

Wie kann das verbliebene CO₂-Budget gerecht auf die Weltbevölkerung aufgeteilt werden?

Zur Problematik zusätzlicher globaler Energieverbräuche bei begrenztem CO₂-Budget und endlichen Ressourcen

Matthias Kroll

Über den Autor

Dr. Matthias Kroll absolvierte eine Ausbildung zum Energie-Elektroniker, studierte im Anschluss Volkswirtschaftslehre, Soziologie und Rechtswissenschaften an der Hochschule für Wirtschaft und Politik in Hamburg und schloss sein Studium als Diplom-Sozialökonom ab. Anschließend promovierte er im Themenfeld „Geldtheorie und Geldpolitik“. Dabei setzte er sich mit der Fragestellung auseinander, wie staatliche Ausgaben mittels Geldschöpfung der Zentralbank inflationsfrei finanziert werden können. Matthias Kroll lehrte Wirtschaftspolitik an der Universität Hamburg und arbeitet seit 2010 für den World Future Council. Zuletzt publizierte er vorwiegend zu Fragen der globalen Klimafinanzierung und der Umsetzung der Energiewende.

World Future Council

Der World Future Council (WFC) verfolgt das Ziel, unseren Kindern und Enkeln einen gesunden, nachhaltigen Planeten mit gerechten und friedlichen Gesellschaften zu übergeben. Um dies zu erreichen, identifizieren, entwickeln, beleuchten und verbreiten wir zukunftsgerichte Lösungen für die aktuellen Herausforderungen der Menschheit und fördern deren Umsetzung weltweit. Der Rat besteht aus 50 internationalen Persönlichkeiten aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Kultur. Jakob von Uexküll, der Gründer des Alternativen Nobelpreises, hat den World Future Council 2007 ins Leben gerufen. Wir sind als gemeinnützige Stiftung in Hamburg registriert und finanzieren unsere Arbeit über Spenden und institutionelle Partnerschaften.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung/Problemstellung	5
1. Das aktuell verbliebene CO ₂ -Budget zur Einhaltung der 1,5-Grad-Erderwärmungsgrenze	6
2. Der Wettlauf zwischen dem Aufbau der erneuerbaren Energien und dem wachsenden Stromverbrauch	9
2.1. Die benötigte Energiemenge in Deutschland	10
2.2. Wie viel Energie wird zukünftig global benötigt?	12
3. Wie viel Milliarden US-Dollar müssen in erneuerbare Energien investiert werden? Eine erste Abschätzung	13
4. Der endliche Planet: Der Rohstoffbedarf für die globale Energiewende in der langen Frist	16
5. Steigende Energieverbräuche im Globalen Norden	18
5.1. Steigende Energieverbräuche durch 5G, KI und andere Digitalisierungsanwendungen	18
5.2. Steigende CO ₂ -Emissionen bei der globalen Zementproduktion	22
5.3. Steigende Verbräuche bei der Stahlerzeugung	24
5.4. Steigende Verbräuche beim Luftverkehr	26
5.5. Autoverkehr: Rebound-Effekt durch (zu) große Elektroautos	27
6. Wie kann das verbliebene CO ₂ -Budget gerecht zwischen dem Globalen Norden und dem Globalen Süden aufgeteilt werden?	30
6.1. Die Energieverbrauchstreiber im Globalen Norden und im Globalen Süden: Eine kurze Gegenüberstellung	31
6.2. Wie lässt sich herausfinden, welche Energieverbräuche sinnvoll sind und welche nicht? Der „Gerechtigkeitsstest“ von John Rawls	33
Schlussbetrachtung/Zusammenfassung	35
Exkurs 1: Die 17 Ziele der UNO für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs)	37
Exkurs 2: Zur Einordnung der Größenordnungen	38
Exkurs 3: Problemfeld Erdgas	40
Exkurs 4: Energiebilanzen und wie durch den Einsatz erneuerbarer Energie ein großer Effizienzschatz gehoben werden kann	41
Referenzen	43





„Die schon jetzt – bei ca. 1,1 °C Klimaerwärmung – häufiger auftretenden Extremwittersituationen geben nur einen kleinen Ausblick, welche Auswirkungen bei Temperaturanstiegen von über 1,5 °C auftreten werden.“

Einleitung/Problemstellung

Angesichts des immer bedrohlicher fortschreitenden Klimawandels ist klar: Die globalen Energieverbräuche müssen nicht nur dekarbonisiert werden, sie dürfen auch nicht mehr stark ansteigen. Dies macht insbesondere die begrenzte verbliebene Zeit für die Energiewende erforderlich. Nach aktuellem Wissen muss Letztere im Wesentlichen schon deutlich vor 2040 abgeschlossen sein, wenn noch eine realistische Chance auf die Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze bestehen soll. Es besteht also ein Wettlauf zwischen dem Aufbau der erneuerbaren Energien auf der einen und dem schrumpfenden CO₂-Restbudget auf der anderen Seite. Jeder weitere Anstieg der Energieverbräuche erschwert es, die Klimaziele zu erreichen: Eine stagnierende oder nur langsam zunehmende Energienachfrage lässt sich leichter und schneller auf CO₂-freie Energien umstellen als eine, die kontinuierlich wächst.

Diese Studie soll zunächst einen kurzen Überblick geben, wie groß das verbliebene Budget an CO₂-Äquivalenten noch ist, wenn die 1,5-Grad-Grenze nicht überschritten werden soll. Auf dieser Basis soll ermittelt werden, wie viel Leistung an erneuerbarer Energie aufgebaut werden muss, um alle aktuellen und zukünftigen Verbräuche klimafreundlich zu decken, und zwar auf globaler und auf nationaler, deutscher Ebene. Dabei ist zu beachten, dass der Globale Süden zunächst einen höheren Energiebedarf hat. Hier gilt es, die notwendige Infrastruktur zur Umsetzung der 17 nachhaltigen Entwicklungsziele der UNO (Sustainable Development Goals, SDGs) nachholend aufzubauen. Im Globalen Norden ist dieser Prozess hingegen schon weitgehend abgeschlossen.

Danach zeigt die Studie, dass sich die globale Energiewende finanzieren lässt und dass auch genügend Potenzial an Wind und Sonne vorhanden ist, um den errechneten Bedarf zu befriedigen. Allerdings sind auf einem begrenzten Planeten in einem langfristigen Zeithorizont auch die geeigneten Flächen und die erforderlichen Rohstoffe für Solar- und Windenergiesysteme limitiert. Ein unbegrenztes Wachstum des Energieverbrauchs ist daher auch mit erneuerbaren Energien nicht möglich.

Für den Zeitraum, der zur Dekarbonisierung verbleibt, sind im Globalen Norden besonders jene Energieverbrauchssektoren problematisch, in denen weitere Anstiege zu erwarten sind. Die Wohlstandsgewinne, die daraus entstehen, liegen dagegen in einem vergleichsweise minimalen Bereich. Dazu gehört insbesondere die schnelle Expansion digitaler Anwendungen wie Streamingdienste, der Mobilfunkstandard 5G und künstliche Intelligenz (KI). Aber auch der Trend hin zu immer größeren und energieintensiveren Autos droht weiter anzuhalten – trotz Umstellung auf Elektromobilität.

Diese geringen Wohlstandsgewinne im Globalen Norden stehen im Kontrast zu den vielen nachholenden und daher notwendigen Energienutzungsbedarfen in den ärmeren, wenig industrialisierten Staaten des Globalen Südens. Diese Länder stehen vor der Aufgabe, die 17 SDGs umzusetzen. Die Wohlstandsgewinne pro zusätzlich genutzter Energieeinheit dürften dort also erheblich größer ausfallen, wenn Infrastrukturen bei Wohnraum, Verkehrswegen, Schulen, Krankenhäusern etc. errichtet werden, die bislang noch fehlen.

Vor diesem Hintergrund behandelt die Studie zuletzt die Frage, wie sich das restliche CO₂-Budget fair zwischen dem Globalen Norden und dem Globalen Süden aufteilen lässt. Dabei greift sie auch auf das von John Rawls entwickelte, einfache Gedankenexperiment zur Etablierung einer gerechten Gesellschaftsordnung zurück.

Zum Begriffspaar „Globaler Norden“ und „Globaler Süden“

In dieser Studie wurde bewusst das eher unscharfe Begriffspaar „Globaler Norden“ und „Globaler Süden“ gewählt, weil es am besten auf die 17 SDGs angewendet werden kann. Zum Globalen Süden gehören demnach Länder, die noch einen großen Nachholbedarf bei den SDGs haben. Der Begriff „Globaler Norden“ meint dagegen jene Länder, in denen die SDGs zumindest weitgehend umgesetzt sind. Natürlich gibt es viele Staaten, die in Teilen bereits zum Globalen Norden gehören, in anderen Teilen aber noch nicht. Für die Fragestellung der Studie ist dies jedoch nicht entscheidend. Diese „Globalen

Schwellenländer“ sollten sich in den Teilen, in denen sie dem Globalen Norden entsprechen, energetisch so verantwortungsbewusst verhalten, wie dies von den Staaten des Globalen Nordens erwartet werden muss. Und in jenen Teilen, in denen sie zur Umsetzung der SDGs energetischen Nachholbedarf haben, sollten sie das Anrecht haben, diese notwendige Energie auch zu verwenden.

Aufgrund ihres begrenzten Umfangs geht diese Studie nur auf die Problematik des energiebedingt steigenden CO₂-Ausstoßes (einschließlich der Zement- und Stahlherstellung) als Haupttreiber der Klimaerwärmung ein. Den Anteil der Forst- und Landwirtschaft als wichtigem Methan-Emitter kann sie nur am Rande behandeln.

1. Das aktuell verbliebene CO₂-Budget zur Einhaltung der 1,5-Grad-Erderwärmungsgrenze

Unter Erderwärmung wird der Anstieg der globalen Jahresdurchschnittstemperatur der erdnahen Atmosphäre seit der vorindustriellen Zeit verstanden. Die Hauptursache für diesen Temperaturanstieg findet sich in den durch den Menschen verursachten Treibhausgasemissionen insbesondere aus dem Energiesektor, jedoch auch der Stahl- und Zementherstellung sowie dem Agrarsektor.¹ Neben CO₂ ist Methan der wichtigste Treiber. Während Methan jedoch nach wenigen Dekaden seine Klimawirksamkeit verliert, verbleibt Kohlendioxid sehr lange – d. h. über viele Jahrhunderte bis Jahrtausende hinweg – in der Erdatmosphäre. Somit ist es sehr schwierig, vom Erwärmungsniveau, das durch anhaltend steigende CO₂-Konzentrationen erreicht wird, wieder zu Bedingungen zurückzukehren, die die Erderwärmung umdrehen können.

Treibhausgasemissionen, Erderwärmung und das verbliebene globale CO₂-Budget

Im weiteren Verlauf werden Gerechtigkeitsfragen bei der Aufteilung des verbliebenen Klimabudgets erörtert. Zuvor aber ist es sinnvoll, einen Überblick über die aktuelle Situation aus naturwissenschaftlicher Sicht zu geben.² Die globalen CO₂-Emissionen pro Kopf liegen derzeit bei durchschnittlich 4,8 Tonnen (t).³ Hinzu kommt das klimaintensive Methan; auch Distickstoffoxid (Lachgas) und weitere Spurengase spielen eine kleine Rolle. Obwohl die globale Wirtschaftsleistung aufgrund der Corona-Pandemie stark zurückging, erreichten die Klimaemissionen in der Atmosphäre neue Rekordwerte. Die vom Scripps Institution of Oceanography San Diego ermittelten Messdaten für März 2021 zeigen eine CO₂-Konzentration von über 418 ppm (parts per million).⁴ Damit liegt die derzeitige CO₂-Konzentration um über 50 % über der ursprünglichen CO₂-Konzent-

**Werden die aktuellen
Politiken fortgesetzt,
ist von einer Erder-
wärmung auf bis zu
3 °C auszugehen**

gegeben werden.⁸ Würden die derzeitigen CO₂-Emissionen von 42 Gt im Jahr fortgesetzt, wäre dieses Budget bereits Ende 2027 aufgebraucht.⁹ Eine massive Reduzierung der Emissionen ist daher unerlässlich. Seit 2017 sind aber bereits weitere vier Jahre vergangen, in denen die globalen Emissionen nicht gesunken sind. Umso größer müssen nun die Bemühungen sein, um das verbliebene CO₂-Budget nicht zu überschreiten. Je länger wir zögern, die globale Energiewende umzusetzen, umso größer werden die notwendigen Einsparungen in der dramatisch schrumpfenden Restzeit.

Der aktuelle IPCC-Bericht vom August 2021 bestätigt die verbliebenden CO₂-Budgets. Joeri Rogelj, Mitautor dieses Berichts, fasst die neuen Erkenntnisse so zusammen: „Die CO₂-Budgets sind grob gleichgeblieben. Obwohl wir jeden Faktor von Grund auf neu überarbeitet haben, kommen wir zum selben Resultat. Die gute Nachricht ist: Unser wissenschaftliches Verständnis ist robust. Und die schlechte ist: Diese Budgets waren schon vor drei Jahren sehr klein und mit den Emissionen seither haben wir einen weiteren, großen Teil der Budgets verbraucht.“¹⁰

Die Grafik auf der folgenden Seite zeigt verschiedene Entwicklungspfade der globalen CO₂-Emissionen ab 2017. Derzeit bewegen wir uns in Richtung der roten Linie.

ration von rund 270 ppm in vorindustrieller Zeit. Die Effekte der Pandemie schwächten die Wachstumsrate nur leicht ab, konnten aber nicht verhindern, dass es zu einem weiteren absoluten Anstieg kam. Somit wurden auch die Wirkungen der Treibhausgase auf die Erwärmung nicht gebremst.

