



10 Digitalisierung – Segen oder Fluch für den Klimaschutz?

Annette Randhahn, Jochen Kerbusch, Markus Gaaß, Martin Richter

Der Klimawandel und die Bedrohung unserer Lebensgrundlagen durch die voranschreitende Ausbeutung unserer natürlichen Ressourcen: Kann die Digitalisierung dabei helfen, diesen großen Herausforderungen der Menschheit entgegenzuwirken? Oder treibt sie den Klimawandel eher voran? Und falls ja, in welchen Aspekten? Ob wir die eine Entwicklung nutzen können und werden, um die andere abzubremsen oder gar aufzuhalten, hängt von zahlreichen Faktoren ab.

Es ist unbestritten, dass der Megatrend Digitalisierung den Klimawandel und seine Auswirkungen maßgeblich beeinflussen wird. Unklar ist allerdings, in welcher Art und Weise und auch in welchem Ausmaß eine Wirkung in die eine oder andere Richtung zu erwarten ist. Denn während Wissenschaftler die Effekte des menschengemachten Treibhauseffekts deutlich vorzeichnen (wenn wir A weitermachen, wird B passieren) und auch für Gesellschaft und Wirtschaft die realen Auswirkungen durch Wetterphänomene wie Dürren, Stürme und Temperaturschwankungen greifbarer werden, sind die mittel- und langfristigen ökonomischen, ökologischen und sozialen Auswirkungen der Digitalisierung bisher weniger Teil der öffentlichen Debatte.

Die Bedeutung der Digitalisierung spiegelt sich auch darin wider, dass sie zu den sechs Prioritäten im Rahmen der EU-Nachhaltigkeitspolitik zählt. Die Prioritäten wurden vor dem Hintergrund der Agenda 2030 unter Jean-Claude Juncker 2016 zunächst als zehn Schwerpunkte definiert und unter Ursula von der Leyen 2019 auf sechs zentrale Themen reduziert und aktualisiert, die bis 2024 Gültigkeit behalten (vgl. EU-KOM 2020).

Im Rahmen des European Green Deal ist die Digitalisierung einer der zentralen Bausteine zum Erreichen des Ziels, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Im ersten Schritt verabschiedete die Kommission im März 2020 hierzu eine neue Industriestrategie. Demnach muss Europas Industrie bei beständiger Wettbewerbsfähigkeit umweltfreundlicher, kreislauffähiger und digitaler werden. Ein zentrales Instrument ist die Schaffung von Allianzen aus Großunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Zulieferern, öffentlicher Hand sowie Hochschulen und Forschung (vgl. Europäische Kommission 2020:19).

Ein weiterer Meilenstein zur Einbindung der Digitalisierung in den Green Deal ist die Initiative „Destination Earth“ (Ziel Erde), die ab 2021 wissenschaftliche und industrielle Exzellenz zusammenbringen soll, um ein digitales Hochpräzisionsmodell der Erde (einen „digitalen Zwilling“) zu entwickeln. Dieser digitale Zwilling soll künftig die europäischen Kompetenzen für die Umweltvorhersage sowie das Krisenmanagement und damit insbesondere die Klimafolgenforschung radikal verbessern (vgl. European Union 2020:2).

Zur Einbindung der Digitalisierung in die Kreislaufwirtschaftsstrategie der EU soll die Haltbarkeit elektronischer Geräte sowie deren Wartungs-, Demontage-, Wiederverwendungs- und Recyclingfähigkeit ab 2021 verbessert werden. Um etwa den Lebenszyklus der Geräte zu verlängern, soll den Nutzenden ein Recht auf Reparatur oder Aufrüstung gewährt werden. Daneben soll es einen „Produktpass“ geben, der Informationen über Herkunft, Zusammensetzung und Recyclingfähigkeit bereithält (vgl. European Union 2020:2).

Angesichts eines steigenden Energiebedarfs durch digitale Technologien und Infrastrukturen sollen Rechenzentren und IKT-Infrastrukturen bis spätestens 2030 klimaneutral sein. Neben einer Erhöhung der Effizienz und des Anteils erneuerbarer Energien soll dabei auch für mehr Transparenz hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks von Telekommunikationsbetreibern gesorgt werden (vgl. European Union 2020:3).

Nicht zuletzt sollen auch im Verkehrsbereich intelligente Systeme und digitale Technologien dazu beitragen, in diesem Sektor die CO₂-Einsparpotenziale zu heben (vgl. European Union 2020:3).

Digitalisierung in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie

Die gesellschaftlichen und ökologischen Chancen der Digitalisierung sollen auch auf nationaler Ebene genutzt werden. Im Rahmen der aktuellen Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird das Zielbild gezeichnet, die Potenziale der Digitalisierung zu nutzen und gleichzeitig den digitalen Wandel nachhaltig zu gestalten, etwa durch Anpassung politischer Rahmenbedingungen oder eine den Prozess begleitende Technikfolgenabschätzung (vgl. Bundesregierung 2018:18). Verankert sind diese Ziele auch in der Umsetzungsstrategie Digitalisierung der Bundesregierung, in der konkrete Handlungsfelder und Zuständigkeiten definiert sind. So befasst sich etwa das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) unter anderem mit der Umsetzung digitaler Experimentierfelder in der Landwirtschaft und treibt Innovationen für mehr Ressourceneffizienz in der Agrartechnik voran. Das Bundesumweltministerium (BMU) verantwortet im Rahmen der Umsetzungsstrategie insbesondere die Nutzung der Potenziale der Digitalisierung für Klimaschutz, nachhaltigen Konsum, umweltverträgliche Mobilität und Steigerung der Ressourceneffizienz (vgl.

