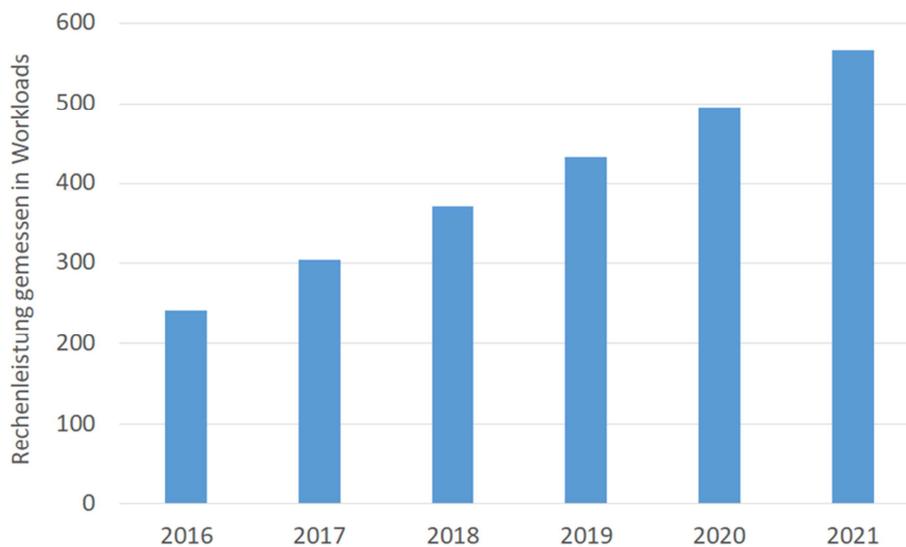


Abbildung 7: Der Trend zu immer mehr Rechenleistung in Rechenzentren weltweit, Quelle: Cisco (Cisco, 2018)

In der EU ist bis zum Jahr 2020 ein Stromverbrauch von Rechenzentren in Höhe von 70.000 GWh zu erwarten (Prakash, Baron, Ran, Proske, & Schlösser, 2014). Auch nach 2020 ist davon auszugehen, dass sich der Stromverbrauch weiter erhöhen wird (Stobbe u. a., 2015). Im Jahr 2025 ist von einem Energiebedarf der Rechenzentren in Europa von ca. 80.000 GWh auszugehen. Grob geschätzt¹⁷ werden im Jahr 2020 davon etwa 2.500 GWh pro Jahr für Datenverarbeitung und Speicherung durch neue vernetzte Geräte in Haushalten benötigt. Bis 2025 steigt dieser Energiebedarf auf 4.000 GWh pro Jahr.¹⁸ Das entspricht der Jahresstromerzeugung von einem kleineren Braunkohlekraftwerk¹⁹. Diese Abschätzung berücksichtigt nicht, dass bisher die meisten Datenanalysen in Rechenzentren außerhalb Europas durchgeführt werden. Sie zeigt aber deutlich, dass neue vernetzte Produkte einen nicht unerheblichen Ressourcenbedarf in Rechenzentren verursachen werden. Wie hoch dieser genau sein wird, hängt stark davon ab, wie viele Daten gesammelt werden und welche Datenanalysen

¹⁷ Cisco geht davon aus, dass ca. 15% der Workload der Rechenzentren durch das Anwendungsfeld Internet of Things, Datenanalyse und Datenbanken verursacht wird (Cisco, 2016). Es wird angenommen, dass im Anwendungsfeld Internet of Things, Datenanalyse und Datenbanken aktuell die Workload nur zu einem geringen Teil (15 %) durch Haushalte bestimmt, dieser Anteil bis 2025 aber kontinuierlich auf 33% ansteigt. Weiterhin wird angenommen, dass der Energiebedarf für die Datenverarbeitung proportional zur Workload der Rechenzentren ist.

¹⁸ Für Deutschland liegen die Schätzungen der Energiebedarfe, die in den Rechenzentren induziert werden, bei 250 GWh in 2015, bei 500 GWh in 2020 und bei 800 GWh in 2025.

¹⁹ Vgl. Kraftwerk Schkopau im Jahr 2017: 4.300 GWh (Fraunhofer ISE & EEX, 2018b)

vorgenommen werden. Insofern ist der Ressourcenbedarf auch eng mit dem Thema Datenschutz verknüpft.

Key Facts: Externe Auswirkungen von vernetzten Geräten im Haushalt

- Umfang und Auswirkungen der sekundären Nutzung der zum Teil persönlichen Daten sind Bürgerinnen und Bürgern häufig nicht bewusst.
- Einmalig ins Internet geladene Daten sind auch langfristig für Data-Handel interessant – Neue Geschäftsmodelle und Wachstumseffekte erhöhen zusätzlich die Energie- und Ressourcenverbräuche
- Der zusätzliche Ressourcenbedarf durch vernetzte Produkte hängt deutlich mit dem Thema Datenschutz zusammen.
- Induzierte Strombedarfe für Verarbeitung und Speicherung der Daten in Rechenzentren können erheblich sein.
- Bisher existieren kaum belastbaren Zahlen über die Korrelation von IoT-Daten aus dem Haushalt und Energieverbräuchen in Rechenzentren
- Vernetzte Geräte tragen zur intensiveren Nutzung von Multimedia Inhalten bei; dadurch entstehen zusätzliche weitreichende Auswirkungen (siehe Exkurs zu Multimedia in Kapitel 4 ab Seite 40).

2.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge



Ordnungsrecht:

Gegenwärtig findet die Konsultationsphase zu geplanten EU-Ökodesign Regularien im Bereich „Enterprise Servers and Data Equipment“ statt.

Neben der Effizienz von Servern ist auch die allgemeine Infrastruktur in Rechenzentren wie Kühlung oder Stromversorgung ein wesentlicher Faktor für den Energie- und Ressourcenverbrauch.

Gegenwärtige Internettarife spiegeln in keiner Weise die entstehenden Kosten an Infrastruktur, Energieverbrauch nutzungsgerecht wider.

Vorschlag 1: Internettarife sollten stärker die Kosten repräsentieren, entsprechend dem Verursacherprinzip. Denkbar ist hierbei auch ein Volumenmodell, in dem vergleichbar mit gegenwärtigen Mobilfunktarifen ein entsprechendes Volumen (z.B. 50 GB) zur Verfügung steht und bei der Überschreitung eine Drosselung der Geschwindigkeit erfolgt, ohne Mehrkosten zu verursachen.

Begrenzung von zunehmenden Big-Data-Analysen von personen-/wohnungsbezogenen Daten und dadurch entstehende Energie- und Ressourcenverbräuche.

Vorschlag 2: Durchsetzung eines konsequenten Datenschutzes für europäische Bürgerinnen und Bürger. Die Prinzipien der Datenvermeidung und Datensparsamkeit als horizontale Aufgabe im Ökodesign-Prozess aufnehmen.

Neue Kommunikationsnetze werden geschaffen, ohne dass alte Netze zurückgebaut werden, dadurch entstehen Energie- und Ressourcenineffiziente Mehrfachstrukturen.

Vorschlag 3: Sukzessives vermeiden/verbieten von Produkten, die nicht mit neuen Netzwerktechnologien kompatibel sind.

Die Effizienz von Rechenzentren ist zum großen Teil eine Frage der Ausstattung und des Alters.

Vorschlag 4: Konkrete Mindestanforderungen an Rechenzentren beim Neubau; Kategorisierung von neuen Servern nach Energieverbrauch. Dies sollte jedoch mit Bedacht geschehen, denn entstehen durch Effizienzvorschriften zu starke Nachteile, könnten die Akteure ihre Rechenzentren in komplett unregulierte Weltregionen verlagern.

Neben der Effizienz von Servern ist auch die allgemeine Infrastruktur in Rechenzentren wie Kühlung oder Stromversorgung ein wesentlicher Faktor für den Energie- und Ressourcenverbrauch

Vorschlag 5: Für neu gebaute Rechenzentren sollten hohe Auflagen hinsichtlich der Effizienz der Infrastruktur gelten.



Information:

Nutzer*innen von Cloud-Diensten stehen bisher nur wenige Möglichkeiten zur Information über die Auswirkungen von diversen Produkten zur Verfügung, dementsprechend ist Konsument*innen häufig nicht bewusst, wieviel Energie und Ressourcen durch Cloud- und Online-Dienste benötigt werden

Vorschlag 1:

Kennzeichnung von Produkten, die auf eine Internetverbindung bzw. Online-Dienste angewiesen sind.