Der globale Temperaturanstieg in der erdnahen Atmosphäre beträgt laut Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, auf Deutsch: Weltklimarat) bereits jetzt ca. 1,1 °C.⁵ Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen lagen die 20 weltweit wärmsten Jahre (mit Ausnahme des Jahres 1998) alle im 21. Jahrhundert,⁶ wobei 2020 das zweitwärmste und 2016 das wärmste Jahr waren.⁷

Da die derzeitige Erderwärmung bereits bei ca. 1,1 °C liegt, ist von einer Erwärmung auf bis zu 3 °C auszugehen, wenn die aktuellen Politiken fortgesetzt werden. Die Ziele des Pariser Klimavertrags würden also weit überschritten. Um die 1,5-Grad-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 % noch zu erreichen, dürfen – Stand 2017 – nur noch rund 420 Gigatonnen (Gt) CO₂ in die Atmosphäre ab-

⁵ Vgl. IPCC; Climate change widespread, rapid, and intensifying, 09.08.2021; <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>

⁶ Vgl. NOAA (2021), Despite pandemic shutdowns, carbon dioxide and methane surged in 2020, <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2742/Despite-pandemic-shutdowns-carbon-dioxide-and-methane-surged-in-2020>

⁷ Vgl. Umweltbundesamt (2021), Indikator globale Lufttemperatur, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-globale-lufttemperatur#welche-bedeutung-hat-der-indikator>

⁸ Vgl. IPCC (2018), Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, www.ipcc.ch/sr15/; <https://www.de-ipcc.de/256.php>

⁹ Vgl. Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC), 2021; <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>

¹⁰ Joeri Rogelj im Interview mit der TAZ vom 10.08.2021; <https://taz.de/Klimaforscher-ueber-CO2-Budget/15788173/>

¹ Vgl. Ritchie, H. und M. Roser (2021), Emissions by sector, <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>

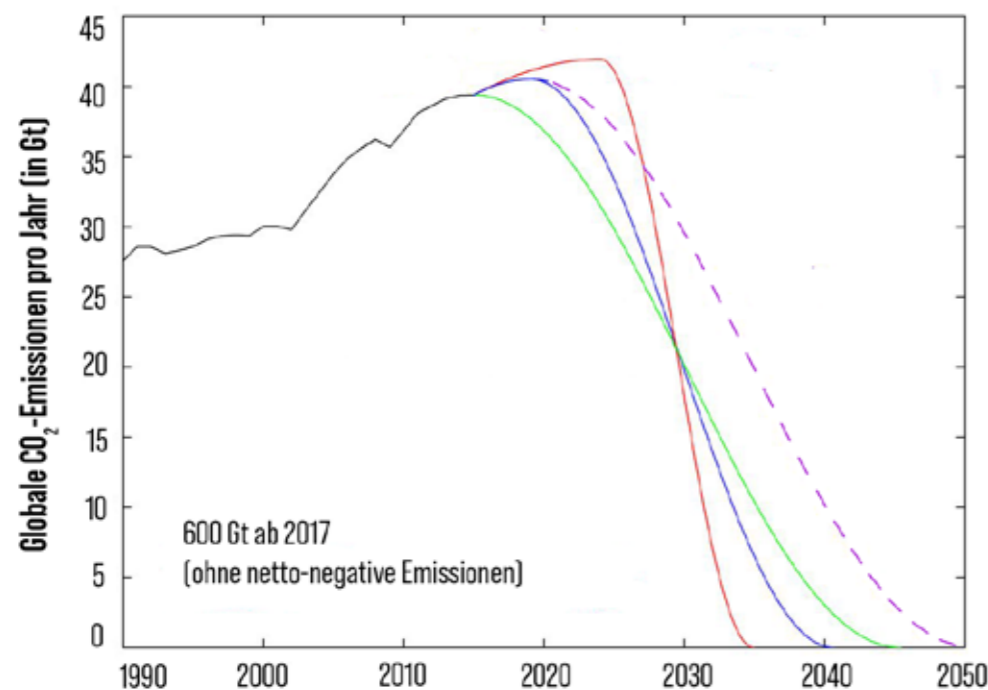
² Einen guten und aktuellen Überblick liefern hier z. B.: Jacob et al.; Naturwissenschaftlicher Hintergrund der Erderwärmung: Wo stehen wir zurzeit?, in Wirtschaftsdienst, 101. Jg., 5/2021, S. 330-334; <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2021/heft/5/beitrag/naturwissenschaftlicher-hintergrund-der-erderwaermung-wo-stehen-wir-zurzeit.html>

³ Vgl. Friedlingstein P. et al. (2020), Global Carbon Budget 2020, Earth System Science Data, 12, 3269-3340, <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>

⁴ Vgl. Scripps Institution of Oceanography San Diego (2021), Scripps CO₂ Programme, <https://scrippsco2.ucsd.edu>

Exemplarische Emissionspfade, bei denen die 1,5-Grad-Grenze mit einer 50 %-igen Wahrscheinlichkeit eingehalten werden kann, mit einem Gesamtausstoß von jeweils 600 Gt CO₂, aber unterschiedlichen Jahren, in denen der Wendepunkt erreicht wird.

Die gestrichelte Linie zeigt ein Beispiel mit 800 Gt CO₂-Ausstoß.



- Jahr der Emissionswende: 2016
- Jahr der Emissionswende: 2020
- Jahr der Emissionswende: 2025
- - - Ein Beispiel mit 800 Gt CO₂-Ausstoß

Um die 1,5-Grad-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 % noch zu erreichen, dürfen laut IPCC sogar nur noch rund 420 Gt CO₂ in die Atmosphäre abgegeben werden.

Grafik: Prof. Stefan Rahmstorf, Creative Commons BY-SA 4.0. <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/koennen-wir-die-globale-erwaerung-rechtzeitig-stoppen/>

Deutschlands verbliebenes CO₂-Budget

Mit rund 9 t liegt der Pro-Kopf-CO₂-Ausstoß in Deutschland erheblich über dem globalen Durchschnitt von 4,8 t.¹¹ Wissenschaftler der Helmholtz-Klima-Initiative gehen aktuell von einem verbleibenden Budget von insgesamt ca. 7,8 Gt CO₂ für Deutschland ab 2021 aus. Damit wäre bei einem konstanten CO₂-Ausstoß das deutsche Budget bereit Ende 2030 – also in rund zehn Jahren – verbraucht.¹²

Um den Ausstoß so weit zu reduzieren, dass das verbleibende CO₂-Budget nicht überschritten wird, müssen alle energetischen Prozesse dekarbonisiert werden. Da die verbleibende Zeit zum Aufbau der notwendigen erneuerbaren Energien aber sehr knapp ist, darf die gesamte Energienachfrage möglichst nicht mehr ansteigen. Im Fortlauf untersucht diese Studie daher auch, in welchen Sektoren ein weiterer starker Anstieg der Energieverbräuche droht und wie er sich verhindern lässt.

¹¹ Vgl. Umweltbundesamt (2021).

¹² Vgl. Helmholtz-Klima-Initiative, 2021: <https://www.helmholtz-klima.de/faq/wie-viel-co2-duerfen-wir-deutschland-noch-ausstossen-um-die-klimaziele-zu-erreichen>

2. Der Wettlauf zwischen dem Aufbau der erneuerbaren Energien und dem wachsenden Stromverbrauch

Die globalen Energieverbräuche haben in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Und dies, obwohl in vielen „reifen“ Industriestaaten des Globalen Nordens seit einiger Zeit ein gewisser Sättigungsgrad erreicht scheint und der Verbrauch an Primärenergie teilweise sogar sinkt. Dafür steigen die Verbräuche in Staaten, die Entwicklungen nachholen und ihr Wohlstands- sowie Einkommensniveau anheben. Ihr Pro-Kopf-Verbrauch an Energie ist aber immer noch deutlich geringer als der in den „reifen“ Industriestaaten mit hohem Wohlstandsniveau. Daher ist zu erwarten, dass die Verbräuche insgesamt weiter ansteigen werden. Entscheidend für die Entwicklung der globalen Klimaemissionen ist, dass dieser Anstieg des Verbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt wird und nicht, indem mehr fossile Kraftwerke gebaut werden.

Steigende Energieverbräuche und Klimaemissionen

Aus Sicht des Klimaschutzes sollten die globalen Stromverbräuche bereits jetzt möglichst nicht mehr wachsen. So könnte der Anteil, der mit erneuerbaren Energien erzeugt wird, schnell aufholen. Nachdem die CO₂-Emissionen des Stromsektors in den Jahren 2019 und 2020 durch den Ausbau der erneuerbaren Energien leicht gesunken waren (wenn auch 2020 weitgehend pandemiebedingt), sieht die Internationale Energie Agentur (IEA) für 2021 und 2022 wieder einen deutlichen Anstieg voraus.¹³ War die Stromnachfrage 2020 noch um 1 % gesunken, soll sie laut IEA in diesem Jahr um 5 % und im nächsten um 4 % anwachsen. Fast die Hälfte des Anstiegs wird durch fossile Brennstoffe, insbesondere durch Kohle, gedeckt werden. Die CO₂-Emissionen des Stromsektors drohen damit, im Jahr 2022 auf ein Rekordniveau zu steigen.

¹³ Vgl. Internationale Energie Agentur (IEA), Electricity Market Report, July 2021, S.3f.: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/01e1e998-8611-45d7-acab-5564bc22575a/ElectricityMarketReportJuly2021.pdf>

¹⁴ Vgl. REN21, Renewables 2021: Global Status Report, S. 184; https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf

¹⁵ Vgl., DIW Wochenbericht 29+30, (2021), 100 Prozent erneuerbare Energien für Deutschland: Koordinierte Ausbauplanung notwendig; https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.821870.de/21-29-1.pdf

Der wesentliche Teil des Zuwachses der Stromnachfrage wird voraussichtlich aus dem asiatisch-pazifischen Raum kommen, vor allem aus China und Indien. Gleichzeitig baut China derzeit aber auch einen Großteil der erneuerbaren Energien auf.

Um den starken Anstieg der weltweiten Stromnachfrage in diesem und im nächsten Jahr zu befriedigen, ist der Aufbau der erneuerbaren Energien aber nicht schnell genug. Lediglich die Hälfte des von der IEA prognostizierten Anstiegs der Stromnachfrage ist durch die Erneuerbaren gedeckt. Damit werden auch die CO₂-Emissionen mit einer Rate von 3,5 % in 2021 und 2,5 % in 2022 zunehmen. Das Wachstum der erneuerbaren Energien ist immer noch weit von der Größenordnung entfernt, die benötigt wird, um die globale Energieversorgung auf den Pfad zum 1,5-Grad-Ziel zu bringen. Dies zeigt sich auch daran, dass die Summen, die jährlich in den Aufbau der erneuerbaren Energien investiert werden, seit 2015 auf einem Niveau von rund 300 Milliarden US-Dollar stagnieren.¹⁴ Die installierte Leistung nahm zwar dennoch zu, das lag aber nur daran, dass die Preise für Wind- und Solaranlagen im genannten Zeitraum stark gesunken sind. Mit anderen Worten: Mit dem gleichen Investitionsbeitrag konnten deutlich mehr Wind- und Solaranlagen errichtet werden.

Ein oft übersehener Punkt ist, dass der Dekarbonisierungsprozess selbst dazu führt, dass die Stromnachfrage steigt: Die Versorgung der Sektoren „Verkehr“, „Haushaltswärme“ und „Prozesswärme für die Industrie“ erfolgt dann ja nicht mehr durch fossile Energieträger, sondern durch grün erzeugten Strom. Künftig muss dafür in Deutschland rund doppelt so viel Strom erzeugt werden wie heute.¹⁵ Der Vorteil ist, dass dieser Strom dann den Primärenergieverbrauch, den bisher Kohle, Öl und Gas decken, ersetzen wird. Da durch die Umstellung auf

Elektrizität als Hauptenergieträger viele Effizienzreserven gehoben werden, ist zu erwarten, dass sich der gesamte Energiebedarf auf etwa ein Drittel des aktuellen Primärenergieverbrauchs verringern wird (siehe Exkurs 4, Seite 41).

Wie viel erneuerbare Energie wird benötigt, um die fossilen Energien abzulösen?

Diese Studie soll zeigen, dass das 1,5-Grad-Ziel nur dann einzuhalten ist, wenn die globale Energienachfrage nur noch langsam steigt. Um bestehende fossile Energien abzulösen und neue Energiebedarfe im Globalen Süden zu bedienen, müssen neue CO₂-freie, erneuerbare Energien aufgebaut werden. Das Tempo, mit dem dies geschieht, lässt sich jedoch nicht endlos steigern. Daher wird zunächst ermittelt, wie viel erneuerbare Energien zum einen Deutschland und zum anderen die Welt benötigen, um die aktuelle Nachfrage zu befriedigen. Diese Werte werden dann in Bezug zum aktuell stattfindenden Aufbau erneuerbarer Energien gesetzt. Hier geht

es darum, ungefähre Größenordnungen zu vermitteln, um in der Klimaschutzdebatte darzulegen, ob wir bei dem Zubau von erneuerbaren Energien auf einem zielführenden Weg sind oder nicht. Anhand dieser Werte lässt sich auch zeigen, dass ein kontinuierlicher Anstieg der Energieverbräuche es erheblich erschweren wird, die Klimaziele bis 2040 zu erreichen.