Bundesregierung 2019:59 f). Einen wichtigen Meilenstein hat das BMU 2019 mit der Veröffentlichung einer Digitalagenda erreicht. In über 70 darin definierten Maßnahmen sollen die Weichen dafür gestellt werden, den wachsenden ökologischen Fußabdruck digitaler Technologien einzudämmen und zugleich deren umwelt- und klimapolitische Potenziale zu nutzen (vgl. BMU 2020:6).

Einer der Schwerpunkte liegt hier auf dem Beitrag digitaler Technologien zur Umsetzung der Energiewende. Neben dem voranschreitenden Ausbau erneuerbarer Energien ist die Energieeffizienz die zweite große Säule der Energiewende „made in Germany“. Wärme und Strom müssen dringend effizienter genutzt werden, damit das klare Ziel der Bundesregierung, bis zum Jahr 2050 in Deutschland 50 Prozent weniger Primärenergie im Vergleich zum Basisjahr 2008 zu verbrauchen (vgl. BMWi 2010:5), auch erreicht wird. Hierfür wurden im Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE) vom Dezember 2014 Strategien, aber auch konkrete Sofortmaßnahmen aufgezeigt (vgl. BMWi 2014). Und auch wenn darin der Begriff „Digitalisierung“ nicht direkt verwendet wird, sind im NAPE einige Maßnahmen beschrieben, die sich eindeutig dem Themenfeld Digitalisierung zuordnen lassen.

Ein Beispiel dafür ist das „Pilotprogramm Einsparzähler“, in dem Geschäftsmodelle auf Basis einer exakten Energieverbrauchsdatenerfassung beispielsweise mittels Smart-Plugs oder Smart-Meter gefördert werden (vgl. BMWi 2014:31). Auch den Bedarf an umfassenden Energiemanagementsystemen, zu deren Umsetzung man auf digitale Lösungen zurückgreifen muss, stellt der NAPE deutlich heraus (vgl. BMWi 2014:14, 33–39). Allerdings spricht er auch an, dass vor allem im Bereich der Stromeffizienz bei Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) noch großer Nachholbedarf besteht (vgl. BMWi 2014:39).

Im Dezember 2019 verabschiedete die Bundesregierung die „Energieeffizienzstrategie 2050“, deren Kernelemente ein neuer NAPE (NAPE 2.0), die Durchführung eines Dialogprozesses „Roadmap Energieeffizienz 2050“ sowie vor allem auch ein neues Energieeffizienzziel für 2030 sind: Bis zum Jahr 2030 soll der Primärenergieverbrauch um 30 Prozent gegenüber dem Vergleichsjahr 2008 gesenkt werden (vgl. BMWi 2019:9). Auch hier wird das Thema „Energieeffizienz und Digitalisierung“ direkt angesprochen. Zum einen bietet die fortschreitende Digitalisierung natürlich große Chancen, Verfahren, Prozesse, Anwendungen und Geschäftsmodelle energieeffizienter auszugestalten. Auf der anderen Seite bestünden jedoch große Herausforderungen darin, dass eine Ausweitung der Digitalisierung auch mit einem Anstieg der Energieverbräuche verbunden sei (vgl. BMWi 2019:24–25): Immer mehr Daten werden erfasst, transferiert, ausgewertet und gespeichert; der Bedarf an Rechenkapazitäten steigt kontinuierlich an; immer mehr elektronische Komponenten werden verbaut, um Daten zu erfassen. Wegen dieser Reboundeffekte (vgl. Abschnitt „Der Reboundeffekt – ein Exkurs“ im vorliegenden Beitrag) wird das Thema „Di-

gitalisierung“ auch ein eigener Schwerpunkt im Dialogprozess „Roadmap Energieeffizienz 2050“ sein (vgl. BMWi 2019:33 ff).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene digitale Technologien bei den Maßnahmen zur Eindämmung des Klimawandels zum Einsatz kommen. Dabei wird zunehmend darauf geachtet, dass die Digitalisierung echten Mehrwert erzeugt und nicht nur Selbstzweck ist.

Risiken und Chancen der Digitalisierung

Die Digitalisierung beeinflusst über vielfältige technologische Entwicklungen wie Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Internet der Dinge (IoT) oder Künstliche Intelligenz (KI) alle wirtschaftlichen Sektoren und gesellschaftlichen Bereiche. Jedes der 17 UN-Nachhaltigkeitsziele ist in der einen oder anderen Weise betroffen – verbunden mit großen ökologischen Chancen. So lassen sich im Zuge der Digitalisierung Prozesse, Anlagen, Verfahren oder aber auch Geschäftsmodelle energieeffizienter gestalten. Grundlage dafür sind Daten. Sie zu erheben und auszuwerten sind entscheidende Schritte, um Energieeffizienzpotenziale zu ermitteln und schlussendlich auch zu heben. Dabei verläuft die Entwicklung neuer beziehungsweise die Weiterentwicklung bestehender Technologien, die für die Energieeffizienz relevant sind, weiterhin sehr rasant (zum Beispiel 5G, Blockchain). Ein schneller Zugang zu (Echtzeit-)Informationen kann somit künftig im Konsumbereich die Entscheidung für nachhaltigere Produkte und Dienstleistungen erleichtern. Und in der Landwirtschaft kann beispielsweise der Einsatz von Drohnen bei der präzisen Ausbringung von Pestiziden (sogenanntem Precision Farming) großflächige Schadstoffbelastung reduzieren. Alles in allem schätzt die EU, dass der globale CO₂-Ausstoß durch digitale Technologien um 15 Prozent gesenkt werden könnte (vgl. European Commission 2020:1).