Vorschlag 2: Informationskampagnen für Verbraucherinnen und Verbraucher auf Basis von Markuntersuchungen „wie effizient/ökologisch sind die unterschiedlichen Cloud-Anbieter“.



Wissenschaft und Forschung

Es existiert das Förderprogramm StepUP des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. In diesem Programm können verschiedene Branchen und somit auch die Rechenzentren Zuschüsse für Pilotvorhaben beantragen, in denen Effizienzsteigerungen im Fokus stehen.

Der Zusammenhang von Big-Data Analysen und Energieverbrauch ist wissenschaftlich bisher nur sehr schwach beleuchtet.

Vorschlag 1: Zusammenhang von Energieverbräuchen (Big-Data) und Datenschutz untersuchen

Die Datenlage über die gegenwärtigen Entwicklungen von IoT-Geräten insgesamt ist relativ schwach; ein großer Anstieg der Verkaufszahlen wird erwartet.

Vorschlag 2: Kontinuierliches Monitoring des nationalen/EU-weiten Bestands an Rechenzentren, Analyse der Workload und der Effizienz; mehr Transparenz über Stromverbräuche und Strommix fordern.

Innerhalb der Rechenzentren existieren noch immer starke Vorbehalte gegenüber innovativen Effizienztechnologien.

Vorschlag 3: Mehr begleitete Praxis-Langzeittests von Technologien, die Effizienz im Rechenzentrum steigern und die Sicherheit und Zuverlässigkeit belegen.

3 Chancen der Vernetzung zur Energie- und Ressourceneinsparung

3.1 Potentiale und deren Erschließung

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Vernetzung im Haushalt wäre es einseitig, nur den Aufwand von Energie und Ressourcen für die Vernetzung der Geräte im Haushalt zu betrachten. Die Vernetzung hat das Potential auch Mehrwerte in vielen Bereichen zu generieren, für Komfort und Unterhaltung, die Bewältigung der täglichen Aufgaben, Sicherheit und nicht zuletzt auch zur Energie- und Ressourceneinsparung. Speziell auf letztere Mehrwerte, deren Potentiale und Hemmnisse soll in diesem Kapitel eingegangen werden.

Im Zusammenhang mit der Digitalisierung werden schon seit den Anfängen visionäre Bilder gezeichnet, wie die Digitalisierung zur Lösung globaler Probleme hinsichtlich Umwelt- und Klimaschutz beitragen kann. Populäre Vertreter hiervon sind beispielsweise das papierlose Büro sowie die Einsparung von Dienstreisen durch Onlinekonferenzen. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die jüngsten Entwicklungen und Auswirkungen wird aber deutlich, dass die gewünschten Effekte nicht immer eintreten – in einigen negativen Fällen kann sich durch den Einsatz von digitalen Technologien der Energie- und Ressourcenverbrauch erhöhen. Genau deshalb ist eine kritische Betrachtung dieser Trends und der entscheidenden Faktoren so wichtig, um zukünftig die Potentiale der digitalen Technologien für eine nachhaltige Entwicklung zu nutzen.

Energiesparpotentiale durch automatisiertes Energiemanagement der Heizung

Raumwärme stellt mit etwa 70% den größten Anteil des Energieverbrauchs in privaten Haushalten dar (Wilke, 2013). Effizienzsteigerungen bei der Heizung haben entsprechend große Auswirkungen auf den Energieverbrauch in Haushalten. Lässt man beispielsweise die Heizkörperventile durch ein Energiemanagementsystem regeln, können hier 25 bis 30 Prozent der Wärme gespart werden. Das Energiemanagement erreicht diese Einsparung, indem es durch einen Sensor im Raum oder durch den Smartphone-Standort die Anwesenheit des/der Bewohner*in feststellt und nur heizt, wenn sich jemand in der Wohnung befindet. Bei regelmäßigen Zyklen wie Arbeitstagen kann das System aufgrund von Erfahrungswerten die Wohnung vorheizen, um höchstmöglichen Komfort zu bieten. Geöffnete Fenster können entweder mit Fensterkontakten oder durch eine Analyse des Raumtemperaturverlaufs festgestellt werden. In anderen Regionen Europas/der Welt kann ein solches Management gleichermaßen die Klimatisierung regulieren. Diese Einsparungen variieren stark nach dem jeweiligen energetischen Gebäudestandard (Gebäudedämmung) sowie dem Verhalten der Bewohner*innen. In einer durchschnittlichen Wohnung in Deutschland kann eine Einsparung von etwa 2.000 kWh thermischer Energie pro Jahr durch ein Energiemanagement erreicht werden²⁰. Selbst

²⁰ Eigene Berechnungen auf Basis von (Kersken & Sinnesbichler, 2013; Umweltbundesamt, 2017)

wenn die Eigenverbräuche (Elektrische Energie mit Primärenergiefaktor sowie die Ressourcen in einem Lebenszyklus) für die Automatisierung entgegengerechnet werden, bleibt ein enormer Netto-Einspareffekt bestehen.

Regelungstechnische Effizienzpotentiale von Heizkesseln heben

Neben den Tools zur Optimierung der Wartung lassen sich auch Effizienzpotentiale heben, die von einer fehlerhaften oder fahrlässigen Parametrierung der Heizungssteuerung herrühren. Viele Heizkessel werden häufig aus fehlendem Fachwissen oder Zeitdruck bei der Inbetriebnahme nicht vollständig auf eine individuelle Anlagenkonfiguration angepasst. Als Konsequenz können beispielsweise zu hohe Rücklauftemperaturen in Brennwert-Kesseln auftreten, die wiederum den Effizienzgewinn einer Brennwertanlage zunichtemachen. Über entsprechende Schnittstellen und eine Anbindung der Anlage an das Internet können solche Probleme aus der Ferne identifiziert werden und zum Teil durch Anpassung von Parametern auch behoben werden. Im Hinblick auf die sehr häufig falsch eingestellten Heizkessel und die dadurch verursachte Verschlechterung der Brennwertnutzung werden hohe Einsparungen dadurch erwartet (Pehnt, Mellwig, & Werle, 2016), (Verbraucherzentrale Bundesverband e.V., 2011).

Der regelungstechnische Stand von Wärmeerzeugern bietet noch diverse Möglichkeiten, die Effizienz sowie die Transparenz und Bedienbarkeit zu verbessern. Bei Wärmepumpen hängt beispielsweise die Jahres-Arbeitszahl und damit die Anlageneffizienz stark von der lokalen hydraulischen und regelungstechnischen Einbindung in das System ab; im Betrieb weichen diese stark von Laborbedingungen ab, wodurch Effizienzziele häufig nicht erreicht werden (Fraunhofer ISE, 2017). Durch eine kontinuierliche Erfassung der Strom- und Wärmemengen können Abweichungen im Betrieb einfach diagnostiziert werden. Die Hersteller stehen dem jedoch häufig ablehnend gegenüber.

Flexibilitätpotentiale für die Energieversorgung

Neben der Effizienzsteigerung existieren Ansätze, Haushaltsgeräte zeitlich flexibel zu betreiben, um ihre Betriebsweise mit der Verfügbarkeit von Elektrizität aus fluktuierender Erzeugung (Windkraft und Photovoltaik) besser in Einklang zu bringen. Im Folgenden wird anhand von Beispielen gezeigt, wie Flexibilität erschlossen werden könnte:

Kühl- und Gefriergeräte haben die Aufgabe, innerhalb eines bestimmten Temperaturbandes Lebensmittel zu lagern und damit zu konservieren. Steht Energie im Überfluss zur Verfügung (niedriger Strompreis), können die Kühlgeräte stärker kühlen, die Temperatur im inneren sinkt. Sollte zu einem anderen Zeitpunkt die Energie im System knapp sein (hoher Strompreis), so könnte das Kühlgerät die Leistungsaufnahme reduzieren. Je nach Inhalt (Speichermasse) sowie Wärmedämmung des Geräts kann eventuell über mehrere Stunden auf eine Energiezufuhr verzichten, ohne Temperaturgrenzen der Lebensmittelbevorratung zu verletzen. Alleine durch Kühl- und Gefriergeräte könnte die Netzlast in Deutschland um 787 MW (ca. ein großes Gaskraftwerk) gesenkt werden, oder aber um 1 574 MW (ca. zwei große Gaskraftwerke) erhöht werden.