Zum besseren Verständnis dieser unvermeidbar großen Zahl von Energiedaten werden die Werte einheitlich in Gigawatt (GW) installierter Leistung und in Terawattstunden (TWh) Stromproduktion abgebildet, wobei die Reihenfolge Kilowatt (kW), Megawatt (MW), Gigawatt (GW) und Terawatt (TW) jeweils in Tausendern gilt. Ein kleines, angehängtes „h“ zeigt, über wie viele Stunden (h) mit der angegebenen Anlagenleistung tatsächlich Strom produziert wurde.

2.1. Die benötigte Energiemenge in Deutschland

Für Deutschland sind die notwendigen Bedarfe an erneuerbaren Energien mittlerweile recht gut prognostiziert. Um alle Energieverbräuche auf CO₂-frei erzeugten Strom umzustellen, wird sich der Strombedarf von derzeit knapp 600 TWh rund verdoppeln. Volker Quaschnig, Professor für Energietechnik an der HTW Berlin, hat bereits 2016 einen neuen Strombedarf von 1.300 TWh nach einem vollständigen Umbau der deutschen Energiesysteme errechnet (unter Einberechnung aller Optimierungsmaßnahmen durch die sogenannte Sektorkopplung).¹⁶ Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) kam in einer aktuellen Schätzung auf einen ähnlichen Bedarf von 1.200 TWh.¹⁷ Diese Werte beruhen auf der Annahme, dass die Energienutzung weder sinkt noch weiter ansteigt. Bedarfsreduzierungen durch Einsparungen in einigen Bereichen werden hier demnach durch Mehrverbräuche in anderen Bereichen ausgeglichen.

Der Aufbau von Windenergie

Um den Windanteil der benötigten Strommenge von 1.300 TWh zu erreichen, sind insgesamt etwa 200 GW Windkraft an Land und etwa 70 GW auf See nötig.¹⁸ Bei einem aktuellen Bestand von 55 GW an Land und knapp 8 GW¹⁹ auf See fehlen demnach noch 145 GW an Land bzw. etwa 62 GW auf See. Angenommen, der energetische Umbau muss innerhalb der nächsten 18 Jahre bis spätestens 2040 abgeschlossen sein, ergibt sich ein jährlicher Zubaubedarf von 8 GW an Landstandorten und 3,5 GW auf See. Diese Zahlen mögen zunächst groß erscheinen, tatsächlich aber wurden in den letzten Jahren teilweise schon Zubauraten realisiert, die in diese notwendigen Größenordnungen hineinreichen. So wurden z. B. 2017 rund 5 GW an Land und 2015 knapp 2,5 GW auf See neu zugebaut. Diese Werte waren bereits vor einigen Jahren technisch erreichbar. Daher gibt es keinen ernst zu nehmenden Grund, warum nicht auch die nur leicht höheren Zubauzahlen zur Erfüllung des

1,5-Grad-Ziels möglich sein sollten. Die Gründe für den schwankenden und teilweise sogar stagnierenden Ausbau der Windenergie sind die behindernden Regulierungsmaßnahmen der Bundesregierung und der Länder. Insbesondere die neu definierten Abstandsregeln für Windräder haben dazu geführt, dass es kaum noch mögliche Standorte gibt.

Der Aufbau von Solarenergie

Um den solaren Anteil bei der Erzeugung der zukünftig benötigten 1.300 TWh Strom zu erreichen, braucht Deutschland künftig gut 400 GW an Photovoltaik. Davon sind bis jetzt erst 57 GW installiert. Um die fehlenden 343 GW in den nächsten 18 Jahren zu errichten, bedarf es daher eines jährlichen Zubaus von rund 19 GW. Auch bei der Photovoltaik gab es bereits Jahre (z. B. 2010 und 2012), die Zubauwerte von gut 8 GW Leistung verzeichneten. Es ist kein Grund erkennbar, warum nicht auch 19 GW pro Jahr möglich sein können. Wie bei der Windkraft ist der Haupthinderungsgrund für den zügigen Ausbau der Photovoltaik in den stark bremsenden Regulierungsmaßnahmen zu finden.

Im Wettlauf gegen die Zeit darf es keine neue Energieverschwendung geben

Der deutsche Beitrag zur globalen Energiewende zur Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels lässt sich noch erreichen, wenn der beschriebene Ausbau der erneuerbaren Energien bis spätestens 2040 erfolgt. Sollte aber der Energiebedarf durch neue Verbrauchsmuster deutlich ansteigen, ist es nicht mehr möglich, das Ziel zu erreichen. Eine neue Studie der Organisation Carbon Tracker ermittelte das weltweite Potenzial erneuerbarer Energien und zeigte, dass das technische Potenzial bei erneuerbaren Energien in Deutschland gerade einmal um den Faktor 2 höher liegt als der derzeitige Energieverbrauch.²⁰ Es gibt also nicht viel Raum, um die erneuerbaren Energien durch ineffiziente Nutzung zu verschwenden.



¹⁶ Vgl. Quaschnig, Volker; Sektorkopplung durch die Energiewende, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2016, S. 32: <https://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/sektorkopplung/index.php>
¹⁷ Vgl. DIW, (2021).
¹⁸ Vgl. Quaschnig (2016), S. 32.
¹⁹ Vgl. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Energy-Charts; <https://energy-charts.info/?l=de&c=DE>
²⁰ Vgl. Carbon Tracker, The Sky's the Limit: Solar and wind energy potential is 100 times as much as global energy demand, 23.04.2021; <https://carbontracker.org/reports/the-skys-the-limit-solar-wind/>

Das Beispiel Deutschland zeigt, dass 100 % erneuerbare Energien möglich sind. Aber der energetische Pfad ist sehr schmal und jede weitere Verschwendung von Effizienz und jeder sinnlose Mehrverbrauch machen es schwieriger, das Ziel zu erreichen, und vergeuden das knappe, verbliebene CO₂-Budget. Gleichzeitig ist Deutschland als viertgrößte Industrienation der Welt international ein wichtiges Vorbild bei der Durchführung der Energiewende. Denn wenn sich zeigt, dass diese in Deutschland machbar ist, obwohl die Bedingungen für Solar- und Windstromerzeugung im globalen Vergleich deutlich unterdurchschnittlich sind, kann sich kaum ein Land der Welt der globalen Energiewende entziehen, indem es argumentiert, sie sei technisch nicht darstellbar.

Die genannte Carbon-Tracker-Studie zeigt, dass das Potenzial für erneuerbare Energien auf globaler Ebene deutlich größer als in Deutschland ist. Das macht Hoffnung und soll nun bei der Beurteilung der zukünftigen globalen Energiebedarfe helfen.

2.2. Wie viel Energie wird zukünftig global benötigt?

Die Schätzungen, wie viel Energie auf globaler Ebene in der Zukunft verbraucht wird und mittels erneuerbarer Energien erzeugt werden muss, sind deutlich anspruchsvoller als jene, die sich nur auf Deutschland beziehen. Dies liegt daran, dass die Länder bei der aktuellen und zukünftig erwartbaren Verbrauchsstruktur sehr heterogen sind. Aber nicht nur der Energieverbrauch der Länder unterscheidet sich stark – auch beim Potenzial für Wind- und Solarenergie gibt es große Unterschiede.

Um dennoch eine ungefähre Größenordnung zu ermitteln, soll hier auf eine sehr umfangreiche Untersuchung der finnischen LUT Universität von 2019 zurückgegriffen werden. Diese geht davon aus, dass der globale Energieverbrauch von 125.000 TWh im Jahr 2015 auf 150.000 TWh im

Jahr 2050 ansteigen wird. Letzterer wird dann zu 100 % mit erneuerbaren Energien gedeckt.²¹ Diese eher geringe Zunahme von nur 25 % – trotz Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum – ergibt sich aus den enormen Effizienzsteigerungen bei der Umstellung auf Elektrizität. Würde hingegen das aktuelle, fossil dominierte Energiesystem beibehalten, stiege der Energieverbrauch dagegen auf rund 300.000 TWh.²² (siehe Exkurs 3, Seite 40)

Zubaunotwendigkeiten bei Windenergie

Um eine globale Versorgung, die zu 100 % mit erneuerbaren Energien erfolgt, sicherzustellen, setzt die LUT-Studie eine notwendige Windenergieleistung von 8.000 GW an.²³ In 2020 liegt die global installierte Windleistung bei 743 GW.²⁴ Da heute davon ausgegangen werden kann, dass die weltweiten Energiesysteme bis spätestens 2040 dekarbonisiert sein müssen (und nicht erst 2050, wie in der LUT-Studie angenommen), verbleibt nur noch ein Zeitraum von 18 Jahren. Daraus ergibt sich ein jährlicher Zubaubedarf bei der Windenergie von rund 400 GW. Um dies zu erreichen, bedarf es bei einem aktuellen jährlichen Zubau an Windenergie von 93 GW (im Zeitraum von 2019 bis 2020)²⁵ einer Steigerung um etwa den Faktor 4.

Zubaunotwendigkeiten bei Photovoltaik

Die LUT-Studie geht beim Energiemix von einem recht hohen Anteil an Photovoltaik aus. Daher ergibt sich hier ein globaler Gesamtbedarf von 63.400 GW.²⁶ Die aktuell auf globaler Ebene installierte Photovoltaik liegt bei 760 GW²⁷. Daraus ergibt sich bezogen auf 18 Jahre ein jährlich notwendiger Zubau von 3.480 GW. Um diese Größenordnung zu erreichen, muss der aktuelle Zuwachs (2019 bis 2020) von jährlich 139 GW²⁸ um den Faktor 25 erhöht werden.

Andere Energieformen wie Bioenergie und Wasserkraft spielen in der LUT-Studie für den Umstieg auf erneuerbare Energien nur eine geringe Rolle. Ihr



Anteil verbleibt ungefähr auf dem aktuellen Niveau. Beim Mix aus Wind und Sonne legt die Studie den Focus auf die Photovoltaik. Hier wäre auch ein erneuerbarer Energiemix mit einem größeren Wind-

anteil denkbar. Die Ausbaunotwendigkeiten für die Photovoltaik würden sich dann verringern, für Windenergie dagegen erhöhen. Für die weitere Fragestellung spielt dies aber keine relevante Rolle.

3. Wie viel Milliarden US-Dollar müssen in erneuerbare Energien investiert werden? Eine erste Abschätzung

2020 wurde eine Investitionssumme von 303 Milliarden US-Dollar aufgewendet, um 256 GW neue Leistung aus erneuerbaren Energien zu installieren.²⁹ Derzeit sind also etwa 1,18 Milliarden US-Dollar notwendig, um eine Investition von 1 GW erneuerbare Energien zu finanzieren. Übernimmt man die Ergebnisse der LUT University und bezieht sie auf den verbliebenen Zeitraum bis 2040, ergibt sich ein jährlicher Ausbaubedarf von etwa 3.900 GW. Zu heutigen Preisen betrüge demnach die Investitionssumme enorme 4.600 Milliarden US-Dollar im Jahr. Diese Summe verringert sich aber, da gleichzeitig die erheblichen Investitionsbedarfe in Kohle, Erdöl, Gas und nukleare Energien entfallen. Diese betragen laut Internationaler Energieagentur (IEA) 1.015 Milliarden US-Dollar.³⁰ Rechnet man diese eingesparten Investitionen dagegen, ergibt sich nur noch ein Nettobedarf von 3.585 Milliarden US-Dollar pro Jahr.

Diese immer noch große Summe an notwendige EE-Investitionen sind realwirtschaftlich darstellbar.

Tatsächlich bedeuten sie nur rund 4 % der globalen Wirtschaftsleistung (BIP) von 87.600 Milliarden US-Dollar (2019).³¹ Vorausgesetzt, die Regulierung erfolgt umsichtig, kann insbesondere in den Staaten des Globalen Nordens mit sicheren Erträgen aus dem Verkauf der CO₂-freien Stromproduktion gerechnet werden. Schon heute sind die erneuerbaren Energien gegenüber neuen fossilen Kraftwerken grundsätzlich wettbewerbsfähig. Damit können sich viele institutionelle Investoren an den Investitionen beteiligen. Hinzu kommt, dass es sich bei der Summe nicht um einmalige konsumtive Ausgaben, sondern um Investitionen handelt, die über Jahrzehnte CO₂-freien Strom und monetäre Einnahmen erzeugen.

Auch ist zu erwarten, dass die globale Wirtschaftsleistung (also das weltweite BIP) in den nächsten 18 Jahren weiter zunehmen wird und die erneuerbaren Energien noch einmal erheblich billiger werden. Bei einer angenommenen Preisreduzierung auf ein Drittel des heutigen Niveaus würden für die notwendigen Investitionen in Wind- und

²¹ LUT University; Global Energy System based on 100% Renewable Energy, 2019, S. VIII.

²² LUT University; 2019, S. I.

²³ LUT University; 2019, S. VII.

²⁴ REN21; 2021, S. 40.

²⁵ REN21; 2021, S. 40.

²⁶ LUT University; 2019, S. VII.

²⁷ REN21; 2021, S. 40.

²⁸ REN21; 2021, S. 40.

²⁹ REN21; 2021, S. 30 und S. 40.

³⁰ Vgl. Internationale Energieagentur (IEA); Energy investment by sector, 2019; <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/key-findings>

³¹ Vgl. World Bank; GDP (current US\$); <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>

Sonnenenergie im Jahr 2040 nur noch etwa 1.500 Milliarden US-Dollar benötigt. Der Investitionsbedarf am Ende der Aufbauphase der erneuerbaren Energien läge dann nur noch in der Größenordnung von etwa 15 % des globalen BIP.