Andererseits könnten digitale Technologien aber auch dafür sorgen, dass sich Klima- und Umweltprobleme in Zukunft noch verschärfen, denn die Prozesse und Komponenten der Digitalisierung benötigen selbst erhebliche Mengen an Energie für Herstellung und Betrieb. So hat zum Beispiel der französische Thinktank „The Shift Project“ errechnet, dass die digitalen Technologien inzwischen für rund 4 Prozent des weltweiten CO₂-Ausstoßes verantwortlich sind und damit schon heute einen höheren Beitrag zum weltweiten CO₂-Aufkommen leisten als die zivile Luftfahrt (vgl. Martus 2020:5). Neben diesem den digitalen Technologien direkt zuzuschreibendem Energieverbrauch bergen auch mit deren Nutzung einhergehende Veränderungen im Verhalten ein nicht zu vernachlässigendes Risiko. Zusätzliche Energieverbräuche oder sich ändernde Verhaltensweisen, die zunächst durch positive Wirkungen von neuen Technologien ausgelöst werden, dann aber dafür sorgen, dass sich deren Effekt verringert, aufhebt oder gar ins Negative umkehrt, sind Spielarten des sogenannten Reboundeffekts.

Der Reboundeffekt – ein Exkurs

Obwohl bereits gegen Mitte des 19. Jahrhunderts (vgl. Jevons 1865) erste deutliche Anzeichen für eine Verbindung zwischen Energie-Produktivitätssteigerungen⁶⁰ und Energie-Mehrnachfrage erkannt wurden, wird diese Kopplung heute nur selten in der Energie- und Umweltpolitik berücksichtigt. So existieren auch nur wenige aktuelle veröffentlichte Studien zum Reboundeffekt. Die hier wiedergegebene Darstellung basiert auf zwei Veröffentlichungen, die Reboundeffekte auf unterschiedliche Weise kategorisieren.

Die 2011 mit Beteiligung des Berliner Ecologic-Instituts im Auftrag der EU-Kommission durchgeführte Studie unterscheidet drei Arten von Reboundeffekten: direkte, indirekte sowie ökonomieweite (vgl. Maxwell et al. 2011:5). Der in der Reihe „Impulse zur WachstumsWende“ des Wuppertal-Instituts 2012 veröffentlichte Beitrag gruppiert wiederum die Reboundeffekte in finanzielle, materielle, psychologische und Cross-Faktor-Effekte (vgl. Santarius 2012:3 f).

Direkte beziehungsweise materielle und teilweise finanzielle Reboundeffekte sind dadurch gekennzeichnet, dass neue technische Geräte zwar energieeffizienter als ihre Vorgänger sind, aber größer oder leistungsfähiger⁶¹ werden – oder zu ihrer Herstellung ein erhöhter Einsatz von Ressourcen notwendig ist.

Indirekte Reboundeffekte können finanziell oder psychologisch getrieben entstehen. Finanzielle Reboundeffekte beschreiben, dass das durch Energieeffizienz eingesparte Kapital in andere, also zusätzliche Produkte oder Dienstleistungen investiert wird, zu deren Herstellung beziehungsweise Angebot wiederum Energie und Ressourcen aufzuwenden sind. In die Kategorie psychologische Reboundeffekte fallen zum Beispiel Verhaltensänderungen, die ein Wechsel zu energieeffizienten Technologien nach sich ziehen kann. Auf diese Weise können mit einer neuen Technologie einhergehende Effizienzgewinne wieder verringert oder gar aufgehoben werden – beispielsweise wenn der Käufer eines „umweltfreundlichen“ Fahrzeugs durch die Wahrnehmung, „etwas Gutes für die Umwelt zu tun“, nun mit diesem Fahrzeug deutlich mehr Kilometer zurücklegt als mit dem alten.

Die letzte Kategorie, ökonomieweite bzw. Cross-Factor-Reboundeffekte, fasst zusammen, dass durch verbesserte Energieeffizienz zunächst der Energieverbrauch

⁶⁰ *Energie-Produktivität meint das Verhältnis von Produktionsergebnis (Output) und der an seiner Erstellung beteiligten Energie.*

⁶¹ *Beispielsweise sind strombetriebene Haushaltsgeräte in den Jahren von 1985 bis 2008 um rund 37 Prozent effizienter geworden und dennoch ist in der gleichen Zeit der Stromverbrauch von Privathaushalten um 22 Prozent angestiegen.*





	<p>Finanzielle Reboundeffekte</p> <p>„Wir sparen durch die Verwendung von Energiesparlampen so viel Strom, dass wir dieses Jahr noch einmal in den Urlaub fliegen können!“</p>
	<p>Materielle Reboundeffekte</p> <p>„Der Energieverbrauch meines Hauses ist um 1,3 Prozent geringer, seit ich es mit dem in der Herstellung extrem aufwendigen Material XY gedämmt habe.“</p>
	<p>Psychologische Reboundeffekte</p> <p>„Seitdem ich mit meinem 3-Liter-Auto direkt etwas für die Umwelt tue, fahre ich doch nicht mehr mit der Bahn ins Büro!“</p>
	<p>Cross-Factor-Reboundeffekte</p> <p>„Unsere Fertigung ist so effizient, dass das dafür gebaute Kraftwerk nur noch halb so groß sein müsste, sodass wir jetzt eine neue Fertigung errichtet haben.“</p>

Abb. 10.1 Reboundeffekte kommen in den verschiedensten Ausprägungen vor und lassen sich in vier Kategorien gruppieren. Die Zitate sollen die Ausprägung plakativ veranschaulichen.

sinkt. Die geringere Nachfrage wiederum führt in der Regel zu sinkenden Energiepreisen, wodurch dann das gesamtwirtschaftliche Wachstum angekurbelt wird und Energie- und Ressourcenverbrauch wieder ansteigen. Ebenso sind in dieser Kategorie auch jene Effekte verortet, die aufgrund einer Steigerung der Arbeits- und Kapitalproduktivität durch energieverbrauchende Mechanisierung oder Automatisierung letztlich eine höhere Nachfrage nach Energie hervorrufen. In Abb. 10.1 werden die oben beschriebenen Kategorien noch einmal gegenübergestellt.