Waschmaschinen und Wäschetrockner bieten ein relativ hohes Potential für Demand-Side-Integration. Auf Deutschland bezogen ist eine flexible Leistung von 156 MW umsetzbar sowie eine Energie von 625 MWh verschiebbar. Dieses Flexibilitäts-Potential ist auf eine nicht unwesentliche Anpassung des Nutzerinnen- und Nutzerverhaltens angewiesen und verursacht z.B. bei nächtlichen Waschgängen eventuell unerwünschten Lärm und kann bei Abwesenheit zu weitreichenden Wasserschäden führen. Aus diesen Gründen ist die praktische Umsetzbarkeit bzw. der reale Nutzen solcher Modelle kritisch zu hinterfragen und noch nicht abschließend geklärt.

In diversen Untersuchungen hat sich jedoch gezeigt, dass die Bereitschaft von Bürger*innen relativ gering bis zu vernachlässigen ist, Gewohnheiten aufgrund eines Preissignals des Stromanbieters anzupassen. Um langfristige Potentiale zu ermöglichen, ist eine direkte Anbindung und Steuerung des flexiblen Endgeräts durch ein lokales Energiemanagement eher zielführend. Neben den im Haushalt vorhandenen flexiblen Geräten bieten sich bei der Betrachtung von gesamten Wohngebäuden bzw. Quartieren technische Flexibilitätsoptionen durch Elektromobilität, Stromspeicher, Blockheizkraftwerke sowie von Wärmepumpen.

Digitale Messung und Abrechnung von Stromverbräuchen

Das „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“ schreibt den Rollout von modernen Messeinrichtungen sowie vernetzten intelligenten Messsystemen in mehreren Stufen für Deutschland vor. Einfache Haushalte (< 6000 kWh) ohne Erzeugungsanlagen (PV/BHKW) können im Zeitraum von 2020 bis 2032 abhängig von den jeweiligen Kosten mit solchen Messeinrichtungen ausgestattet werden. Eine allgemeine Verbreitung von Smart-Metern gilt als Grundlage für flexible Stromtarife und ist damit als Enabler für die zuvor beschriebenen Flexibilitätspotentiale zu betrachten.

Der Rollout ist jedoch umstritten, da er für die Bürger*innen einerseits Mehrkosten bedeutet, andererseits existieren Untersuchungen, die den Smart Metern unter bestimmten Umständen Abweichungen bescheinigen. Ebenso existieren Bedenken hinsichtlich des Eigenverbrauchs von Smart Metern; eine ausführliche Untersuchung hat jedoch ergeben, dass je nach technischer Ausgestaltung auch Einsparungen gegenüber herkömmlichen Ferraris-Zählern möglich sind (Preisel, Wimmer, Frey, & Huser, 2012, S. 97).

Eine präzise Bewertung des Nutzens und Aufwands eines Smart Meters im Strombereich kann nur im Hinblick auf einen spezifischen Haushalt erfolgen. Grundsätzlich lässt sich jedoch sagen: Je höher Energieverbrauch/Energieerzeugung eines Geräts oder einer Anlage ist desto mehr Energie kann ein Smart Meter zeitlich verlagern oder auch einsparen.

Digitale Messung und Abrechnung von Wärmeverbräuchen

Die Abrechnung von Heizwärmeverbräuchen erfolgt über sogenannte Heizkostenverteiler, meist installiert und betrieben von einem Ablesedienst wie Techem oder ISTA. Diese Heizkostenverteiler sind mittlerweile fast ausschließlich digital ausgeführt und verfügen über drahtlose Schnittstellen. Das erleichtert einerseits die Ablesung der Messgeräte, da das Ablesepersonal nicht mehr die Wohnungen betreten muss. Gleichzeitig kann diese drahtlose Schnittstelle jedoch genutzt werden, um

solche Heizkostenverteiler und deren Daten in ein Energiemanagement einzubinden, um Bewohnern ihre aktuellen Energieverbräuche live zu präsentieren. Die Abrechnung der Verbräuche kann dadurch auch laufend geschehen und nicht nur einmal jährlich nach der manuellen Ablesung. Kombiniert mit Präsenzmeldern lässt sich hierdurch die Heizwärme präziser entsprechend den Bedarfen der Bewohner dosieren und ggf. können über ein Interface Einspartipps für einen effizienteren Betrieb an Bewohner vermittelt werden. In öffentlichen Gebäuden wurden in den letzten Jahren durchwegs positive Erfahrungen mit Einzelraumregelung gesammelt.

Bessere Kommunikation von Mensch und Gerät zur Verbesserung der Effizienz in der Nutzung sowie zur Erhöhung der Lebensdauer

Ähnliche Effekte wie bei Heizanlagen und entsprechenden Service-Unternehmen sind auch bei Geräten des Alltags in Haushalten zu erwarten. Häufig hängen die Energie- und Ressourcenverbräuche stark von der richtigen Bedienung/Benutzung eines Geräts ab. Im Zusammenhang mit Waschmaschinen hat die Universität Bonn und das Ökoinstitut (Stamminger, Belke, & Graulich, 2017) herausgefunden, dass sich durch bessere Information des/der Nutzers*in am Bedienpanel eine höhere Akzeptanz für energieeffiziente Waschprogramme ergibt; ähnliche Effekte könnte auch eine informationsbasierte Bedienung via Smartphone/Tablet bewirken. Hilfreich wäre eine Informationsmöglichkeit mit Verbrauchsangaben zu den jeweiligen Programmen. Zusätzliche Hinweise über die Beladung der Maschine sowie Waschmitteldosierung können für weitere Einsparungen sorgen. Es ist zu erwarten, dass die Einsparungen bei einer Waschmaschine wesentlich höher liegen, als der Aufwand, der für eine entsprechende Ausstattung notwendig ist; hierzu existieren gegenwärtig jedoch keine Langzeituntersuchungen. Ein Wissensdefizit besteht dabei auch, inwieweit eine Vernetzung für solche Potentiale erforderlich ist (Sensitivität der Nutzer*innen) und ob sich eine Automatisierung auch nachhaltig im Gesamteffekt auf den Ressourcenverbrauch auswirkt.

Key Facts: Chancen der Vernetzung zur Energie- und Ressourceneinsparung

- Intelligenter Steuerungen mit Schnittstellen in Geräten haben ein Potential, die Geräteeffizienz zu steigern. In vielen Anwendungsbereichen fehlen jedoch noch valide Ergebnisse aus Langzeituntersuchungen (Reallabore).
- Heizungsanlagen bieten durch Betriebsoptimierung sehr hohe Potentiale zur Energieeinsparung, hier sind je nach Gebäudeart etwa 20-30 Prozent Energieeinsparung denkbar.
- Die Vernetzung kann durch verbesserte Bedienung und automatische Erkennung von Bauteilalterung auch positive Auswirkungen auf die Lebensdauer von Geräten haben.
- Es ist noch nicht abschließend geklärt, ob Geräte zwangsweise vernetzt sein müssen, oder ob die Effizienzpotentiale sich alleine durch Smartness in den Geräten (ohne Kommunikation) erschließen lassen; dies müssen weitere Untersuchungen zeigen.
- Die Vernetzung kann neben Effizienz- auch Flexibilitätspotentiale erschließen; diese sind jedoch auf wenige (große) Geräte und Anlagen im höheren Leistungsbereich (Kilowatt) beschränkt.

3.2 Existierende Maßnahmen und Vorschläge



Ordnungsrecht:

Für den Smart Meter Rollout im Elektrizitätsbereich existieren bereits Gesetze, die einen Rollout vorantreiben. Im Wärmebereich existieren größere Energie-Einsparpotentiale, jedoch finden neue Messinfrastrukturen hier kaum Einzug – ein Rollout von Smart-Metern ist momentan nicht vorgesehen.

Vorschlag 1: Verpflichtende Ausstattung von Smart Metern zur Erfassung von Wärmemengen bei größeren Renovierungen (mit KfW-Finanzierung) sowie Neubauten.

Zyklischer Nachweis der Einhaltung von der Gebäudeenergieeffizienz durch Fernablesen von Messdaten durch Prüfsachverständige. Gegebenenfalls müssen Nachbesserungen sowie Beratung hinsichtlich energetischer Defizite am Gebäude oder Nutzer*innenverhalten durchgeführt werden.

Die Effizienz von Heizkesseln im Bestand wird vor allem über die Verpflichtung durch die BImSchV geregelt, nach der in Heizkesseln die Abgasverluste durch den Bezirksschornsteinfeger überprüft werden. Detaillierter wäre eine kontinuierliche Messung der Effizienz mit einem digitalen Wärmemengenzähler im Kessel gemeinsam mit der Messung des Gasverbrauchs, wodurch auch weitere Kesselverluste neben den Abgasverlusten berücksichtigt werden.