Neben den Investitionen, die direkt den Aufbau von Wind- und Solarenergie betreffen, sind auch Investitionen in den Netzausbau und in Energiespeicheranlagen nötig. Die Investitionen in den Netzausbau wären aber zumindest in den meisten Staaten des Globalen Südens ohnehin notwendig gewesen. Die voraussichtlichen Aufwendungen für Energiespeicher sind von Land zu Land sehr unterschiedlich. Länder mit einer recht konstanten Sonneneinstrahlung werden z. B. nur Speicher brauchen, die den Energiebedarf einer Nacht decken. Länder mit unregelmäßigen Wind- und Sonnenverhältnissen werden hingegen auch Langzeitspeicher benötigen. Diese finanziellen Aufwendungen müssen zu den genannten Summen noch addiert werden.

Ist genug Geld vorhanden, um die neuen Investitionen zu finanzieren?

Die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit ist nur noch selten das Hauptproblem, wenn es um den globalen Aufbau der erneuerbaren Energien geht. Ebenso ist ausreichend potenziell „grünes“ Investitionskapital vorhanden. Die Schwierigkeit liegt meist darin, dass es nicht genügend Erneuerbare-Energien-Projekte gibt, in die das Investitionskapital fließen könnte.³² Hintergrund ist der vielfach fehlende Regulierungsrahmen, zudem lassen sich die Risiken nur schwer kalkulieren. Letzteres gilt insbesondere für die Länder

des Globalen Südens. Dort gibt es oft keine Erfahrungswerte für Investitionen, die als Grundlage für die Risikokalkulationen dienen könnten. Sobald eine Investition sicher kalkulierbar ist und sich rechnet, kann unser zweistufiges Bankensystem aus Banken und Zentralbanken die erforderlichen finanziellen Mittel auch unmittelbar bereitstellen. Die alte ökonomische Vorstellung, dass dafür erst viele Sparer Geld auf ihre Bankkonten einzahlen und die Banken das Geld dann als Kredit weiterverleihen, stammt aus dem letzten Jahrhundert und hat nichts mit unserem aktuellen Geldsystem zu tun.³³ Entscheidend ist, dass die Investitionen in die erneuerbaren Energien „bankfähig“ werden, sich also seriös kalkulierbar rechnen müssen. Bürgschaften oder rückzahlungsfreie Zuschüsse aus dem Globalen Norden können die Situation im Globalen Süden schnell verbessern. Hier wäre es die Aufgabe der Zentralbanken des Globalen Nordens, die rückzahlungsfreien Zuschüsse bereitzustellen, die Bürgschaften abzusichern und so die Projekte überhaupt erst zu ermöglichen.³⁴

Auch der Internationale Währungsfonds (IWF), dessen eigene internationale Reservewährung – die sogenannten „Sonderziehungsrechte“ (SZRs) – gerade um 650 Milliarden US-Dollar aufgestockt wurde, kann einen weitreichenden Beitrag leisten. Er muss es ermöglichen, dass seine Mitgliedsländer aus dem Globalen Norden relevante Summen der neu geschaffenen SZRs rückzahlungsfrei an Staaten des Globalen Südens weiterleiten.³⁵ Sobald eine Investition in erneuerbare Energien kalkulierbar ist, können auch institutionelle Investoren einsteigen, die dringend nach neuen (grünen) Anlagemöglichkeiten suchen.

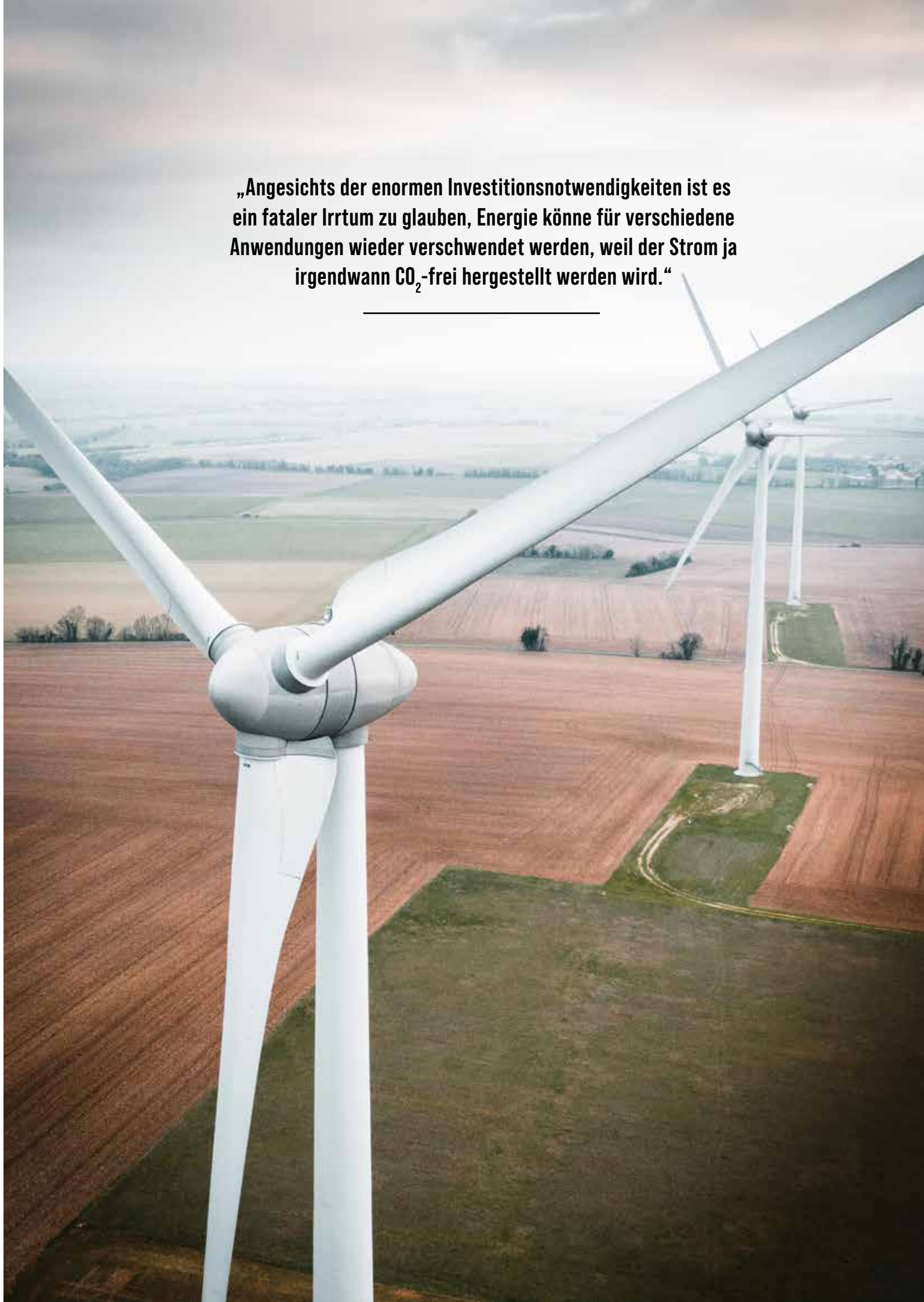
³² Vgl. IRENA (2018). Scaling up Renewable Energy Investment in Emerging Markets, White Paper, p. 3, available at: http://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/Coalition-for-Action_Scaling-up-RE-Investment_2018.pdf und

OECD, UNEP, World Bank Group; Financing Climate Future, 11/2018, p. 32; <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264308114en.pdf?expires=1570716710&id=id&accname=guest&checksum=8B35E-A9C980F72FFB3C87174F0FF2BC7>

³³ Vgl. Einen kurzen Überblick hierzu gibt die Einführungsbroschüre des WFC: Kroll, Matthias, Zentralbanken und Banken, Wie unser zweistufiges Geldsystem funktioniert, April 2014; <https://www.worldfuturecouncil.org/de/zentral-bank-und-banken-wie-unser-zweistufiges-geldsystem-funktioniert/> Auch die Bank von England hat die tatsächliche Funktionsweise unseres Geldsystem sehr gut dargestellt: Bank of England; Money creation in the modern economy, Quarterly Bulletin Q1, 2014; <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/2014/money-creation-in-the-modern-economy.pdf?la=en&hash=9A8788FD44A62D8BB-927123544205CE476E01654>

³⁴ Vgl. Der WFC hat zur Finanzierung der globalen Energiewende mit der Unterstützung durch Zentralbanken immer wieder detaillierte Vorschläge gemacht, zuletzt: Kroll, Matthias; Tackling the climate crises and the corona pandemic recession, Policy Brief, 4/2020; <https://www.worldfuturecouncil.org/new-study-tackling-the-climate-crisis-and-the-corona-pandemic-recession-2/>

³⁵ Vgl. Kroll, Matthias; Funding Global Climate Action and Overcoming the COVID-19 Crisis Through the IMF's Newly Created SDRs, F20-Policy Briefing #3/2021 (October 2021), (im Erscheinen).



„Angesichts der enormen Investitionsnotwendigkeiten ist es ein fataler Irrtum zu glauben, Energie könne für verschiedene Anwendungen wieder verschwendet werden, weil der Strom ja irgendwann CO₂-frei hergestellt werden wird.“

4. Der endliche Planet: Der Rohstoffbedarf für die globale Energiewende in der langen Frist

Die globale Energiewende, die notwendig ist, um die 1,5-Grad-Grenze einzuhalten, ist innerhalb der planetaren Grenzen an Flächen und Rohstoffbedarf möglich. Insbesondere im Globalen Süden sind die noch ungenutzten Potenziale für Solar- und Windenergienutzung sehr groß.³⁶ Sollte der Energieverbrauch aber nach einer kompletten Umstellung auf erneuerbare Energien kontinuierlich weiterwachsen, sind auch diese erheblichen Potenziale irgendwann ausgeschöpft. In der langen Frist ist daher auch eine mit erneuerbaren Energien erzeugte Energieversorgung begrenzt.

Flächenkonkurrenz

Langfristig gibt es eine Flächenkonkurrenz zwischen der Erzeugung von erneuerbaren Energien und der Nutzung zur Nahrungsmittelproduktion. Gleiches gilt für die Option, Wälder als CO₂-Senke naturnah wiederaufzuforsten und das nachwachsende Holz als Baustoffersatz für die CO₂-emittierende Zementproduktion zu nutzen. Neue Versuche zeigen, dass eine Doppelnutzung von Photovoltaik und Landwirtschaft bei nur geringen Ertragseinbußen möglich ist. Hohe Windkraftanlagen können heute – zumindest in begrenzter Zahl – auch in Wäldern aufgebaut werden und die Offshorstromerzeugung wird absehbar auch mit schwimmenden Windrädern in tieferem Wasser und mit größeren Abständen zur Küste möglich sein. Doch auch diese Verbesserungen schieben die planetaren Grenzen nur weiter hinaus. Überwinden können sie sie nicht.

Begrenzte Ressourcen bei den notwendigen Rohstoffen

Eine andere Limitierung liegt in dem Rohstoffbedarf, der zur Produktion von Photovoltaik- und Windkraftanlagen aufgewendet werden muss. Der Aufwand an Stahl für die Windrattürme und an Zement für die Fundamente ist beträchtlich. Solarzellen, Batteriespeichern und Elektrolyseuren

verbrauchen bei ihrer Erzeugung viele endliche Rohstoffe. Auch diese Betrachtungen werden jedoch erst in einem Zeitraum lange, nachdem die globale Energiewende zu 100 % erneuerbarer Energie abgeschlossen sein wird, bedeutsam.

Vermutlich wird es weitere, heute noch nicht quantifizierbare Effizienzsteigerungen beim Rohstoffeinsatz geben. Dennoch gilt, dass sich der Energieverbrauch auf einem endlichen Planeten nicht endlos steigert lässt.

Zwischenfazit: Jedes Zehntelgrad zählt

Die gute Nachricht ist, dass der globale Umbau bzw. Aufbau eines vollständig CO₂-freien Energiesystems auf realwirtschaftlicher Ebene möglich ist, dass genügend Flächen und Rohstoffe vorhanden sind und dass sich das Vorhaben auch finanzieren lässt. Gleichzeitig ist aber zu erwarten, dass dieser Umbau nicht von allein passiert, sondern ihm, insbesondere von den Betreibern des bestehenden fossilen Systems, viele regulatorische und politische Hürden in den Weg gelegt werden. Daher können wir davon ausgehen, dass um jedes einzelne zusätzliche Gigawatt gekämpft werden muss. Und dieser Kampf kostet Zeit, die nicht mehr vorhanden ist.

Angesichts der enormen Investitionsnotwendigkeiten ist es ein fataler Irrtum zu glauben, Energie könne für verschiedene Anwendungen wieder verschwendet werden, weil der Strom ja irgendwann CO₂-frei hergestellt werden wird. Je weniger die Verbräuche zunehmen, umso schneller können die Energiesysteme dekarbonisiert werden und umso weniger steigt die globale Temperatur.

Das Problem der nötigen Energiewende auf globaler Ebene liegt nicht darin, dass es nicht genügend erneuerbare Energien (inklusive der notwendigen Speichersysteme) geben könne, um weiter steigende Verbräuche der industrialisierten Länder und der nachholenden Länder zu be-



dienen. Das Problem ist der limitierte Zeifaktor. In jedem Jahr, in dem die Menschheit weiter fossile Energien verbraucht, entstehen CO₂-Emissionen, die sich nicht mehr mit dem verbliebenen CO₂-Budget in Einklang bringen lassen. Schon ein Anstieg von 1,5 °C auf 2 °C bedeutet für die Änderung des Klimas einen gewaltigen Unterschied. Die schon jetzt – bei einer Klimaerwärmung von ca. 1,1 °C – häufiger auftretenden Extremwittersituationen geben nur einen kleinen Ausblick darauf, welche Auswirkungen ein Temperaturanstieg von über 1,5 °C haben wird.