Während die grundsätzlichen Mechanismen dieser Reboundeffekte noch unmittelbar einleuchten, ist es offensichtlich nicht trivial, die Größe dieser Effekte zu bestimmen. Tilman Santarius ist der Ansicht, dass durch die großen Lücken, welche die quantitative Rebound-Forschung noch aufweist, das Ausmaß des Rebounds in bisherigen Modellrechnungen unterschätzt wird (vgl. Santarius 2012:4). Grund hierfür sei, dass in den mithilfe ökonomischer Modelle oder anhand historischer Daten verfassten empirischen Studien bis auf wenige Ausnahmen nur Teilaspekte wie produkt- oder sektorspezifische Reboundeffekte bei den Endverbraucher:innen betrachtet würden. Demnach werden produktionsseitige oder gesamtwirtschaftliche Reboundeffekte bislang nicht erfasst. Gleiches gilt für psychologische Reboundeffekte.

te (Santarius 2012:18). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen in Deutschland zieht hinsichtlich des Ausmaßes von Reboundeffekten das Fazit: „Insgesamt deuten die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse darauf hin, dass der langfristige gesamtwirtschaftliche Rebound-Effekt regelmäßig über 50 Prozent liegt und auch Werte von über 100 Prozent erreicht, das heißt die erzielten Einsparungen zur Hälfte bis vollständig ausgleichen könnte.“ (SRU 2011:230)

Zuverlässige quantitative Aussagen sind aber offensichtlich unerlässlich, um künftige Maßnahmen vorausschauend zu bewerten. Zudem sollten die tatsächlich erreichten (Netto-)Effizienzsteigerungen bisheriger Maßnahmen analysiert sowie die dafür verwendeten gesamtwirtschaftlichen Modelle kontinuierlich verfeinert werden. Nur so kann die Wahrscheinlichkeit erhöht werden, dass neue Technologien – gegebenenfalls von entsprechenden Maßnahmen flankiert – ihre positiven Effekte auch wirklich entfalten.

Elektronik – Wegbereiter der Digitalisierung

Nicht Geschäftsmodelle, Software und Algorithmen, sondern die Hardware, die Elektronik, ist Grundlage der Digitalisierung. Der Elektronik kommt deshalb gerade im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Reduktion der CO₂-Emissionen eine zentrale Rolle zu – sie ist allerdings ambivalent zu betrachten. Fortschritte in der Elektronik haben mit der einhergehenden Miniaturisierung viele Anwendungen überhaupt erst ermöglicht. Über Jahrzehnte der Entwicklung hinweg fand eine enorme Verbesserung der Energieeffizienz von Bauelementen, der Komponenten und der Baugruppen bis hin zu ganzen Systemen statt.

In der Leistungselektronik verspricht die Einführung neuer Halbleitermaterialien⁶² wie Siliziumcarbid (SiC) auch in Zukunft eine Steigerung der Wirkungsgrade. Durch höhere Schaltfrequenzen lassen sich in den Halbleiterbauelementen selbst sowie in den passiven Bauelementen Verluste verringern. Die Betriebstemperaturen dürfen deutlich höher sein als bei bisherigen Materialien mit der Folge, dass die Kühlleistung reduziert werden kann, was wiederum Baugröße und Gewicht zusätzlich mindert. In der Elektromobilität wirken sich diese Verbesserungen besonders deutlich aus. Neue Ansteuer- und Regelkonzepte auf Ebene der Baugruppen beziehungsweise Module ermöglichen darüber hinaus, die Arbeitsweise flexibel an die jeweilige Situation anzupassen. Auch dadurch wird der Energieverbrauch weiter reduziert.

⁶² Sogenannte Wide-Bandgap-Halbleiter (Halbleiter mit großer Bandlücke).

Die Situation bei Energiemanagement und Energiespeicherung ist ebenfalls erfreulich. Energiesammler⁶³ wie Photovoltaikzellen, thermoelektrische Generatoren oder Generatoren, die Bewegungsenergie in elektrische Energie umwandeln (kinetische Harvester), haben heute eine hohe technische Reife und verrichten bereits in zahlreichen kommerziellen Anwendungen ihr Werk. Die Aufnahme und Speicherung von Strahlungsenergie aus Funknetzen wie LTE, 5G oder WLAN erlangt eine zunehmend höhere technische Reife und wird perspektivisch den autarken Betrieb von Sensorknoten überall dort ermöglichen, wo die Umgebungsbedingungen den Einsatz von Photovoltaik oder kinetischen Harvestern nicht zulassen.

Auch im Bereich der Mikroelektronik wurden erhebliche Fortschritte erzielt. Für jeden Menschen erkennbar ist die Leistungsfähigkeit moderner Mobilgeräte bei immer besserer Akkulaufzeit exponentiell angestiegen. Dies wurde nicht zuletzt durch immer energieeffizientere Halbleitertechnologien und Prozessorarchitekturen erreicht. Aber auch im industriellen Umfeld konnte der Energieverbrauch von Sensorknoten, Recheneinheiten und Kommunikationsmodulen drastisch gesenkt werden. Mittlerweile sind autarke Sensorknoten mit integrierter Datenvorverarbeitung und drahtloser Kommunikation mit Batterielebensdauern von bis zu zehn Jahren Stand der Technik. Energieeffizienz ist eines der wichtigsten Kriterien für den Erfolg einer Sensoriklösung im Kontext von Industrie 4.0.