Vorschlag 2: Alle neu verkauften Wärmeerzeuger müssen mit einer Einrichtung zur Erfassung ihrer generierten Wärmemenge ausgestattet sein, ebenso muss der Verbrauch von zugeführter Energie (Brennstoff/Strom) erfasst werden. Über eine standardisierte Schnittstelle müssen diese Werte auslesbar und Nutzer*innen dieser Wärme zugänglich sein. Ebenso muss die Schnittstelle so gestaltet sein, dass alle Signale/Indikatoren für Schäden aus der Ferne abrufbar sind bzw. ein Warn-/Meldesystem eingerichtet werden kann.



Information: Hersteller von entsprechenden Geräten bieten häufig Informationen zu potentiellen Einsparmöglichkeiten an.

Im Internet existieren schon heute einige Portale, die unabhängige Informationen für Nutzer*innen bereitstellen.

Vorschlag 1: Aktive Informationskampagnen zur herstellerunabhängigen Information von Verbraucher*innen.

Nutzer*innen können (Werbe-) Informationen von Herstellern aufgrund der Komplexität häufig nicht bewerten (Beispiel: Sind smarte Geräte automatisch effizienter?)

Vorschlag 2: Einheitliches Online-Portal(e) zum anschaulichen Vergleich von Verbräuchen. Hier können Energieverbräuche anschaulich visualisiert werden und stärken dadurch das Bewusstsein für einen nachhaltigen Umgang mit Energie – Die Datengrundlage hierfür schaffen Smart Meter und einheitliche Schnittstellen.



Wissenschaft und Forschung

Effizienzsteigerungen durch Energiemanagement in Wohngebäuden konnte bereits durch mehrere Untersuchungen in Deutschland gezeigt werden. Im Bereich der Geräte im Haushalt sind die Effizienzpotentiale der Digitalisierung noch nicht fundiert untersucht. Während statische Modelle bereits Einsparungen erwarten lassen, fehlen langfristige Untersuchungen mit möglichst realen Umgebungsbedingungen.

Ebenso fanden Untersuchungen im Zusammenhang mit Flexibilität aus Wohngebäuden und Geräten im Haushalt statt, einige Untersuchungen laufen gegenwärtig (z.B. SINTEG).

Es ist heute noch offen, ob das Gerätedesign hinsichtlich der Nutzungsdauer durch Vernetzung optimiert werden kann.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert mit dem Programm „Einsparzähler“ gegenwärtig Pilotvorhaben, die mithilfe von smarten Messinfrastrukturen Energieeinspareffekte nachweisen. Die Höhe der Förderung orientiert sich dabei entsprechend dem Erfolg der jeweiligen Maßnahme.

Vorschlag 1:

Einrichtung von Reallaboren zur Untersuchung von Effizienzgewinnen und Flexibilitätspotentialen in Haushalten. Dabei sind kontinuierliche Neuerungen zu integrieren, um ein möglichst ganzheitliches Bild der Auswirkungen zu entwickeln. Sehr entscheidend ist dabei auch, die Wechselwirkungen mit dem Nutzer*innen-Verhalten zu analysieren.

Es ist heute noch offen, ob das Gerätedesign hinsichtlich der Nutzungsdauer durch Vernetzung optimiert werden kann.

Vorschlag 2:

Langfristige Untersuchung von Geräten hinsichtlich deren Lebensdauer. Identifizierung von Schlüsselfunktionen der Vernetzung, die sich positiv auf die Lebensdauer auswirken. Denkbar sind Supportfunktionen für die Gerätediagnose, vorzeitige Erkennung von Defekten und ein konkretes Anbieten von Reparaturservice und organisatorische Abwicklung an Gerät oder Smartphone-/Tablet-App.

Ferner sind Möglichkeiten von Herstellern zu untersuchen, womit diese durch den Datenaustausch mit Geräten im Bestand Erfahrungen über Schwachstellen/Defekte besser in die Neuentwicklung von Geräten einfließen lassen können.

4 Exkurs: Energie- und Ressourcenbedarf der Informations- und Kommunikationstechnik

Hinsichtlich vieler Querbezüge und inhaltlicher Überschneidungen der vernetzten Haushaltsgeräte mit klassischer Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) werden in diesem Exkurs einige wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem Bereich der IKT aufbereitet, um eine Diskussion über zukünftige Auswirkungen der Vernetzung zu erleichtern.

Key Facts

- Ganzheitlich gesehen wird der Energie- und Ressourcenbedarf der Informations- und Kommunikationstechnik voraussichtlich weiter ansteigen
- Europäische Regulierung zu Öko-Design und Produktkennzeichnung zeigt erste Erfolge
- Energie- und Ressourcenbedarf der IKT verschiebt sich vom Endgerät ins Internet
- IKT verursacht Wachstums- und Reboundeffekte
- Auswirkungen der Änderung des Nutzungs- und Freizeitverhaltens durch IKT bisher kaum erforscht

Der Energie- und Ressourcenbedarf der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist in den letzten 20 Jahren sehr deutlich angestiegen. Dafür ist insbesondere die zunehmende Zahl der im Internet vernetzten Geräte und ihre Nutzung in privaten Haushalten verantwortlich. Im Jahr 2010 war die IKT für 10% des gesamten Stromverbrauchs in Deutschland verantwortlich (Stobbe u. a., 2015).

Aufgrund des wachsenden Stromverbrauchs der IKT wurden auf europäischer Ebene bereits im vergangenen Jahrzehnt im Rahmen der Europäischen Ökodesign-Richtlinie und der Energieeffizienz-Kennzeichnung Gegenmaßnahmen ergriffen. Und diese waren erfolgreich. Sie haben einen großen Anteil an der Tatsache, dass der Strombedarf der IKT in Deutschland zwischen 2010 und 2015 um 15% gesunken ist. Damit konnten 8.200 GWh Strom pro Jahr gespart werden, so viel wie drei mittlere Kohlekraftwerke im Jahr produzieren. Vor allem der Strombedarf in den privaten Haushalten ist sehr deutlich gesunken. Im Jahr 2015 benötigten die IKT-Geräte in Haushalten 27% weniger Strom als 2010 (Abbildung 8).

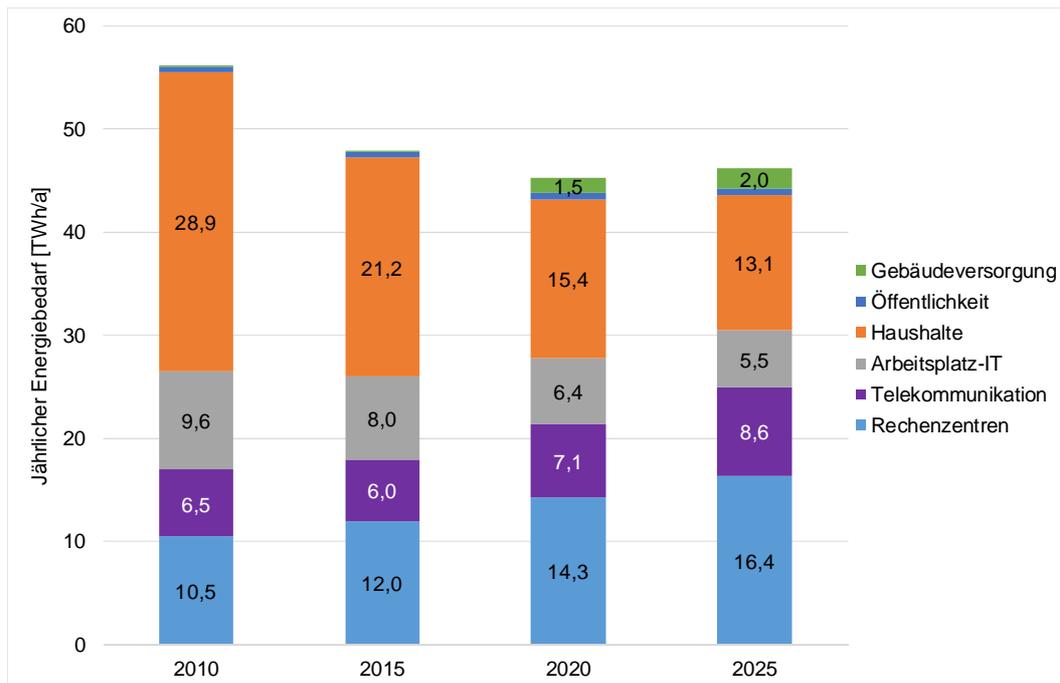
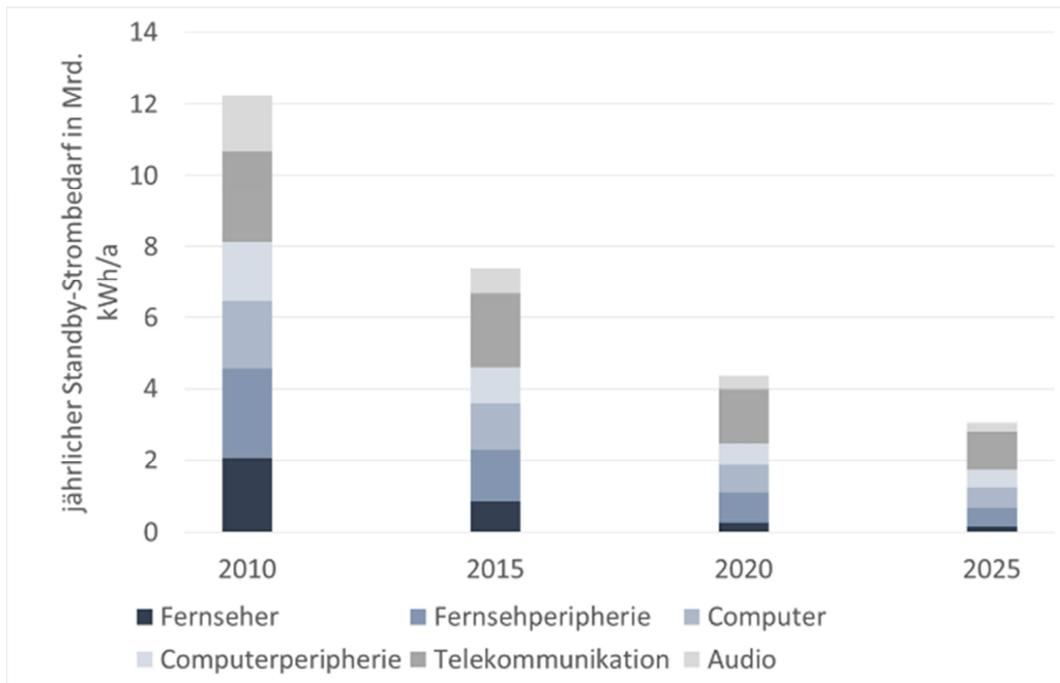