Den Nachweis, dass die Erderwärmung und der daraus resultierende Klimawandel die Hauptursache für die aktuell zu beobachtenden Zunahmen extremer Wetterereignisse in Deutschland sind, erbrachte gerade eine aktuelle Zuordnungsstudie des Deutschen Wetterdienstes.³⁷

³⁶ Vgl. Carbon Tracker (2021).

³⁷ Vgl. Deutscher Wetterdienst, Attributionsstudie: Klimawandel machte die Starkregenfälle wahrscheinlicher, die zu Überschwemmungen in Westeuropa führten, Pressemitteilung vom 24.08.2021: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210824_attributionsstudie_starkregen_news.html?nn=16210



5. Steigende Energieverbräuche im Globalen Norden

Die Staaten des Globalen Nordens entwickelten sich ökonomisch weitgehend nach einem sich wiederholenden Muster: Zunächst wurde ein energieintensiver, physischer Kapitalstocks aufgebaut, der stark von der Grundstoff- und Schwerindustrie, dem Ausbau des Straßen- und Schienennetzes, dem Wohnungsbau sowie der öffentlichen Infrastruktur wie Schulen, Krankenhäuser etc. geprägt war. Im weiteren Verlauf verschob sich die Entwicklung weg vom industriellen hin zum weniger energieintensiven Dienstleistungssektor. Daher steigt in einigen „reifen“ Industriestaaten der Energieverbrauch nur noch langsam an oder stagniert sogar.

Dennoch gibt es auch in reifen Industriestaaten immer wieder Bereiche, in denen technische Neuerungen zu einem Energieverbrauchsanstieg führen. Ob diese neuen Energieverbräuche tatsächlich zu sinnvollen und wohlstandsvermehrenden Effekten für alle führen, ist oft strittig. Und sie müssen in Beziehung zu den großen nachholenden Energiebedarfen des Globalen Südens gesetzt werden. Denn dessen Bedarfe werden auch benötigt, um die 17 SDGs umzusetzen. Und sie lassen nicht nur den allgemeinen Stromverbrauch ansteigen. Vielmehr befeuern sie auch die Nachfrage nach Stahl und Beton, um die – oft erst rudimentär vorhandene –

Infrastruktur aufzubauen. Allein die Produktion von Zement als wichtigstem Bestandteil von Beton ist mit hohen prozessbedingten CO₂-Emissionen verbunden (Vgl. Seite 22). In den letzten Jahren sind sie auf mittlerweile fast 10 % der gesamten CO₂-Emissionen angewachsen.³⁸ Ebenso problematisch ist der Verbrauchsanstieg, der durch die fortschreitende Digitalisierung verursacht wird.

5.1. Steigende Energieverbräuche durch 5G, KI und andere Digitalisierungsanwendungen

Eine der wichtigsten Ursachen für zusätzliche Energieverbräuche im Globalen Norden sind die Digitalisierung und die mit ihr verbundenen vielfältigen Anwendungen wie 5G, Videostreaming oder KI. Zunächst besteht ein nicht unerheblicher Energiebedarf bei der Herstellung der schnell veraltenden Hardware wie Laptops, Drucker und Smartphones, die die digitalen Anwendungen erst möglich machen. Greenpeace hat in einer Studie ermittelt, dass sich nur für die weltweite Smartphone-Herstellung der jährliche Energieverbrauch von etwa 20 TWh im Jahr 2010 auf knapp über 250 TWh im Jahr 2016 mehr als verzehnfacht hat.³⁹ Das ist knapp die Hälfte der jährlichen Stromproduktion Deutschlands. Die

38 Vgl. Deutschlandfunk; Klimasünder Beton – Ein Baustoff sucht Nachfolger, 20.12.2020; https://www.deutschlandfunk.de/klimasuender-beton-ein-baustoff-sucht-nachfolger.740.de.html?dram:article_id=488355

39 Vgl. Greenpeace, Die globalen Umweltfolgen von 7 Milliarden Mobiltelefonen, 2017; https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s01981_greenpeace_report_10_jahre_smartphone.pdf

Anzahl der produzierten Smartphones ist dabei von 305 Millionen auf 1,47 Milliarden Stück angestiegen.⁴⁰ Vermutlich wird sich dieser Anstieg seit 2016 nicht in gleicher Weise fortgesetzt haben, weil allmählich eine Sättigung eingetreten ist. Dennoch ist aufgrund der immer noch kurzen Lebensdauer der Geräte von einer weiteren Zunahme auszugehen.

Hinzu kommen der Energieverbrauch, den die Geräte der Endnutzer verursachen, und jener für den Aufbau der kompletten Netzinfrastruktur und der Datenzentren.

Energieverbrauchsanstieg durch Datenzentren, Internetnutzung und 5G

Vom laufenden Betrieb der digitalen Infrastrukturen geht die Gefahr eines noch größeren Energieverbrauchsanstiegs aus. Auch wenn in Datenzentren die Effizienz verbessert und so der Energieverbrauchsanstieg unter dem Anstieg des Datenvolumens gehalten werden konnte, wird sich dies voraussichtlich nicht ewig fortsetzen lassen. Eine Studie von 2020, die diese Frage untersuchte, blickt daher eher auch pessimistisch auf die zukünftige Entwicklung.⁴¹ Obwohl die Verfasser Effizienzgewinne durchaus für möglich halten, erkennen sie ein erhebliches Risiko, dass die schnell wachsende Nachfrage nach Informationsdienstleistungen die Effizienzgewinne weit übersteigen wird. Fallen die zukünftigen Effizienzgewinne geringer aus als die der letzten Jahre, ist mit einem Anstieg des Energieverbrauchs pro Datenvolumen zu rechnen, der deutlich über dem bisherigen liegt. Dann wird jede zusätzliche Nutzung des Internets zu einem analogen Anstieg der Energienachfrage führen. In diesem Fall drohen aus dem steigenden Energiebedarf erhebliche Risiken für das Klima, da er zumindest in den nächsten 15 Jahren noch in großen Teilen mit fossilen Rohstoffen bereitgestellt werden wird. Und mit jedem weiteren Anstieg der Energienachfrage wird es

unwahrscheinlicher, die Pariser Klimaziele noch zu erreichen.⁴²

Videostreaming als neuer Energieverbrauchtreiber

Ein neuer Energieverbrauchstreiber ist das Videostreaming. Ralph Hintemann vom Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit erklärte in einem Interview des Deutschlandfunks, dass eine Stunde Videostreaming – abhängig vom jeweils verwendeten Endgerät – bereits in einer Full-HD-Auflösung 220 bis 370 Wh elektrische Energie benötigt. Die verursachten etwa 100 bis 175 g Kohlendioxid entsprechen in etwa den Emissionen eines Kleinwagens bei einem Kilometer Autofahrt.⁴³ Entsprechend höher sind die Energieverbräuche mit einer weiter gesteigerten Auflösung von 4K oder 8K einzuschätzen.

Das Fraunhofer Institut IZM hat kürzlich im Auftrag des Bundesumweltamts die Daten- und Energieverbräuche nicht nur geschätzt und dann hochgerechnet, sondern in verschiedenen Rechenzentren gemessen und aus den konkreten technischen Datenblättern und Indikatoren Modelle abgeleitet.⁴⁴ Die Ergebnisse dieser Studie können daher als deutlich belastbarer gelten als die der meisten vorherigen Untersuchungen. Eine wichtige Erkenntnis der Fraunhofer Studie ist, dass ein hochauflösendes Streaming in 4K das zehnfache Datenvolumen erzeugt wie ein Streaming in

Energieverschwendung Streaming: Eine 4K-Auflösung benötigt die zehnfache Energiemenge im Vergleich zum Streaming mit HD

40 Ebenda.

41 Vgl. Masanet, Eric, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, and Jonathan Koomey. "Recalibrating global data center energy-use estimates." *Science* 367, no. 6481 (2020): 984-986. <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>

42 Vgl. Kroll, Matthias; Die Auswirkungen des 5G Netz-Ausbaus auf Energieverbrauch, Klimaschutz und die Einführung weiterer Überwachungstechniken, Oktober 2020, S.15; <https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2020/10/5G-Klimaschutz-Studie-Matthias-Kroll.pdf>

43 Vgl. Deutschlandfunk; Stromfresser Internet, 13.02.2021; https://www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google.970.de.html?dram:article_id=492431

44 Vgl. Umweltbundesamt, Video-Streaming: Art der Datenübertragung entscheidend für Klimabilanz, Pressemitteilung 10.09.2020; <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/video-streaming-art-der-dateneruebertragung#>

bisheriger HD-Qualität. Während eine Stunde Ultra-HD-Streaming 7 GB benötigt, wird bei einer HD-Auflösung nur ein Datenvolumen von 0,7 GB erzeugt.

Trotz der zehnfachen Datenmenge ist der sichtbare Unterschied zwischen Videodarstellung in HD-Qualität und der neuen 4K-Auflösung bei bewegten Bildern nur minimal. Wichtig ist, dass die neue, energiehungrige 4K-Anwendung nicht deshalb auf den Markt kam, weil die Kunden eine noch bessere Qualität gefordert hätten. Immerhin galt HD vor einigen Jahren selbst noch als sehr hochwertig. 4K wurde deshalb eingeführt, weil es technisch möglich war. Die deutlich steigenden Energieverbräuche wurden dabei schlicht ignoriert.

Durch das Wachstum der Streamingbranche und anderer Anwendungen werden auch (vorwiegend im Globalen Norden) immer mehr Rechenzentren benötigt. In Frankfurt am Main befindet sich einer der größten Internetknoten weltweit, der schon 25 % des Stromverbrauchs der Stadt ausmacht. Falls sich die aktuelle Entwicklung fortsetzt, wird der Energiebedarf der Rechenzentren in den nächsten zehn Jahren weltweit um mehr als 60 % ansteigen. Und immer mehr Strom für Rechenzentren bedeutet, dass wir die Ziele der Energiewende nicht so leicht erreichen können.⁴⁵

Energiesparen ist einfach möglich

Neben der Reduktion der Streamingauflösung auf ein qualitativ kaum schlechteres HD-Format gibt es eine noch bessere Möglichkeit, Energie zu sparen. Nicht jeder Film muss gestreamt werden, wenn er auch im Fernsehen läuft. Denn wenn 10 Millionen Menschen einen Film im Fernsehen schauen, löst das nur eine einzige Ausstrahlung aus. Wenn aber 10 Millionen Menschen einen Film streamen, löst das auch 10 Millionen Übertragungen aus und verursacht einen massiv höheren Stromverbrauch.⁴⁶ Das erfordert keinen Verzicht, sondern nur die Umstellung auf ein Verhalten, das noch vor wenigen Jahren als normal galt.

⁴⁵ Vgl. Deutschlandfunk, 2021.

⁴⁶ Vgl. Ebenda.

⁴⁷ Vgl. RWTH; Energie-Mehrverbrauch in Rechenzentren bei Einführung des 5G Standards, 16.08.2019, S.28; https://www.eon.com/content/dam/eon/eon-com/Documents/de/5G-Standard%20und%20Rechenzentren_11.12.2019.pdf

⁴⁸ Vgl. Heise-online, Pixelmuster irritieren die KI autonomer Fahrzeuge, 12.08.2020; <https://www.heise.de/hintergrund/Pixelmuster-irritieren-die-KI-autonomer-Fahrzeuge-4852995.html?seite=all>

Die Entwicklung des 5G-bedingten Energieverbrauchs in Deutschland

Eine Studie, die das Energieunternehmen E-ON mit der RWTH Aachen durchgeführt hat, ergab, dass der Mehrverbrauch in den deutschen Rechenzentren durch neue Anwendungen mit 5G-Technik bis 2025 auf 3,8 TWh ansteigen wird.⁴⁷ Hier sind neben Anwendungen in der Industrie insbesondere Anwendungen wie smart homes als Ursache für den steigenden Energieverbrauch erkannt worden. Mit 3,8 TWh ist der Studie zufolge der Anstieg aber noch nicht beendet. Je nachdem, wie sehr sich 5G-Anwendungen durchsetzen, ist mit einem weiter zunehmenden Stromverbrauch auch nach 2025 zu rechnen. Der tatsächliche Wohlstandsgewinn durch sogenannte smart homes dürfte eher gering ausfallen.