Während diese Beispiele bereits verdeutlichen, dass bei der Energieeffizienz elektronischer Bauteile und Komponenten selbst große Fortschritte erzielt wurden, gibt es darüber hinaus eine Vielzahl neuer Anwendungen, die durch diese moderne Elektronik erst möglich werden und ebenfalls Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung unterstützen können. Zu nennen sind hier insbesondere die Bereiche Landwirtschaft, Mobilität, Logistik und vor allem die industrielle Fertigung. So können drohnen- oder satellitengestützte Elektroniksysteme bereits heute Traktoren mit einer Genauigkeit von rund 2 Zentimetern lenken (vgl. BMEL 2018:11 f). Die Elektronik hilft somit, Dünge- und Pflanzenschutzmittel punktgenau und bedarfsgerecht auszubringen und ihren Einsatz insgesamt zu reduzieren, denn das Pflanzenwachstum wird durch die Drohnen und Satelliten genau überwacht. Innovative Anwendungen auf Grundlage energieeffizienter Elektronik mit einer ähnlich durchschlagenden Wirkung im Hinblick auf Nachhaltigkeit finden sich auch in den Bereichen intelligente Netze, erneuerbare Energien, Mobilität, Telemedizin oder Smart City.

Allerdings birgt die zunehmende Durchdringung aller Lebensbereiche durch Elektronik und Sensorik auch Probleme. Selbst wenn der Energieverbrauch jedes einzelnen Geräts stetig sinkt, so ist in Summe der wachsende Energieverbrauch nicht zu ver-

⁶³ Stichwort „Energy Harvesting“, d. h. die Sammlung verschiedenster Energieformen und deren Umwandlung in elektrische Energie.

nachlässigen⁶⁴. In Milliardenstückzahlen summieren sich die wenigen Wattstunden der Smartphone-Akkus zu gewaltigen Energiemengen, die täglich nachgeladen werden müssen. Zur Negativseite der Bilanz zählen auch elektronische Geräte, die wenig oder keinen gesellschaftlichen Nutzen haben. Seien es Reißverschlussanhänger mit bunter LED-Beleuchtung oder Schuhe mit blinkenden Lichtern in der Ferse. Solche Anwendungen brauchen ebenfalls in Summe eine Menge Energie. Und noch gravierender: Die Batterien sind in der Regel nicht austauschbar und halten nur wenige Betriebsstunden; Anhänger, Schuhe und andere Alltagsprodukte werden zum Elektroschrott.

Der Green Deal greift dieses Problem auf, indem explizit auf Elektronik als besonders ressourcenintensive Branche hingewiesen wird. Auch wenn Altgeräte in Deutschland zurückgenommen werden müssen, findet ein Recycling der Elektronikkomponenten der Geräte in aller Regel nicht in nennenswertem Umfang statt⁶⁵. Gängige Leiterplatten zum Beispiel sind nicht recyclingfähig, sondern können nur thermisch verwertet werden. Die leitenden Materialien oder aufgelöteten Bauelemente zu separieren, ist meist zu aufwendig und zu teuer. Dabei sind diese Bauelemente häufig nicht defekt, sondern könnten ihre Funktion noch über Jahre hinweg erfüllen.

Die immer höhere Integrationsdichte der Bauelemente, die bei der Herstellung in Chips vergossen werden, verstärkt dieses Problem noch: Das Trennen der Chips in ihre einzelnen Materialien ist derzeit aus ökonomischer Sicht nicht darstellbar (vgl. Stobbe et al. 2015:49 f): In der modernen Chip-Fertigung werden nahezu alle Elemente des Periodensystems genutzt, und die daraus resultierende unendliche Vielzahl an Verbindungen ist kaum zu trennen. Weltweit werden nur rund 20 Prozent des anfallenden Elektroschrotts ordnungsgemäß recycelt (vgl. World Economic Forum 2019:12). Vom Rest wird ein großer Teil – nicht selten illegal – in Schwellenländer

⁶⁴ Eine detaillierte Aufschlüsselung des Anteils des Energieverbrauchs durch Elektronik ist kaum möglich, da die verfügbaren Daten typischerweise nur Gesamtverbräuche in Branchen, Bereichen usw. enthalten. Deutlich wird dies zum Beispiel an der Industrie, wo zwischen der Erzeugung mechanischer Energie aus Strom und dem Verbrauch der Elektronik für Steuerungs- und Regelungsaufgaben nicht unterschieden wird. Nur für Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) gibt es dedizierte Zahlen, die jedoch deutlich zu kurz greifen. Schätzungen gehen im schlechtesten Fall von 51 Prozent des Gesamtbedarfs an elektrischem Strom im Jahr 2030 beziehungsweise 23 Prozent der weltweiten Emissionen von Treibhausgasen aus (vgl. Andrae et al. 2015:117 ff).

⁶⁵ Die Angaben zum Anteil am Recycling beziehen sich in aller Regel auf das Gesamtgewicht der Geräte. Unter anderem bei Haushaltsgeräten ist der Gewichtsanteil der Elektronik jedoch verschwindend gering im Vergleich zu den mechanischen Komponenten, die wesentlich einfacher dem Recycling zugeführt werden können.

oder Länder der Dritten Welt exportiert und dort unter unzureichenden Sicherheitsmaßnahmen deponiert.