Abbildung 8: Elektrischer Jahresenergiebedarf der IKT in Deutschland 2010 – 2025 (Basisprognose) (Stobbe u. a., 2015)

Zu verdanken sind diese Einsparungen insbesondere der Reduzierung des Standby-Stromverbrauchs durch die Standby-Verordnung, der Ökodesign Verordnung für TV-Geräte sowie der Energieverbrauchskennzeichnung für Fernsehgeräte. Allein der Standby-Stromverbrauch der IKT-Geräte hat sich zwischen 2010 und 2015 um fast 5.000 GWh pro Jahr reduziert und bis 2025 wird sich der Standby-Stromverbrauch der IKT-Geräte noch weiter reduzieren – um weitere 4.000 GWh (Abbildung 9). Nicht berücksichtigt ist bei dieser Betrachtung allerdings der Standby-Stromverbrauch der neuen im Haushalt vernetzten Geräte. Dieser kann die erreichten Erfolge wieder zunichtemachen. Auch bei Fernsehgeräten wurden in kurzer Zeit beachtliche Erfolge erzielt. Im Jahr 2015 brauchten alle Fernsehgeräte in Deutschland über 3.000 GWh pro Jahr weniger als 2010. Ein großer Flachbildfernseher (50“ bis 59“) hat im Jahr 2010 noch fast 500 kWh Strom pro Jahr verbraucht, im Jahr 2015 benötigt ein vergleichbares Gerät nur noch ein Viertel davon (Stobbe u. a., 2015). Hier zeigt sich, welche hohe Relevanz die Transparenz für den Nutzer durch die neu eingeführte Verbrauchskennzeichnung für Fernsehgeräte für den Strombedarf der Geräte haben kann.



Quelle: Borderstep 2017 auf Basis von Stobbe et al. 2015

Abbildung 9: Standby-Stromverbrauch der IKT-Geräte in Deutschland 2010 bis 2025 (Basisprognose) (Stobbe u. a., 2015).

Auch in Zukunft kann der Strombedarf der IKT nach den aktuellen Prognosen in den Haushalten weiter sinken. Dennoch ist davon auszugehen, dass ganzheitlich gesehen der Energie- und Ressourcenbedarf durch die IKT-Nutzung weiter ansteigt.

Dafür sind vor allem vier Entwicklungen verantwortlich:

- **Zwar sinkt der Strombedarf der Geräte in den Haushalten, ihr Carbon Footprint und ihr Materialverbrauch nimmt aber zu.** Die Zahl der IKT-Geräte steigt kontinuierlich an. Und ihre Herstellung benötigt viel Energie und Ressourcen. Bei einem Smartphone oder einem Tablet werden nur ca. 15% des Carbon Footprints durch die Nutzung bestimmt, ca. 80% sind auf die Produktion zurückzuführen. Diese Entwicklung führt dazu, dass der Carbon Footprint von PCs, Laptops, Smartphones und Tablets in den Haushalten in Deutschland zwischen 2010 und 2015 um 15% angestiegen ist. Die kleiner werdenden Geräte machen es auch immer schwieriger, die eingesetzten Rohstoffe zurückzugewinnen. Die hierzu notwendigen Recyclingprozesse sind aufwendig und meist kaum wirtschaftlich. Große Mengen an Elektromaterial aus IKT-Geräten werden in Deutschland trotz der vorhandenen Sammelsysteme nicht verwertet. Gerade kleine Geräte bleiben irgendwo in Schubladen liegen oder wandern einfach in den Hausmüll. Bezogen auf das Gewicht werden mehr als 40% der Geräte aktuell nicht wieder eingesammelt (Hintemann, 2017).
- **Die zunehmende Vernetzung von immer mehr Geräten** führt dazu, dass sich der Strombedarf der IKT mehr auf die Rechenzentren und Telekommunikationsnetze verschiebt. Ein Tablet oder Smartphone verursacht schon heute etwa zehnmal mehr Strombedarf im Internet als im Gerät selbst (Hintemann, 2017; Hintemann & Fichter, 2015). Der gesamte Energiebedarf der Telekommunikationsnetze und Rechenzentren in Deutschland wird in Summe von 18.000 GWh im Jahr 2015 auf 25.000 GWh in Jahr 2025 ansteigen. Und diese Zahlen berücksichtigen noch nicht die

Tatsache, dass die Server für viele Smartphone- und Internet-Anwendungen in Rechenzentren außerhalb Deutschlands stehen.

- **Bei der Nutzung von IKT treten Wachstums- und Rebound-Effekte auf.** Zwar machen neue digitale Techniken viele Dinge einfacher und effizienter – gleichzeitig wird die Nutzung aber auch immer intensiver und sie führen zu mehr Wachstum. So könnten Telefon- und Videokonferenzen Dienstreisen einsparen, tatsächlich steigt aber die Zahl der Dienstreisen ständig an (VDR, 2017). Trotz Computer und E-Mails sind der Papierverbrauch und die Menge an verschickten Briefen in der Vergangenheit weiter angestiegen. Und auch die durch IKT verbesserte Logistik führt nicht dazu, dass weniger LKW auf unseren Straßen fahren. Zwar würde der Energie- und Ressourcenbedarf vielleicht noch schneller steigen, bis heute konnte die IKT aber auch noch nicht dazu beitragen, dass er gesenkt werden konnte.
- **Durch IKT werden ständig neue Produkte und Angebote bereitgestellt. Diese führen auch zu einem Wandel in der Freizeitgestaltung und in der Nutzung verschiedener Geräte.** In den letzten Jahren ist eine sehr deutliche Verschiebung in der Geräte-Nutzung festzustellen. Allein zwischen 2016 und 2017 hat sich die durchschnittliche tägliche Nutzung des Internets um 21 Minuten erhöht (Tabelle 2). Der ökologische Impact solcher Verhaltensänderungen auf den Ressourcenbedarf ist bisher kaum abzuschätzen. Reduziert sich der persönliche Energie- und Ressourcenbedarf vielleicht sogar dadurch, dass mehr Zeit im Internet verbracht wird und damit andere umweltschädlichere Verhaltensweisen wie Autofahren reduziert werden? Es gibt erste Studien, die dies vermuten (Sekar, Williams, & Chen, 2018). Aber richtig untersucht ist die Frage des veränderten Nutzungs- und Freizeitverhaltens auf den Ressourcenbedarf bisher kaum.