Selbstfahrende Autos erzeugen einen sehr hohen Energieverbrauch und sind Teil des Problems, nicht der Lösung

Noch wird in den Medien überwiegend positiv über selbstfahrende Autos berichtet. Doch es zeigt sich immer mehr, dass sich deren weitere Automatisierungsstufen aufgrund der hohen Komplexität des tatsächlichen Straßenverkehrs praktisch nicht realisieren lassen. Insbesondere die hohen Erwartungen, die bei der Entwicklung in die Nutzung der KI gesetzt wurden, scheinen sich nicht zu erfüllen. Es wird immer deutlicher, dass KI-gesteuerte Systeme auch nach langem und sehr energieintensivem Training noch sehr leicht zu irritieren sind. Dieses Problem scheint systembedingt zu sein, d. h., auch noch längere Trainings verbessern die Zuverlässigkeit nicht so weit, dass eine sichere Anwendung in der Praxis möglich ist.⁴⁸

Bei Menschen, die sich ernsthaft mit der Technik sowie den rechtlichen Fragen rund um das autonome Fahren beschäftigen, ist der Hype eigentlich schon wieder vorbei. Kaum jemand glaubt heute noch, dass



die autonomen fahrenden Autos kommen werden.⁴⁹

Aber selbst für den Fall, dass die Technik wider Erwarten sicher und zuverlässig genug arbeiten wird, wäre dies für eine klimafreundliche Verkehrswende keine gute Nachricht. Ein autonom fahrendes Auto würde jeden Tag gut 4.000 GB Daten generieren und entsprechende Mengen zusätzlicher Energie benötigen. Sollte auch nur ein Teil der über 40 Millionen Pkw auf deutschen Straßen aus selbstfahrenden Autos bestehen, wäre das eine Katastrophe für den Klima- und Ressourcenschutz. Denn nicht nur die ungeheuren Mengen an Datentransfers brauchen entsprechend mehr Strom, auch die digitalen Infrastrukturen wie Serverparks, Rechenzentren und natürlich die neuen 5G-Netze würden erhebliche Mengen an Ressourcen verbrauchen.⁵⁰ Daher führt die Argumentation, man bräuchte flächendeckend ausgebauten 5G-Netze, um autonomes Fahren zu ermöglichen, in die Irre. Hier wird mit sehr hohem Energieaufwand eine neue 5G-Technik für KI-Trainings einer Anwendung eingesetzt, die nach aktuellem Wissensstand niemals umgesetzt wird.

⁴⁹ Vgl. Klimareporter.de; Sand ins Getriebe streuen, 08.10.2019; <https://www.klimareporter.de/gesellschaft/sand-ins-getriebe-streuen>

⁵⁰ Vgl. Ebenda.

Das Konzept einer Energieverbrauchsfolgenabschätzung

Das Problem, dass neue Technologien eingeführt werden, ohne dass vorher eine öffentliche Debatte über ihre Notwendigkeit geführt wurde und ohne Abschätzung, ob der zusätzliche Energieverbrauch in einer sinnvollen Relation zum Nutzen steht, bedarf einer Lösung. Hier könnte eine demokratisch legitimierte Kommission eine Energieverbrauchsfolgenabschätzung durchführen, wenn dies vom Parlament oder von einer bestimmten Anzahl von Petitionen gefordert wird. Nicht alles, was technisch machbar ist, muss auch umgesetzt werden. Viele Dinge werden nur umgesetzt, weil sie technisch möglich sind, und nicht, weil sie vom Endverbraucher gefordert wurden. Erst recht wird nicht geprüft, ob sie zu einem Wohlstandsgewinn im Sinne einer der 17 SDGs führen. Neue Technologien, die zu einem Anstieg des Energieverbrauchs führen, müssen von der Energieverbrauchsfolgenabschätzung identifiziert und gegebenenfalls bestmöglich verhindert werden können.

5.2. Steigende CO₂-Emissionen bei der globalen Zementproduktion

Die energieintensive Produktion von Zement als zentralem Grundstoff von Beton ist ein wichtiger CO₂-Emittent. Das Problem ist, dass rund 50% der Emissionen nicht energiebedingt sind, sondern sich aus dem Herstellungsprozess selbst ergeben.⁵¹ Selbst bei einer 100-prozentig CO₂-freien Energieerzeugung bliebe der prozessbedingte Teil der CO₂-Emissionen erhalten. Bisherige Versuche, die Prozesse CO₂-günstiger zu gestalten, hatten nur mäßigen Erfolg.

Weil der Bedarf an Zement stark angestiegen ist und in den nächsten Jahrzehnten weiter zunehmen wird, ist das Problem von besonderer Bedeutung. Tatsächlich hat sich die globale Zementherstellung seit 1990 etwa vervierfacht⁵² und sorgt mittlerweile für knapp 10% der CO₂-Emissionen.⁵³ Das ist im Wesentlichen auf die großen nachholenden Bedarfe des Globalen Südens zurückzuführen. Während Europa nur noch rund 5% der Zementproduktion verbraucht, entfallen auf die Schwellen- und Entwicklungsländer rund 90%.⁵⁴ China, das derzeit rund die Hälfte des Zements herstellt, hat den größten Teil seines nachholenden Bedarfs abgeschlossen. Indien und weitere Staaten des Globalen Südens mit ihrer jungen und wachsenden Bevölkerung rücken nach und werden ebenfalls einen großen Bedarf an Infrastrukturbauten mit ebenso großem Bedarf an Zement haben.

Der Architektur-Professor Werner Sobek hat einen Pro-Kopf-Bedarf von 250 bis 300 t Beton errechnet, um die zivilisatorischen Bedürfnisse an Frischwasserversorgung, Abwasser- und Abfallentsorgung, an Zugang zu Bildung und zu medizinischer Versorgung zu decken.⁵⁵ Das bedeutet, dass die meisten der 17 SDGs bei der derzeitigen verwendeten Technik zu einem gewaltigen Anstieg der CO₂-Emissionen beitragen werden. Da aber weder die Klimaziele noch die Erreichung der SDGs verhandelbar sind, werden Lösungen benötigt.

Eine Möglichkeit, den CO₂-Ausstoß zu verringern, ist die Verwendung des neu entwickelten Gradientenbetons. Dieser ist bei gleicher Belastbarkeit deutlich leichter und verbraucht daher weniger Zement. Einsparungen von rund 50% wären so erreichbar.⁵⁶ In Kombination mit anderen Verfahren, die zementreduzierten Beton ermöglichen, kämen so über 60% Einsparungen in Reichweite.

⁵¹ Vgl. WWF, Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie, Februar 2019, S. 7: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf

⁵² Vgl. Süddeutsche Zeitung; Klimaschutz: Holz statt Beton, 28.01.2020, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/holz-co2-klimaschutz-1.4775157>

⁵³ Vgl. Deutschlandfunk; Klimaschutz Beton – Ein Baustoff sucht Nachfolger, 20.12.2020; https://www.deutschlandfunk.de/klimasunder-beton-ein-baustoff-sucht-nachfolger.740.de.html?dram:article_id=488355

⁵⁴ Vgl. Deutschlandfunk, 20.12.2020.

⁵⁵ Vgl. Ebenda.

⁵⁶ Vgl. Ebenda.



Holz als Lösung?

Eine weitere Alternative ist, Beton durch Holz zu ersetzen. In den letzten Jahren hat es große Fortschritte beim Bauen mit Holz gegeben. Sogar mittlere Hochhäuser lassen sich so unter Einhaltung aller Brandbestimmungen errichten. Aber auch hier wird für einen Teil des Baus in der Regel noch Beton benötigt, etwa für die Fundamente und für statisch hoch belastete Sektoren. Dennoch bietet die Kombination aus Holz und Beton ein großes Reduktionspotenzial für die zementbedingten CO₂-Emissionen. Bei den gewaltigen Bedarfen an Beton stellt sich allerdings die Frage, ob es weltweit überhaupt genug Bauholz geben kann, um den Baustoff zu ersetzen. Beton-Expertin Karen Scrivener von der Technischen Hochschule in Lausanne kam zu dem ernüchternden Ergebnis, dass eine Waldfläche von der anderthalbfachen Größe Indiens benötigt werden würde, um auch nur 25% des Betonbedarfs zu ersetzen.⁵⁷ Selbst wenn sich diese Schätzung als zu pessimistisch herausstellen und noch revidiert werden könnte, bestünde weiterhin das Problem der Flächenkonkurrenz zwischen dem Wald als Baustoffproduzent und Flächen, die zur Nahrungsmittelproduktion genutzt werden können.

Bambus als Baustoff

Eine im Globalen Norden bisher wenig untersuchte Baustoffalternative zu Holz oder Beton ist Bambus. Bambus wächst sehr schnell nach, ist durch seine hohle Form sehr leicht und flexibel und in der Belastbarkeit Holz in vielen Bereichen überlegen. Durch seine Eigenschaften wird er in Asien zum Gerüstbau verwendet und ersetzt dort Stahl als Material. Ein weiterer Vorteil ist, dass er bereits jetzt im Globalen Süden für unterschiedliche Bauten verwendet wird. Ein Wissenstransfer von Süd nach Nord wäre hier also sinnvoll. Auch die Verwendung von Bambus, um „Bio-Zement“ herzustellen, ist eine Option für eine emissionsreduzierte Baustoffproduktion.⁵⁸

In welchem Maße Bambus Beton und langsam wachsendes Holz ersetzen kann, bleibt abzuwarten. Dennoch zeigt sich hier ein großes Potenzial, die Zementproduktion und die dabei unvermeidbaren CO₂-Emissionen zu reduzieren. Aber auch hier gilt, dass für statisch wichtige Baukomponenten Beton erforderlich sein wird.

Carbon Capture and Storage (CCS) bei der Zementherstellung

Noch im Planungsstadium befindet sich die Möglichkeit, durch die Anwendung der sogenannten Carbon Capture and Storage-Technologie (CCS) bei der Zementherstellung betonbedingte CO₂-Emissionen zu vermeiden. Diese Technik soll CO₂-Emissionen bei der Entstehung abscheiden; der Kohlenstoff soll dann dauerhaft im Boden gelagert werden.

⁵⁷ Vgl. Deutschlandfunk, 20.12.2021.

⁵⁸ Vgl. Bamboo bio-concrete as an alternative for buildings' climate change mitigation and adaptation, in Construction and Building Materials, 10 December 2020; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182032657X>

Bisher wurden mit dieser Technik Versuche zur Dekarbonisierung von Kohlekraftwerken unternommen. Allerdings verbraucht die CSS-Technik selbst viel Energie. Die damit verbundene Wirkungsgradsenkung führt dazu, dass diese Kraftwerke gegenüber den erneuerbaren Energien nicht mehr wettbewerbsfähig waren. Auch ist die Technik, Kohlenstoff sicher über Jahrhunderte im Boden zu speichern, noch in der Erprobung. Während aber fossile Kraftwerke durch erneuerbare Energien ersetzt werden können, lassen sich die prozessbedingten CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung nicht einfach durch eine alternative Technik austauschen. Daher ist hier der Einsatz von CCS-Technologien positiver zu bewerten als die zu Recht umstrittene Anwendung in fossilen Kraftwerken.

Eine erste Machbarkeitsstudie in einem Zementwerk im kanadischen Edmonton untersucht derzeit die Möglichkeit, mittels einer CO₂-Abscheidung über 90% der Emissionen einzusparen.⁵⁹ Falls es tatsächlich gelingen sollte, diese Reduktionen mittels CCS umzusetzen, würde das Endprodukt Beton in jedem Fall deutlich teurer werden. Eine Untersuchung im Auftrag der EU ergab eine Kostensteigerung für Zement um 50 bis 90%, wenn CCS-Technologien zur CO₂-Emissionsreduzierung eingesetzt werden sollten.⁶⁰

Dies wäre dann jedoch hinzunehmen und stellte gleichzeitig einen weiteren Anreiz dar, Beton durch CO₂-freundlichere Baustoffe zu ersetzen sowie ältere Häuser weiter zu nutzen, statt sie neu zu bauen.

Graue Energie beim Hausbau

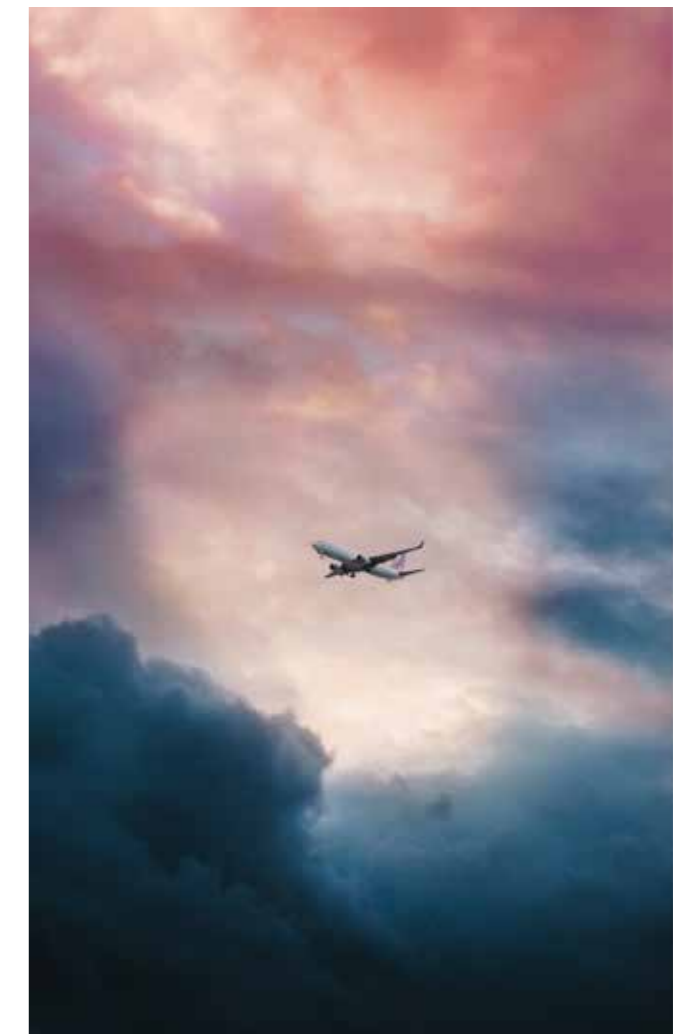
Ein wesentlicher Teil der klimarelevanten Emissionen, die ein Haus verursacht, resultiert nicht aus der aufgewendeten Energie für die Beheizung, sondern aus der Energie, die direkt beim Bau und bei der Herstellung des Betons verbraucht worden ist. Der Anteil dieser sogenannte Graue Energie lässt sich reduzieren, indem man die Lebenszeit des Hauses

verlängert, also Häuser nach Möglichkeit nicht abreißt, sondern renoviert oder bei verändertem Nutzungsbedarf umbaut. Jede Weiternutzung eines alten Hauses sorgt dafür, dass viele klimaschädigende Emissionen eingespart werden, weil kein neues Haus gebaut wird.