Neben den verwendeten Rohstoffen ist auch die Fertigung von Elektronikkomponenten hochgradig klimarelevant. Über den Lebenszyklus eines Smartphones⁶⁶ betrachtet, entfallen rund 84 Prozent des CO₂-Fußabdrucks auf die Produktion, nur rund 12 Prozent auf die tatsächliche Nutzung. Bei einem Gesamt-CO₂-Ausstoß von 57 Kilogramm entspricht das immerhin rund 48 Kilogramm CO₂, die der Produktion zugeordnet werden können (vgl. Apple 2020:2). Der Chiphersteller Samsung gibt für die Herstellung eines einzigen 512-Gigabyte-Speicherchips (UFS-3.0-Flash für Smartphones) einen CO₂-Fußabdruck von 13,4 Kilogramm an⁶⁷ (vgl. Windeck 2019). Auch wenn ein solcher Wert zunächst nicht sehr hoch erscheinen mag, ergibt sich über die Gesamtstückzahlen eine signifikante CO₂-Emission. Hinzu kommt, dass in der Elektronikfertigung nicht nur gewaltige Mengen an CO₂ ausgestoßen werden, sondern in den Herstellungsprozessen auch sehr viel Wasser aufgewendet werden muss. Angesichts von immer häufiger auftretenden Perioden mit deutlich unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen ist der umgerechnete Verbrauch von rund 900 Litern Wasser je Smartphone kritisch zu sehen⁶⁸ (vgl. Schulte 2016).

Somit wird deutlich, dass neben der Steigerung der Energieeffizienz in der Elektronik auch eine Verlängerung der Nutzungsdauer einen erheblichen Einfluss auf die Klimabilanz hat. Das heißt, dass die Weiternutzung eines funktionsfähigen Geräts, selbst wenn es nicht besonders effizient ist, nahezu immer einer Neuanschaffung vorzuziehen ist. Eine Verlängerung der Nutzungsdauer aller Smartphones in der EU um nur ein Jahr würde jährlich rund 2,1 Millionen Tonnen CO₂ einsparen (vgl. EU 2020:2). Um diese Menge CO₂ zu erzeugen, müsste ein Auto mit einem dem aktuellen Grenzwert von 95 Gramm CO₂ pro Kilometer entsprechenden CO₂-Ausstoß 22,1 Milliarden Kilometer zurücklegen. Dabei spricht wenig gegen eine längere Nutzung der Geräte, wie eine Umfrage ergab: 64 Prozent der Befragten würden Smartphones, Tablets und Co. tatsächlich gerne fünf bis zehn Jahre nutzen (vgl. EU 2020:2)! Modulare Bauweisen, wie sie bei PCs und Laptops bis vor wenigen Jahren Standard waren, und garantierte Software-Updates können helfen, über die längere Nutzungsdauer hinweg den technischen Anschluss nicht zu verlieren.

⁶⁶ Am Beispiel des Apple iPhone SE (Modelljahr 2020, 64 Gigabyte Speicher), Gesamt-CO₂-Ausstoß rund 57 Kilogramm. (Apple 2020: 2) Die angenommene Nutzungsdauer des Erstbesitzers beträgt drei Jahre (Apple 2020: 8).

⁶⁷ Ausgehend vom seit 2020 geltenden Grenzwert für Pkw von 95 Gramm CO₂ je Kilometer entspricht das einer Fahrleistung von 141 Kilometern für den Speicherchip beziehungsweise 504 Kilometern für das Smartphone.

⁶⁸ Zum Vergleich: Ein Blatt Papier erfordert 10 Liter, eine Tasse Kaffee erfordert 140 Liter.

Möglicher Kreislaufprozess für Elektronikwaren bzw. -schrott

Das **Produktdesign** ermöglicht bessere Haltbarkeit, Reparierfähigkeit und sicheres Recycling sowie Freiheit von bedenklichen Stoffen.

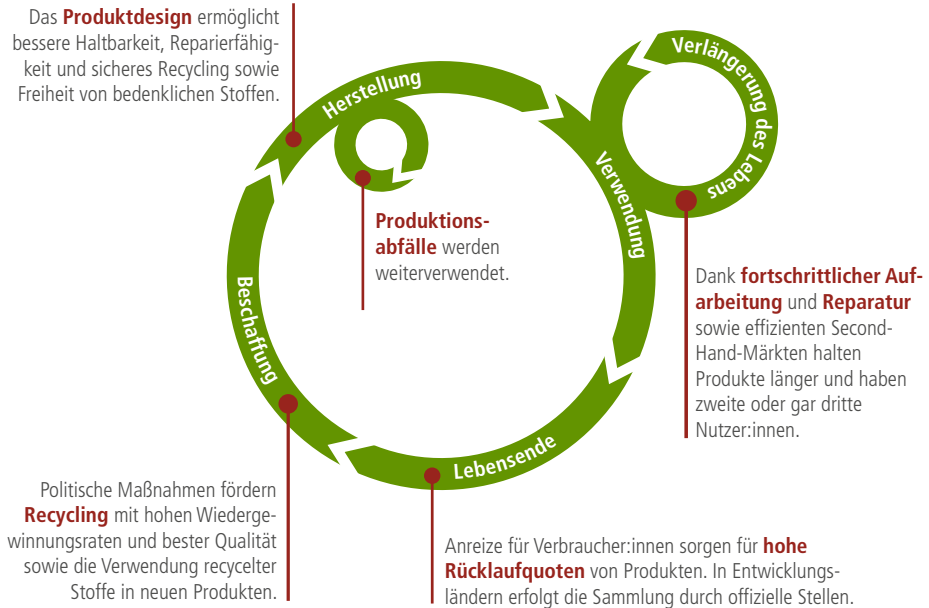


Abb. 10.2 Möglicher Kreislaufprozess für Elektronikwaren beziehungsweise -schrott. (Eigene Darstellung nach World Economic Forum 2019)

Heutige Elektronik ist ohne umfangreichen Softwareeinsatz undenkbar. Bei einer Ausweitung der Lebensdauer von Elektronik ist daher auch die Verfügbarkeit von Aktualisierungen zur Behebung von funktionalen Fehlern wie auch Sicherheitslücken unabdingbare Voraussetzung. Der Aspekt Sicherheit gewinnt durch die hochgradige Vernetzung an Bedeutung. Seine Vernachlässigung im Entwicklungsprozess hat Mängel zur Folge, die häufig nicht mehr behebbar sind. Böswillige Übernahmen der Geräte sind dann möglich, es sei denn, sie werden vom Internet getrennt. Häufig sind sie dann jedoch nur eingeschränkt oder gar nicht mehr funktionsfähig. Dass derartige Szenarien bereits Realität sind, haben die Angriffe des Mirai-Botnets 2016 vor Augen geführt (vgl. Dobbins et al. 2016).

Vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeitsdebatte sind Entwicklung und Einsatz von Elektronik über die gesamte Lebensspanne hinweg – von der Herstellung über den Betrieb bis zur Entsorgung – zu betrachten (siehe Abb. 10.2). Der Blick auf nur einen dieser drei Abschnitte ist unzureichend, deren Gewichtung muss allerdings dem Einzelfall individuell angepasst und in den Kontext des gesamtgesellschaftlichen Nut-

zens des jeweiligen Elektroniksystems gesetzt werden. Im Falle medizintechnischer Ausrüstung wird eine Abwägung sicherlich zu einem anderen Resultat kommen als etwa bei Spielzeugen oder Gegenständen mit geringem Nutzwert.

Weichen müssen jetzt gestellt werden

Wissenschaft und auch Politik haben erkannt, dass digitale Technologien sowohl zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele beitragen als auch Klima- und Umweltprobleme verschärfen können. Trotzdem ist die Einführung lenkender Maßnahmen und entsprechender Rahmenbedingungen für die Technologieentwicklung ein langwieriger Prozess. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Zum einen sind die Wirkungen in die eine oder andere Richtung schwer quantifizierbar, da mehrere Faktoren wie etwa unterschiedliche Reboundeffekte ineinandergreifen. Zum anderen müsste nicht die Politik allein handeln – alle Akteure, herstellende Unternehmen und Nutzer:innen gleichermaßen, müssen an der Implementierung eines wirksamen Maßnahmenkatalogs mitwirken.

Aufgrund eines fehlenden Preisdrucks wird vor allem im produzierenden Gewerbe bei der Digitalisierung selten auf Nachhaltigkeit oder Energieeffizienz geachtet. Ausgenommen hiervon sind die klassischen energieintensiven Industriebranchen wie Stahl-, Baustoff- und Papierproduktion. Hier bieten hohe Energiekosten genügend Anreize, über Einsparpotenziale nachzudenken. Im Allgemeinen wird in der Industrie nur zögerlich eruiert, welche Anlagen oder Prozess- und Verfahrensschritte die „großen Energieverbraucher“ sind und wo gegebenenfalls Optimierungsmaßnahmen sinnvoll sein könnten. Um hierbei von der Digitalisierung zu profitieren, müssen zudem geeignete Messkonzepte und Energiemanagementsysteme implementiert werden – ebenfalls ein Grund, die Dinge auf die lange Bank zu schieben. Beim Thema Digitalisierung stehen in der Industrie nach wie vor eher Aspekte wie Automatisierung von Prozessabläufen, schnellere Fertigung oder Flexibilisierung der Produktion im Vordergrund. Der Wunsch nach einer Erhöhung der Energieeffizienz, oder – mehr ganzheitlich gesehen – der Ressourceneffizienz, ist eher als Ausnahme Vorbild bei der Entwicklung und Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie.

Es braucht also Anreize, Energie- und Ressourceneffizienz in den Fokus der Akteure zu rücken. Am wirkungsvollsten sind meist solche von fiskalischer Natur, wobei eine verursachungsgerechte Bepreisung von Leistungen und Geräten beziehungsweise die Internalisierung externer Kosten das wirksamste Instrumentarium wären. Bezogen auf die Elektronik kann etwa ein „Umweltindex“, der sowohl die CO₂-Emissionen von Fertigung und Betrieb sowie die Recyclingfähigkeit einbezieht, eine Grundlage für Besteuerung und Zollabgaben bilden. Auf diese Weise werden Anreize für Verbraucher geschaffen, nachhaltige Geräte zu kaufen, und für Hersteller, solche Geräte auch anzubieten. Weiterhin können alternative Geschäftsmodelle helfen: Bei einer

nutzungsabhängigen Abrechnung hat das den Dienst anbietende Unternehmen ein großes Interesse daran, langlebige Geräte beim Kunden einzusetzen. Ein früher Austausch würde den Gewinn nicht nur erheblich schmälern, sondern gegebenenfalls sogar Ausfallkosten für eine nicht erbrachte Dienstleistung nach sich ziehen.

Um Reboundeffekten zu begegnen, empfehlen entsprechende Studien verschiedene evidenzbasierte Maßnahmen. Neben dem eigentlichen Erkennen und Berücksichtigen von Reboundeffekten bei der Gestaltung umweltpolitischer Maßnahmen zählt dazu die Anwendung unterschiedlicher, miteinander verwobener steuerlicher oder technologischer Instrumente. Zudem sollten Anreize für einen nachhaltigen Lebensstil beziehungsweise für Verhaltensänderungen bei Konsument:innen sorgen, und es sollte ein Bewusstsein für die Auswirkungen des eigenen Handelns geschaffen werden (vgl. Maxwell 2011:15). Tilman Santarius geht in seinem Beitrag noch einen Schritt darüber hinaus. Er schlussfolgert, dass sich aufgrund der Allgegenwärtigkeit von Reboundeffekten die Nachhaltigkeitsziele, wie etwa die Verminderung der Treibhausgase um 80 bis 90 Prozent in den Industrieländern bis zum Jahr 2050, nicht allein durch Effizienzstrategien erreichen lassen, da die Effizienz- beziehungsweise die damit verbundenen Produktivitätssteigerungen zusätzliches Wirtschaftswachstum stimulieren. Nur durch eine Begrenzung des Volkseinkommens wäre zu erreichen, dass Effizienzsteigerungen einen uneingeschränkt positiven Effekt entfalten (vgl. Santarius 2012:5).