	In Minuten	In Std:Min	Veränderung zu 2016 in Min
Gesamt	149	2:29	+ 21
Männer	175	2:55	+ 22
Frauen	125	2:05	+ 21
14 - 29 Jahre	274	4:34	+ 29
30 - 49 Jahre	183	3:03	+ 35
50 - 69 Jahre	98	1:38	+ 13
ab 70 Jahre	36	0:36	+ 8

2016: pauschale Abfrage. 2017: Daten aus dem Tagesablauf-Schema, Day-after-recall: Alle Onlinetätigkeiten werden in 15-Minuten-Intervallen aufsummiert. Berechnung 2016 und 2017: Alle Befragten gehen in die Berechnung ein; diejenigen, die am Tag vor der Befragung das Internet nicht genutzt haben, mit dem Wert Null.
 Basis: Erwachsene ab 14 Jahren in Deutschland (2017: n=2.017).
 Quellen: ARD/ZDF-Onlinestudie 2016 und 2017

Tabelle 2: Tägliche Nutzungsdauer im Internet im Jahr 2017 und Vergleich zu 2016 (ARD & ZDF, 2017)

Video- und Audiostreaming als Treiber für mehr Energie- und Ressourcenbedarf?

Die Menge an Daten, die über das Internet übertragen werden, nimmt ständig zu. Im Jahr 2016 wurden pro Breitband-Internetanschluss im Monat 28 Gigabyte (GB) an Daten übertragen – das sind 12 GB mehr als im Jahr 2015, also eine Steigerung um über 60% in nur einem Jahr (Abbildung 10).

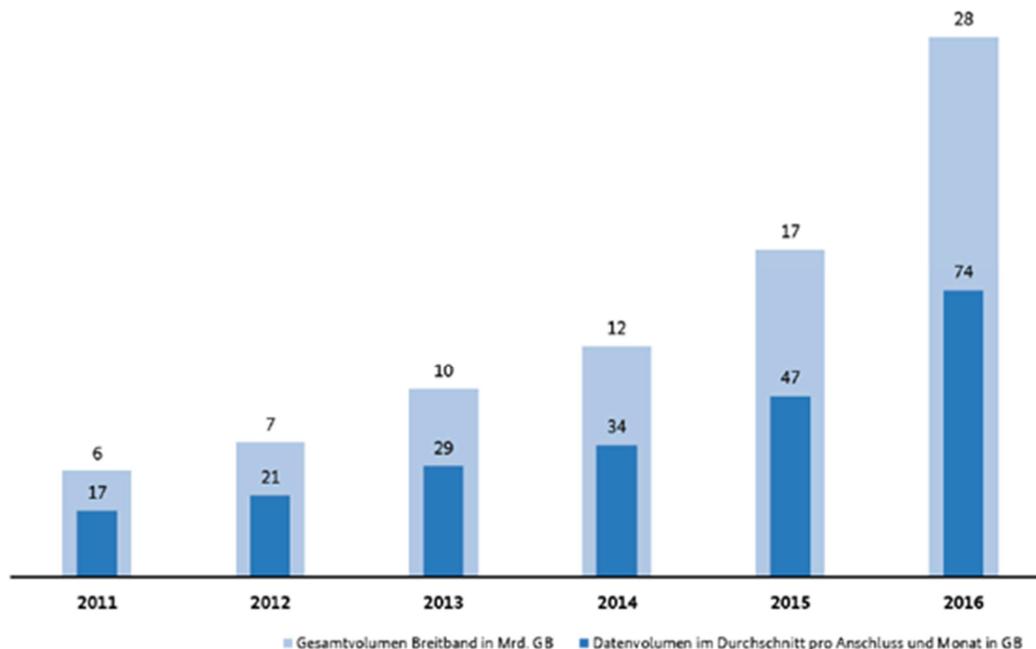
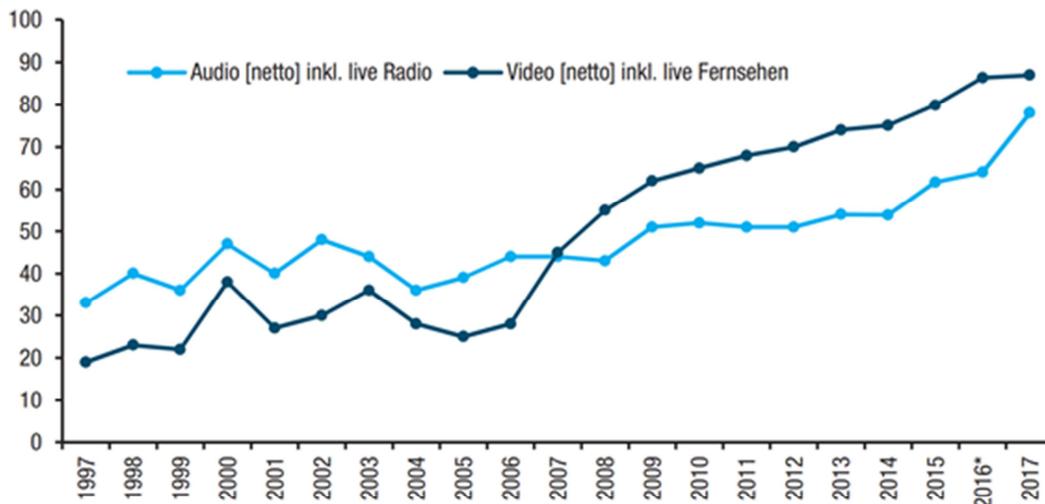


Abbildung 10: Entwicklung des monatlichen Datenvolumens pro Breitband-Internetanschluss in Deutschland zwischen 2011 und 2016 (BNetzA & BKartA, 2017)

Wesentlicher Grund für diese deutliche Steigerung ist die Zunahme des Video- und Audio-Streamings (Abbildung 11). Klassisches Fernsehen, DVDs oder CDs verlieren mehr und mehr an Bedeutung. Mehr als 70% aller Deutschen nutzen Videostreaming, bei den unter 50jährigen liegt der Anteil sogar über 90 % (Kupferschmitt, 2017).



*Ab 2016 ohne Musik über YouTube und Musik-Erkennungsdienste, inkl. Radio-Mediatheken.
 Basis: Onlinenutzer ab 14 Jahren in Deutschland (2016: n=1 264; 2017: n=1 811).

Abbildung 11: Entwicklung von der Audio- und Videonutzung über das Internet zwischen 1997 und 2017 (Schröter, 2017)

Das datenintensive Videostreaming ist einer der Treiber für den immer weiter ansteigenden Energiebedarf der Rechenzentren. Nach Prognosen von Cisco steigt der Anteil des Videostreamings an der Arbeitslast (Workload) aller Rechenzentren weltweit bis zum Jahr 2021 auf fast 10% (Abbildung 12). Geht man davon aus, dass der Anteil des Videostreamings am Strombedarf der Rechenzentren in etwa dem Anteil an der Workload entspricht, so errechnet sich ein Strombedarf in den Rechenzentren nur für das Videostreaming von ca. 40.000 GWh pro Jahr. Das entspricht in etwa dem Jahresstromverbrauch von ganz Ungarn.

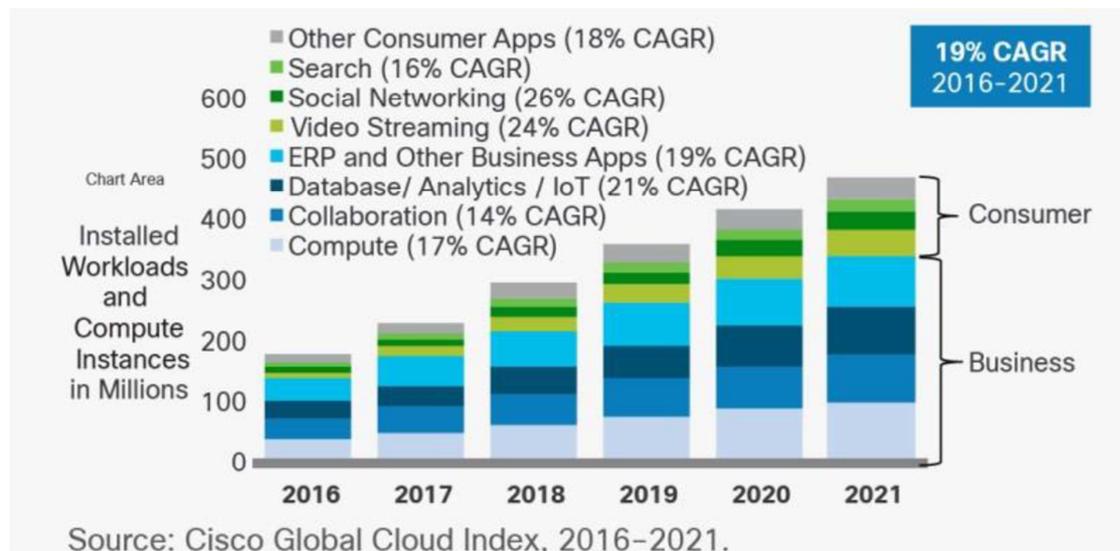


Abbildung 12: Entwicklung der Workload der Rechenzentren weltweit 2016 bis 2021 (Cisco, 2018)