Unabhängig davon, wie erfolgreich die CO₂-Emissionen bei der Zementproduktion reduziert werden können: Mit einem erheblichen Restbedarf an Zement ist in jedem Fall zu rechnen. Allein die Größenordnung der zu errichtenden Infrastrukturbauten, die auch für die Umsetzung der SDGs notwendig sind, lässt einen weiteren Anstieg des Zementverbrauchs erwarten. Damit wird auch der Energiebedarf der Zementproduktion wachsen, insbesondere, wenn er durch CCS-Technologien noch mal deutlich zunehmen wird. Der Energiebedarf kann grundsätzlich durch erneuerbare Energien dekarbonisiert werden, aber auch hier gilt wieder das Primat der limitierten Zeit. Der Globale Norden muss den Globalen Süden massiv dabei unterstützen, die erneuerbaren Energien schnell aufzubauen, um die Klimaziele weiterhin erreichbar zu halten.

5.3. Steigende Verbräuche bei der Stahlerzeugung

Eine ähnlich rasante Entwicklung wie die Zementherstellung hat auch die globale Stahlproduktion genommen. Mittlerweile beträgt ihr Anteil an den menschengemachten CO₂-Emissionen rund 6%.⁶¹ Stahl bildet wie Zement die materielle Grundlage für viele Infrastrukturprojekte, die wiederum die Basis stellen, um die meisten SDGs zu erreichen. Daher ist insbesondere im Globalen Süden für die nächsten zehn bis 20 Jahre mit einem unvermeidbaren Mehrbedarf an Stahl zu rechnen. Wie beim Zement resultieren die CO₂-Emissionen der Stahlerzeugung nicht nur aus der benötigten Energiezufuhr, sondern auch aus dem Herstellungsprozess selbst: Als Reduktionsmittel wird Koks verwendet, was zu hohen CO₂-Emissionen führt.



„Grüner“ Wasserstoff zur Dekarbonisierung der Stahlherstellung

Anders als bei der Zementherstellung ist es beim Stahl möglich, den Produktionsprozess technisch so umzustellen, dass die CO₂-Emissionen auf nahe null gesenkt werden können. Der Schlüssel dazu ist, Koks durch Wasserstoff zu ersetzen. Wird der Wasserstoff durch Elektrolyse mittels erneuerbarer Energien erzeugt, kann die Stahl- und Eisenproduktion durch den dann „grünen“ Wasserstoff und elektrifizierte Prozesse die klassischen Kohlehochofen ersetzen und eine klimaneutrale Stahlproduktion ermöglichen.⁶²

Aber auch hier besteht das Problem, dass die Zeit limitiert ist. Die wachsende globale Stahlherstellung auf CO₂-emissionsfreie Prozesse mit Wasserstoff

umzustellen und den zunehmenden Energiebedarf zu decken, ist eine herausfordernde Aufgabe. Wirklich emissionsfrei wird die Herstellung zudem erst dann, wenn auch der Strom, mit dem der Wasserstoff erzeugt wird, komplett CO₂-frei durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden kann.

5.4. Steigende Verbräuche beim Luftverkehr

Auch der Luftverkehr hat ein schnell wachsendes Emissionsproblem. Aktuell trägt er rund 3,5% zu der globalen Klimaerwärmung bei.⁶³ Auch hier gibt es eine Analogie zur Zementherstellung: Nicht nur das CO₂, das aus dem rein energetischen Verbrauch resultiert, ist klimawirksam. Auch die Abgase, die in 10 bis 12 km Höhe entstehen, verstärken den Treibhauseffekt und damit die Erderwärmung.

⁵⁹ Vgl. International CCS Knowledge Centre; Geringe CO₂-Emissionen bei Zement durch Verwendung von CCS möglich, 22.01.2021; <https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/01/22/2163044/0/de/Geringe-CO2-Emissionen-bei-Zement-durch-Verwendung-von-CCS-m%C3%B6glich.html>

⁶⁰ Vgl. EU-Cordis; CO₂-Abscheidung in der Zementindustrie: <https://cordis.europa.eu/article/id/255162-carbon-capture-for-the-cement-industry/de>

⁶¹ Vgl. VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BDi); Wasserstoff für die CO₂-arme Stahlerzeugung; <https://www.bfi.de/de/loesungen/wasserstoff-fuer-die-co2-arme-stahlerzeugung/>

⁶² Vgl. BDEW; Wasserstoff statt Kohle: Wie wird Stahl grün? 16.03.2020; <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/wasserstoff-statt-kohle-der-stahl-der-zukunft-ist-klimafreundlich/#>

⁶³ Vgl. Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR); Der globale Luftverkehr trägt 3,5 Prozent zur Klimaerwärmung bei; 03.09.2020; https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200903_der-globale-luftverkehr-traegt-3-5-prozent-zur-klimaerwaermung-bei.html

Tatsächlich resultiert nur etwa ein Drittel des klimarelevanten Effekts aus den energetisch bedingten CO₂-Emissionen des Luftverkehrs. Zwei Drittel entfallen auf Nicht-CO₂-Effekte wie Ruß, Stickoxide, Wasserdampf, Aerosolpartikel und Kondensstreifen-Zirrenwolken. Unter diesen stellen die Kondensstreifen-Zirren den bedeutendsten Faktor dar.⁶⁴

Auch ein CO₂-neutral erzeugter, synthetischer Treibstoff würde am Treibhauseffekt der heißen Abgase aus den Triebwerken und den damit verbundenen, klimarelevanten Kondensstreifen nichts ändern. Wasserstoff als Treibstoff könnte lediglich die Rußpartikel verhindern. Ein komplett klimaneutraler Luftverkehr wäre erst mit abgasfreien Elektromotoren möglich, deren Strom durch Brennstoffzellen erzeugt wird. Die Entwicklung dieser Technik befindet sich aber noch in der Anfangsphase. Bis zur Marktreife werden voraussichtlich noch mehr als zehn Jahre vergehen.

Eine massive Reduzierung des Flugverkehrs ist unabdingbar

Um die klimarelevante Wirkung des Luftverkehrs zu senken, bleibt daher im Moment nur die Möglichkeit, weniger zu fliegen. Der Großteil des Luftverkehrs entfällt bisher auf den Globalen Norden. Daher müssen hier auch die größten Reduktionen erfolgen, damit dem Globalen Süden wenigstens ein kleiner Spielraum für unvermeidbare Flugreisen verbleiben kann. Eine nachholende Entwicklung des Globalen Südens, die auch nur in die Nähe des derzeitigen Pro-Kopf-Flugverkehrs des Globalen Nordens gelangt, hätte fatale Folgen für die Klimaerwärmung.

Die Covid-19-Pandemie hat gezeigt, dass sich viele internationale und nationale Konferenzen sowie unternehmensinterne Meetings, die mit Flugreisen der Teilnehmer verbunden sind, durch Videokonferenzen ersetzen lassen. Es ist unbedingt anstrebenswert, Flüge zu solchen Anlässen dauerhaft auf einem deutlich niedrigeren Level zu halten als vor der Pandemie.

Ebenfalls wünschenswert ist, dass sich das Urlaubsreiseverhalten der Menschen des Globalen Nordens verändert. Fernreisen zu touristischen Zwecken sollten auf ein deutlich geringeres Maß von beispielsweise einmal alle fünf Jahre reduziert werden. Kurz- und Mittelstreckenreisen sollten generell mit der Bahn erfolgen. Dazu wird es unerlässlich sein, dass Flugreisen deutlich mehr kosten als die gleiche Strecke mit der Bahn. Wenn Bahnreisen innerhalb Europas zum neuen Standard werden, müssen vorhandene Bahntrassen ertüchtigt und – wo nötig – Schnelltrassen neu gebaut werden, um die Reisezeiten auf einem annehmbaren Niveau zu halten. Das bringt einen neuen Zielkonflikt, denn der Bau von Schnelltrassen verlangt nach Beton und Stahl.

Gleichzeitig sollten Flugreisen ihren Statuswert verlieren. Solange im Globalen Norden Flugreisen als Statussymbol behandelt werden, hat dies eine fatale Vorbildfunktion für den Globalen Süden.

5.5. Autoverkehr: Rebound-Effekt durch (zu) große Elektroautos

Die Nachfrage nach Autos mit Elektroantrieb hat zuletzt deutlich zugenommen. Das ist erfreulich, da nur so der Straßenverkehr dekarbonisiert werden kann. Angesichts des begrenzten Restbudgets an CO₂ ist es dennoch dringend notwendig, die Strombedarfe für die neuen E-Autos so gering wie möglich zu halten, da sie derzeit noch in wesentlichen Teilen fossil erzeugt werden. Erforderlich sind kleine E-Autos, die einen durchschnittlichen Stromverbrauch von eher 10 bis 12 kWh pro 100 km haben. Der derzeitige Trend geht aber dahin, die neuen E-Autos ebenso groß zu bauen wie die letzte Generation der diesel- oder benzingetriebenen Autos. Ein SUV, das als Dieselsonne rund 2 t wiegt, wird dann durch ein E-SUV ersetzt, das aufgrund der notwendigerweise großen Batterie sogar 2,5 t Gewicht aufweist. Stromverbräuche von weit über 20 kWh pro 100 km sind so unvermeidbar. Kommt eine Flotte an kleinen, sparsamen E-Autos mit dem Strom von beispielsweise einem Windpark aus, benötigt dieselbe Anzahl großer E-Autos für die gleiche Anzahl gefahrener Kilometer gleich zwei Windparks. Das bedeutet eine sinnlose Energieverschwendung von aufwendig erzeugtem erneuerbarem Strom, die aufgrund des stark limitierten Rest-CO₂-Budgets nicht mehr passieren darf.

Die nächste Generation der Autos muss nicht nur elektrisch, sondern auch wieder kleiner und sparsamer sein

Hinzu kommt, dass große, schwere E-Autos einen erheblich größeren Akku als kleine brauchen, um dieselbe Reichweite zu schaffen. Für den Ressourcenverbrauch bei der Herstellung macht es einen erheblichen Unterschied, ob das durchschnittliche E-Auto einen 100-kWh-Akku braucht oder ob es mit einem 40-kWh-Akku auskommt. Hohe Reichweiten mit noch kleineren Akkus sind möglich, wenn während der Fahrt über Stromschienen in den Autobahnen nachgeladen werden kann. Die Entwicklung auf diesem Gebiet ist weit fortgeschritten. In Schweden gibt es bereits seit einigen Jahren ein technisch funktionsfähiges System, das sich sehr schnell in ein bestehendes Autobahnnetz einbauen lässt.⁶⁵ Tatsächlich wäre es ausreichend, nur die Autobahnen (in Deutschland rund 13.000 km) mit Ladeschienen auszurüsten. Das Reichweitenproblem, das E-Autos gegenüber Autos mit Verbrennungsmotoren haben, besteht nur bei Fahrtstrecken von deutlich über 100 km. Diese Entfernungen werden für gewöhnlich auf Autobahnen zurückgelegt. Der Akku für ein sparsames E-Auto müsste dann nur noch maximal 25 kWh groß sein, um alle Fahrten problemlos zu bewältigen. Entsprechend würde sich auch der Energie- und Rohstoffaufwand für die Herstellung der notwendigen Akkus verringern. Anstatt ein E-SUV mit einem 100-kWh-Akku auszurüsten, können mit dem gleichen Ressourcenaufwand die Akkus für vier E-Autos gebaut werden. So werden die Mobilitätsbedürfnisse von viermal so vielen Menschen gedeckt.



Zu viel Graue Energie für zu große Autos

Der Aufwand, der nötig ist, um ein Auto überhaupt erst einmal herzustellen, wird bei der Aufstellung des Energie- und Ressourcenverbrauchs oft übersehen. Diese Graue Energie bildet einen erheblichen Teil des gesamten Energieverbrauchs eines Autos. Auch hier zeigen sich deutliche Vorteile bei kleineren Autos. Grob geschätzt gilt, dass für die Produktion eines Zwei-Tonnen-Autos etwa doppelt so viel Graue Energie benötigt wird wie für ein Ein-Tonnen-Auto.

Bei der Grauen Energie ergibt sich noch ein weiterer Vorteil des E-Autos gegenüber Autos mit Verbrennungsmotor: Ein Elektromotor kann leicht eine Laufleistung von 1 Millionen km erreichen. Wenn die verbliebenen Verschleißteile so konstruiert sind, dass sie einfach ausgetauscht werden können, kann sich die Lebensdauer gegenüber einem Auto mit gewöhnlichem Verbrennungsmotor schnell vervierfachen. Entsprechend gering ist dann der Anteil der Grauen Energie, die in einem E-Auto steckt.

Der Globale Norden muss sein Auto neu denken

Ein Ende des Statussymbols „großes Auto“ ist im Globalen Norden unvermeidbar. Kleinere, flinke, platzsparende und daher wirklich „smartere“ E-Autos müssen zum neuen Statussymbol werden. Ein solches Umdenken ist eine wichtige Schlüsselbedingung für die erfolgreiche Energiewende im Verkehrssektor.