Ob die Politik auf nationaler oder europäischer Ebene trotz der für alle zunehmend spürbaren Auswirkungen des Klimawandels und der näher rückenden Fristen für ihre Klimaschutzziele so weit gehen wird, ist fraglich. Fest steht aber, dass die positiven und negativen Auswirkungen von digitalen Trends jetzt durch steuerungspolitische Elemente aufgegriffen werden müssen, denn eine frühzeitige Weichenstellung erleichtert den Weg zu einer nachhaltigen digitalen Gesellschaft und Wirtschaft. Dafür müssen die politischen Steuerungsinstrumente so eingesetzt werden, dass sich die Digitalisierung auf Klimaschutz und nachhaltige Entwicklung für Mensch und Umwelt förderlich und nicht hemmend auswirkt. Dies erfordert Denken in Systemzusammenhängen, proaktives Handeln und ein weitgreifendes Verständnis von Regulierung, das neben Gesetzesnormen auch Standards, Konventionen und Anreizinstrumente nutzt.

Literatur

- Andrae, Anders S. G. und Edler, Tomas (2015): On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. In: Challenges (Basel, Schweiz) 6, S. 117–157. DOI: <https://doi.org/10.3390/challe6010117>.
- Apple Product Environmental Report iPhone SE (15.04.2020). Online verfügbar unter https://www.apple.com/environment/pdf/products/iphone/iPhone_SE_PER_Apr2020.pdf, zuletzt geprüft am 30.04.2020.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) (2018): Digitalisierung in der Landwirtschaft – Chancen nutzen, Risiken minimieren, Bonn: Öffentlichkeitsarbeit des BMEL.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2020): Umweltpolitische Digitalagenda, Berlin: Öffentlichkeitsarbeit des BMU.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Berlin: Öffentlichkeitsarbeit des BMWi.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2014): Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE), Berlin: Öffentlichkeitsarbeit des BMWi.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2019): Energieeffizienzstrategie 2050, Berlin: Öffentlichkeitsarbeit des BMWi.
- Bundesregierung Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.) (2018): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Aktualisierung 2018, Bonn: Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
- Bundesregierung Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (Hrsg.) (2019): Digitalisierung gestalten – Umsetzungsstrategie der Bundesregierung, aktualisierte Auflage, Bonn: Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung.
- Dobbins, Roland and Bjarnason, Steinthor (2016): Mirai IoT Botnet Description and DDoS Attack Mitigation. Online verfügbar unter <https://www.netscout.com/blog/asert/mirai-iot-botnet-description-and-ddos-attack-mitigation>, zuletzt geprüft am 22.09.2020.
- EU-KOM (2020): Die sechs Prioritäten der Kommission für 2019–2024, online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/priorities_de, zuletzt geprüft am 11.05.2020.
- Europäische Kommission (2020): Eine neue Industriestrategie für Europa, Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, Brüssel, 10.03.2020.
- European Union (2020): Supporting the Green Transition, Shaping Europes Digital Future, Brüssel: Öffentlichkeitsarbeit der EU-Kommission, DOI: <https://doi.org/10.2775/932617>.
- Jevons, William Stanley (1865): The coal question.
- Martus, Theresa (2020): Wie schädlich ist das Internet fürs Klima? In: Berliner Morgenpost, 07. Januar 2020, 5.

- Maxwell, Dorothy; Owen, Paula; McAndrew, Laure; Mudgal, Shailendra; Cachia, Frank; Muehmel, Kurt; Neubauer, Alexander; Tröltzsch, Jenny (2011): Addressing the Rebound Effect, a report for the European Commission DG Environment, 26 April 2011.
- Santarius, Tilman (2012): Der Rebound-Effekt – Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz in Impulse zur WachstumsWende Nr. 5 (März 2012), Hg. v. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Schulte, Anne (2016): Zahlen, bitte! Virtuelles Wasser in der Technik. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Zahlen-bitte-Virtuelles-Wasser-in-der-Technik-3135671.html>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- SRU (2011): Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung, Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen, Berlin, ISBN 978-3-503-13606-3.
- Stobbe, Lutz; Proske, Marina; Nissen, Nils F.; Zedel, Hannes; Rohde, Clemens; Leimbach, Timo; Beckert, Bernd; Rung, Sven; Ehret, Wiebke; Knauer, Lorenz; Schmale, Christoph; Tillack, Désirée (2015): IT2Green – Energieeffiziente IKT für Mittelstand, Verwaltung und Wohnen. Online verfügbar unter <https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/it2green-begleitforschung-ergebnisse.pdf>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- Windeck, Christof (2019): 13,4 Kilogramm CO2 für einen 512-GByte-Speicherchip. Online verfügbar unter <https://www.heise.de/newsticker/meldung/13-4-Kilogramm-CO2-fuer-einen-512-GByte-Speicherchip-4597570.html>, zuletzt geprüft am 08.05.2020.
- World Economic Forum (2019): A New Circular Vision for Electronics. (Genf, Schweiz). Online verfügbar unter http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf. Zuletzt geprüft am 08.05.2020.



Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de> veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.