Schlussfolgerungen

Informations- und Kommunikationstechnik hat bereits heute einen sehr großen Anteil am weltweiten Energie- und Ressourcenbedarf. Ob der ökologische Footprint der IKT auch in Zukunft weiter ansteigt, ist nur schwer vorhersehbar. Die Zusammenhänge sind sehr komplex und bisher auch nur teilweise erforscht. Hier besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf – vor allem in Hinblick auf eine ganzheitliche Betrachtung des Produktlebenszyklus, auf die Bedeutung von Wachstums- und Reboundeffekten und die durch IKT bedingten Veränderungen im Freizeit- und Nutzungsverhalten.

Zwar werden oft hohe Potenziale zur Energie- und Ressourceneinsparung durch IKT gesehen (Climate Group & GeSI, 2008; GeSI & Accenture Strategy, 2015), bisher sind Einsparungen in der Praxis allerdings kaum erreicht worden (Hintemann, 2017). Schreibt man die Trends der Vergangenheit fort, so scheint es sehr wahrscheinlich, dass die IKT auch in Zukunft mehr Energie- und Ressourcen benötigt, wenn nicht entsprechend gegensteuert wird. Die Erfolge beim Stromverbrauch der IKT-Geräte in privaten Haushalten zeigen aber auch, dass eine staatliche Regulierung hier sehr gut unterstützen kann. Wichtige künftige Handlungsfelder sind insbesondere:

- Der Stromverbrauch der IKT muss weiter reduziert werden, insbesondere in den Telekommunikationsnetzen und in den Rechenzentren
- Die Transparenz für den Nutzer zum externen Energie- und Ressourcenbedarf muss verbessert werden
- Um den Rohstoffbedarf durch IKT deutlich zu senken und den Carbon Footprint zu verringern sollten die Nutzungsdauer der IKT-Geräte verlängert und das Recycling alter Geräte verbessert werden.

5 Literatur

- Andrae, A., & Edler, T. (2015). On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. *Challenges*, 6(1), 117–157. <https://doi.org/10.3390/challe6010117>
- Angerer, G., Erdmann, L., Marscheider-Weidemann, F., Scharp, M., Lüllmann, A., Handke, V., & Marwede, M. (2009). *Rohstoffe für Zukunftstechnologien - Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage*. (ISI-Schriftenreihe „Innovationspotenziale“). Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Apel, R., Aundrup, T., Buchholz, B., Domels, H., Funke, S., & Gesing, T. (2012). *Demand Side Integration – Lastverschiebungspotenziale in Deutschland*. Frankfurt am Main: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
- ARD, & ZDF. (2017). ARD/ZDF-Onlinestudie 2017 - Kernergebnisse. Abgerufen 2. Februar 2018, von http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2017/Artikel/Kern-Ergebnisse_ARDZDF-Onlinestudie_2017.pdf
- Aslan, J., Mayers, K., Koomey, J. G., & France, C. (2017). Electricity Intensity of Internet Data Transmission: Untangling the Estimates: Electricity Intensity of Data Transmission. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12630>
- Bitkom, & Deloitte. (2014). *Vor dem Boom - Marktaussichten für Smart Home*. Abgerufen von <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2014/Studien/Marktaussichten-fuer-Smart-Home/141023-Marktaussichten-SmartHome.pdf>
- BNetzA, & BKartA. (2017). *Tätigkeitsbericht Telekommunikation 2016/2017*. Bonn: Bundesnetzagentur. Abgerufen von https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2017/TB_Telekommunikation20162017.pdf?jsessionid=6F45CCBC91C375019F6FDE980073D35A?__blob=publicationFile&v=3
- Bundeszentrale für politische Bildung. (2016). Verbrauch von Primärenergie pro Kopf | bpb. Abgerufen 17. April 2018, von <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52758/verbrauch-pro-kopf>
- Cebit. (2017, Februar 17). Internet of Things: Gartner rechnet für 2017 mit 8,4 Mrd. vernetzten Dingen. Abgerufen 10. November 2017, von <http://www.cebit.de/de/news-trends/news/gartner-rechnet-fuer-2017-mit-84-milliarden-vernetzten-dingen-656>
- Cisco. (2016). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2015-2020*. Abgerufen von <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>
- Cisco. (2017a). VNI Forecast Highlights Tool. Abgerufen 27. September 2017, von https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#
- Cisco. (2017b). VNI Forecast Highlights Tool. Abgerufen 20. September 2017, von https://www.cisco.com/c/m/en_us/solutions/service-provider/vni-forecast-highlights.html#
- Cisco. (2018). *Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology 2016-2021*. Abgerufen von <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/global-cloud-index-gci/white-paper-c11-738085.pdf>

- Climate Group, & GeSI. (2008). *SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age*. Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI). Abgerufen von <https://www.greenbiz.com/sites/default/files/document/Smart-2020-Report.pdf>
- Coroama, V. C., Hilty, L. M., Heiri, E., & Horn, F. M. (2013). The direct energy demand of internet data flows. *Journal of Industrial Ecology*, 17(5), 680–688.
- Destatis. (2018). Gesamtwirtschaft & Umwelt - Material- & Energieflüsse - Energieverbrauch - Statistisches Bundesamt (Destatis). Abgerufen 1. März 2018, von <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/Umweltoekonomie/Gesamtrechnungen/MaterialEnergiefluesse/Tabellen/StromverbrauchHaushalte.html>
- Erdmann, L., Behrendt, S., & Feil, M. (2011). *Kritische Rohstoffe für Deutschland, Identifikation aus Sicht deutscher Unternehmen wirtschaftlich bedeutsamer mineralischer Rohstoffe, deren Versorgungslage sich mittel- bis langfristig als kritisch erweisen könnte*. Frankfurt am Main: Kreditanstalt für Wiederaufbau.
- Europäische Kommission. VERORDNUNG (EU) Nr. 801/2013 (2013).
- European Commission. (2015). *The EU Data Protection Reform and BigData Factsheet*. Brüssel. Abgerufen von https://www.zettabox.com/sites/default/files/data-protection-big-data_factsheet_web_en.pdf
- Eurostat. (2017). Use of water by the domestic sector (households and services) — all sources, 2005–15 (m³ per inhabitant) V3.png - Statistics Explained. Abgerufen 15. Februar 2018, von [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Use_of_water_by_the_domestic_sector_\(households_and_services\)_%E2%80%94_all_sources,_2005%E2%80%9315_\(m%C2%B3_per_inhabitant\)_V3.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Use_of_water_by_the_domestic_sector_(households_and_services)_%E2%80%94_all_sources,_2005%E2%80%9315_(m%C2%B3_per_inhabitant)_V3.png)
- Fichter, K., Hintemann, R., Beucker, S., & Behrendt, S. (2012). *Gutachten zum Thema „Green IT - Nachhaltigkeit“ für die Enquete-Kommission Internet und digitale Gesellschaft des Deutschen Bundestages* (Gutachten No. Ausschussdrucksache 17(24)058). Berlin: Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT). Abgerufen von <http://www.bmwi.de/Dateien/Green-IT/PDF/green-it-nachhaltigkeit-enquete-kommission-internet-und-digitale-gesellschaft,property=pdf,bereich=green-it,sprache=de,rwb=true.pdf>
- Fraunhofer ISE. (2017). WP Effizienz - Hauptseite. Abgerufen 21. März 2018, von <https://wp-monitoring.ise.fraunhofer.de/wp-effizienz/german/index/index.html>
- Fraunhofer ISE, & EEX. (2018a). Energieerzeugung in Deutschland. Abgerufen 15. Februar 2018, von https://www.energy-charts.de/energy_de.htm?source=ligniteAll&period=annual&year=2017
- Fraunhofer ISE, & EEX. (2018b). Energieerzeugung in Deutschland | Energy Charts. Abgerufen 21. März 2018, von https://www.energy-charts.de/energy_de.htm?source=ligniteAll&period=annual&year=2017
- Friedli, M., Kaufmann, L., Paganini, F., & Kyburz, R. (2016). *Energy Efficiency of the Internet of Things - Technology and Energy Assessment Report*. Abgerufen von <http://edna.iea-4e.org>
- GeSI, & Accenture Strategy. (2015). *#SMARTer 2030: ICT Solutions for the 21st Century Challenges*. Global e-Sustainability Initiative. Abgerufen von http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report2.pdf

- Hilty, L. (2016). *Grüne Software? Der Einfluss von Softwareprodukten auf nachhaltiges Handeln in einer vernetzten Welt*. Abgerufen von http://rivo.fs.tum.de/wp-content/uploads/2016/10/160706_Hilty_Gr%C3%BCne-Software.pdf
- Hintemann, R. (2017). Software, Internet, Computer – noch lange nicht »green«. In *Wirtschaft im Zukunfts-Check: So gelingt die Grüne Transformation*. München: Oekom.
- Hintemann, R., & Fichter, K. (2015). Energy demand of workplace computer solutions - A comprehensive assessment including both end-user devices and the power consumption they induce in data centers. In *EnviroInfo & ICT4S, Conference Proceedings (Part 1)* (S. 165–171). Copenhagen. <https://doi.org/10.2991/ict4s-env-15.2015.19>
- Horchert, J., & Stöcker, C. (2015). Diese Wohnung verrät ihre Bewohner. *Spiegel Online*. Abgerufen von <http://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/was-die-daten-im-smart-home-verraten-a-1064107.html>
- Kersken, M., & Sinnesbichler, H. (2013). Simulationsstudie zum Energieeinsparpotential einer Heizungsregelung mit Abwesenheitserkennung und Wetterprognose. *IBP-Mitteilung*, 40(527). Abgerufen von <https://www.baufachinformation.de/Simulationsstudie-zum-Energieeinsparpotential-einer-Heizungsregelung-mit-Abwesenheitserkennung-und-Wetterprognose/z/2014029005231>
- Kofod, C. (2016). *Solid State Lighting Annex : Task 7 : Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption*. (First Status Report). Kopenhagen: Energy Efficient End-Use Equipment (4E) & International Energy Agency (IEA).
- Kupferschmitt, T. (2017). Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2017 - Onlinevideo: Gesamtreichweite stagniert, aber Streamingdienste punkten mit Fiction bei Jüngeren. *Media Perspektiven*, 9/2017. Abgerufen von http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2017/Artikel/917_Kupferschmitt.pdf
- Leuser, L., Weiß, U., & Brischke, L.-A. (2016). *Beleuchtung: Auswirkungen von ReboundEffekten und gesellschaftlichen Trends auf den Energieverbrauch sowie Möglichkeiten der Adressierung durch politische Instrumente*. Berlin, Heidelberg: Öko Institut e.V. & Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU). Abgerufen von https://www.ifeu.org/energie/pdf/Rebound_Beleuchtung_161116_fv.pdf
- Öko-Institut e.V. (2017). EcoTopTen - Die Plattform für ökologische Spitzenprodukte [Text]. Abgerufen 1. März 2018, von <https://www.ecotopten.de/grosse-haushaltsgeraete/kuehl-und-gefriergeraete>
- österreichsenergie.at. (2018). Daten & Fakten zum Stromverbrauch - Oesterreichs Energie. Abgerufen 5. März 2018, von <https://oesterreichsenergie.at/daten-fakten-zum-stromverbrauch.html>
- Pehnt, M., Mellwig, P., & Werle, M. (2016). *13 Maßnahmen gegen Energieverschwendung im Heizungskeller - Kurzgutachten zur Stärkung von Instrumenten für Energieeinsparungen im Bestand: Beispiel Heizkessel*. Heidelberg: IFEU.
- Prakash, S., Baron, Y., Ran, L., Proske, M., & Schlösser, A. (2014). *Study on the practical application of the new framework methodology for measuring the environmental impact of ICT - cost/benefit analysis* (Studie) (S. 373). Brussels: European Commission.
- Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., & Stamminger, R. (2016). *Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“*. Dessau-Rosslau: Umweltbundesamt (UBA).

- Preisel, M., Wimmer, W., Frey, D., & Huser, A. (2012). *SMART METERING consumption*. Wien: ECODESIGN company, Encontrol AG.
- Samsung, & Mastercard. (2016). MasterCard, Samsung Make Everyday Shopping Easier in Tomorrow's Smart Home with Launch of Groceries by MasterCard App. Abgerufen 3. Januar 2018, von <https://newsroom.mastercard.com/press-releases/mastercard-samsung-make-everyday-shopping-easier-in-tomorrows-smart-home-with-launch-of-groceries-by-mastercard-app/>
- Schischke, K., K., Beucker, S., Clausen, J., & Niedermayer, M. (2009). *Innovations- und Technikanalyse Autonomer Verteilter Mikrosysteme* (S. 233). Berlin: Fraunhofer IZM.
- Schneider, S., Fuchs, T., Kunow, D. K., & Ünal, A. (2017). *Digitalisierungsbericht- Aufgedrängte Bereicherung: Braucht Vielfalt Privilegierung?* Berlin.
- Schröter, C. (2017). Ergebnisse der ARD/ZDF-Onlinestudie 2017 - Audiowelten im Wachstum: Zur Radio-, Audio- und Streamingnutzung im Internet. *Media Perspektiven*, 9/2017. Abgerufen von http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/files/2017/Artikel/917_Schroeter.pdf
- Sekar, A., Williams, E., & Chen, R. (2018). Changes in Time Use and Their Effect on Energy Consumption in the United States. *Joule*. Abgerufen von [http://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351\(18\)30003-5.pdf](http://www.cell.com/joule/pdf/S2542-4351(18)30003-5.pdf)
- Siemens. (2017). Technische Daten des Simenes IQ700 Backofens. Abgerufen 4. Januar 2018, von <http://www.siemens-home.bsh-group.com/de/produktliste/kochen-und-backen/backoefen-und-herde/iq700-backoefen/HB678GBS6?breadcrumb=iq700ovens#section-technicalspecs>
- Sommer, K. (2018). smart-wohnen.de. Abgerufen 7. Februar 2018, von <https://www.smart-wohnen.de/beleuchtung/artikel/smarte-lampe-awox-striimlight-spielt-musik/>
- Stamminger, R., Belke, L., & Graulich, K. (2017). *Analysis Consumer survey on washing machines*. Berlin: Institut für Landtechnik, Öko-Institut, Universität Bonn.
- Stobbe, L., Hintemann, R., Proske, M., Clausen, J., Zedel, H., & Beucker, S. (2015). *Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland - Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*. Berlin: Fraunhofer IZM und Borderstep Institut. Abgerufen von <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- The Economist. (2017, Mai 6). Data is giving rise to a new economy. *The Economist*. Abgerufen von <https://www.economist.com/news/briefing/21721634-how-it-shaping-up-data-giving-rise-new-economy>
- The European Commission. (2018). Eurostat - Data Explorer. Abgerufen 1. März 2018, von <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Umweltbundesamt. (2014). *Datenblatt zur Verordnung (EG) 1275/2008 einschließlich Änderungen durch Verordnung (EU) Nr. 801/2013*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA). Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/dokument/datenblatt-zur-verordnung-eg-12752008-0>
- Umweltbundesamt. (2017). Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen | Umweltbundesamt. Abgerufen 1. November 2017, von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren>

- VDR. (2017). *VDR-Geschäftsreiseanalyse 2017*. Frankfurt. Abgerufen von <https://www.vdr-service.de/fileadmin/der-verband/fachmedien/geschaeftsreiseanalyse/vdr-geschaeftriseanalyse-2017.pdf>
- Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (2011). *Die „Aktion Brennwertcheck“ der Verbraucherzentralen*. Berlin: Verbraucherzentrale Bundesverband e.V. (vzbv) Energieteam.
- Verbraucherzentrale (Hrsg.). (2017). Die wahren Kosten von Gratis-Spiele-Apps | Verbraucherzentrale.de. Abgerufen 7. Februar 2018, von <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/digitale-welt/apps-und-software/die-wahren-kosten-von-gratisspieleapps-12941>
- Wilke, S. (2013, Juli 4). Energieverbrauch privater Haushalte [Text]. Abgerufen 19. Januar 2018, von <http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte>
- Yanofsky, D. (2018). If you're using an Android phone, Google may be tracking every move you make. Abgerufen 9. Februar 2018, von <https://qz.com/1183559/if-youre-using-an-android-phone-google-may-be-tracking-every-move-you-make/>