Es gibt bereits energie-, ressourcen- und auch platzsparende Verkehrskonzepte, die in Angriff genommen werden müssen. In den Staaten des Globalen Nordens haben sich jedoch seit rund 70 Jahren alle real existierenden Gesellschaftsmodelle um den Individualverkehr mit privaten Pkw herum entwickelt und vielfältig miteinander verflochten. Die Kerngebiete großer Städte besitzen bereits regelmäßig einen gut ausgebauten ÖPNV. Außerhalb der Städte wird ein Umbau weg vom Individualverkehr dagegen langwierig sein und deutlich länger als 20 Jahre dauern. Das ist zumindest für den Zeithorizont der globalen Energiewende ein viel zu langer Zeitraum. Daher sind Konzepte wichtig, die den Individualverkehr mit Pkw, den ein Großteil der Bevölkerung

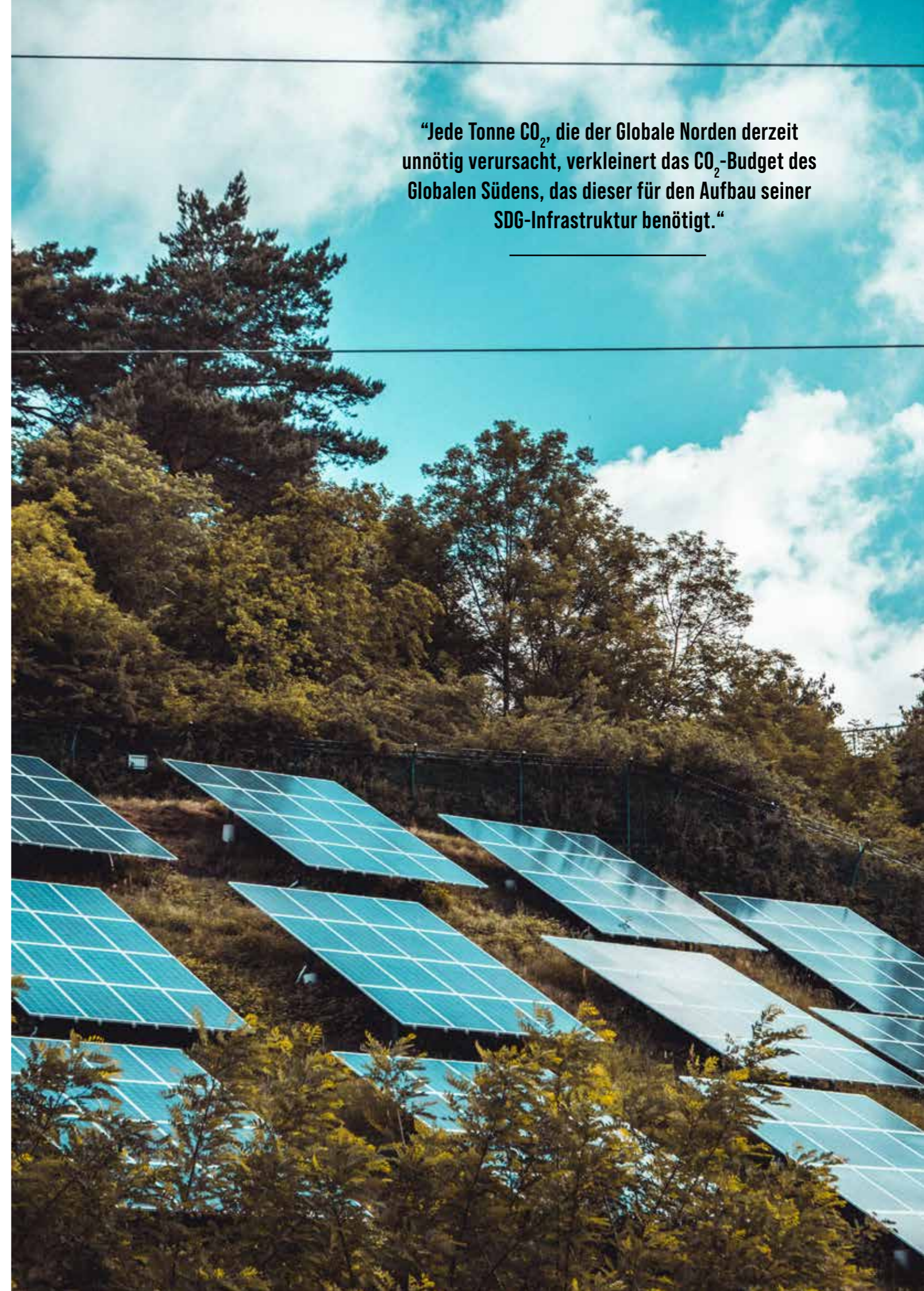
weiterhin nachfragt, möglichst schnell CO₂-neutral machen.

Auch für die globale Energiewende ist die Marktreife von kleineren, sparsameren E-Autos von hoher Bedeutung. Denn es ist zu erwarten, dass der Individualverkehr des Globalen Südens im Rahmen einer nachholenden Entwicklung in den nächsten 20 Jahren massiv zunehmen wird. Gleichzeitig ist es unabdingbar, dass sich der Globale Norden von seinen immer größer werdenden Autos verabschiedet – zum einen, um Energie und Ressourcen zu sparen, zum anderen, um als Vorbild dafür aufzutreten, dass kleinere und smarte E-Autos nun als neue Statussymbole dienen.

Brennstoffzellen und synthetische Treibstoffe sind nur für Nischenprobleme eine Lösung

Kritisch zu sehen ist auch die Entwicklung von Autos, deren Elektromotoren mit Strom angetrieben werden, der mittels Brennstoffzellen aus grünem Wasserstoff erzeugt wurde. Zwar ist so ein CO₂-freies Autofahren grundsätzlich möglich. Jedoch ist der Gesamtwirkungsgrad durch die Umwandlungsprozesse so niedrig, dass zu viel des immer noch knappen CO₂-frei erzeugten Stroms vergeudet wird. In noch stärkerem Maße gilt dies für Autos, die in Verbrennungsmotoren synthetische, mit grünem Strom hergestellte Treibstoffe nutzen. Hier verringert der niedrige Wirkungsgrad der Verbrennungsmotoren den Gesamtwirkungsgrad noch stärker als bei einer Lösung mit Brennstoffzelle (siehe Exkurs 4, Seite 41). Beide Varianten haben nur für Nischenanwendungen ihre Berechtigung, bei denen es nicht möglich ist, auf reine Elektroautolösungen zu setzen.

“Jede Tonne CO₂, die der Globale Norden derzeit unnötig verursacht, verkleinert das CO₂-Budget des Globalen Südens, das dieser für den Aufbau seiner SDG-Infrastruktur benötigt.“





6. Wie kann das verbliebene CO₂-Budget gerecht zwischen dem Globalen Norden und dem Globalen Süden aufgeteilt werden?

Solange die globalen Energiesysteme nicht wenigstens annähernd vollständig dekarbonisiert sind, stellt sich die Frage, wie das restliche CO₂-Budget zwischen dem Globalen Norden und dem Globalen Süden gerecht aufgeteilt werden kann. Der Globale Norden hat durch den bereits erfolgten Aufbau seiner industriellen Infrastruktur und den damit verbundenen Konsumgewohnheiten den wesentlichen Teil der bisherigen globalen CO₂-Emissionen zu verantworten. Gleichzeitig verfügt er aber gerade durch diese Infrastruktur über das technische und ökonomische Potenzial, alle seine Energiesysteme noch rechtzeitig zu dekarbonisieren. Dies kann aber nur gelingen, wenn der Rückgang der Emissionen nicht durch den Anstieg des Verbrauchs in neuen Bereichen hinausgezögert wird. Der Globale Süden war bisher nur für einen kleinen Teil der aufsummierten CO₂-Emissionen verantwortlich.

Aber dafür hat er einen großen energetischen Bedarf für viele nachholende Infrastrukturmaßnahmen, die maßgeblich benötigt werden, um die 17 SDGs zu erfüllen. Gleichzeitig hat der Globale Süden ein sehr hohes Potenzial, erneuerbare Energie zu erzeugen. In den meisten Fällen fehlt noch die ökonomische Unterstützung, um das technische Equipment zur Nutzung des Potenzials, das aktuell im Wesentlichen im Globalen Norden hergestellt wird, importieren zu können.

Eine für beide Seiten faire Lösung könnte darin bestehen, dass der globale Norden – neben der Dekarbonisierung seiner eigenen Ökonomien – massive finanzielle Zuwendungen an den Globalen Süden leistet. So befähigt er ihn, die eigenen großen Potenziale an erneuerbaren Energien zu nutzen und damit seine steigenden Energiebedarfe zu decken.⁶⁶

⁶⁶ Wie diese finanziellen Zuwendungen aus dem Globalen Norden ermöglicht werden können, ohne die Lasten auf die Steuerzahler abzuwälzen, hat der WFC in verschiedenen Studien dargelegt. Zuletzt: WFC, April 2020.

Der Globale Norden würde mit den finanziellen Zuwendungen für seine historischen CO₂-Emissionen die Verantwortung übernehmen und gleichzeitig die globale Klimakatastrophe abwenden, von deren Auswirkungen er auch selbst betroffen wäre. Weiterhin würde er ökonomisch profitieren, denn die finanziellen Zuwendungen würden als neue Importnachfrage aus dem Globalen Süden an ihn zurückfließen.

Der Globale Süden könnte nun die Infrastrukturen aufbauen, die für die Erreichung der 17 SDGs notwendig sind, und das, ohne sich gleichzeitig durch massive eigene CO₂-Emissionen und dem daraus resultierenden Klimawandel zu schädigen. Ebenso könnten die Staaten des Globalen Südens ihre Energieverbräuche nun durch Sonne und Wind decken, statt wie bisher fossile Energieträger zu importieren. Die wertvollen Devisen, die sie durch die verringerten Importe einsparen, können sie zur Finanzierung der Erreichung der SDGs nutzen.

Aber auch hier gibt es das Problem der limitierten Zeit

Bevor es eine CO₂-freie Energieversorgung gibt, bedeutet jeder Verbrauch von Energie, dass sich das verbliebene CO₂-Budget verringert. Dieses Budget kann nur einmal verbraucht werden. Jede Tonne CO₂, die der Globale Norden derzeit unnötig verursacht – sei es, weil der Aufbau der erneuerbaren Energien zu langsam erfolgt, oder sei es, dass neue Energie zusätzlich verbraucht wird –, verkleinert das CO₂-Budget des Globalen Südens, das dieser für den Aufbau seiner SDG-Infrastruktur benötigt.

Zur Diskussion der Frage, ob nun die Verbräuche des Globalen Nordens oder die des Globalen Südens wichtiger sind, sollen die jeweiligen Hauptgründe für die erwarteten Verbrauchsanstiege noch einmal gegenübergestellt werden.

6.1. Die Energieverbrauchstreiber im Globalen Norden und im Globalen Süden: Eine kurze Gegenüberstellung

Der Globale Norden

Wie in Kapitel 5 dargestellt gibt es im Globalen Norden immer noch viele Sektoren, in denen der Energieverbrauch unnötig hoch ist oder sogar weiter ansteigt. Der Wohlstandsgewinn ist dabei meist sehr gering. In vielen Fällen führt der Mehrverbrauch an Energie nur zu einer

anderen Form des Konsums, nicht aber zu seiner Verbesserung. Exemplarisch sollen hier nur vier Beispiele genannt werden:

- das stark zunehmenden Videostreaming mit einer energiehungrigen 4K- oder gar 8K-Auflösung, obwohl eine deutlich sparsamere Auflösung kaum sichtbare Nachteile bringt.
- der immer noch anhaltende Trend zu größeren, schwereren privaten Autos, obwohl kleinere und sparsamere Modelle kaum weniger Fahrkomfort bieten und die Menschen ebenso gut von A nach B bringen. Besonders besorgniserregend ist, dass sich dieser Trend auch mit den grundsätzlich zu befürwortenden, elektrisch angetriebenen Autos fortzusetzen scheint.
- Der Luftverkehr, der bis zur Covid-19-Pandemie ebenfalls von einer kontinuierlichen Zunahme geprägt war. Seitdem haben die Menschen oft die Erfahrungen gemacht, dass Urlaubserholung auch ohne Flugreisen möglich ist und sich ein großer Teil des beruflichen Flugverkehrs durch Videokonferenzen ersetzen lässt. Es ist zu hoffen, dass hier ein dauerhafter Umdenkungsprozess begonnen hat und dass der Flugverkehr des Globalen Nordens zumindest für den Zeitraum, in dem seine Klimaneutralität nicht gewährleistet ist, auf einem niedrigeren Niveau verbleibt.
- Auch wenn die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft hier nicht Bestandteil der Untersuchung sind, dürfen sie doch in einer Aufzählung der „Zuviel-Verbräuche“ des Globalen Nordens nicht fehlen. In Anbetracht der riesigen Energie- und Flächenverbräuche der Tiernahrungsproduktion und der erheblichen Methanemissionen der Tiere selbst sollte offensichtlich sein, dass sich der hohe Pro-Kopf-Fleischkonsum des Globalen Nordens nicht aufrechterhalten lässt und gesenkt werden muss.

Der Globale Süden

Deutlich anders sieht die Situation im Globalen Süden aus. Hier sind die Energieverbrauchstreiber nicht neue Konsumvarianten mit begrenztem Wohlstandsgewinn, sondern regelmäßig von existenzieller Bedeutung. Der Aufbau der Infrastrukturen, die für die Erreichung der meisten der 17 SDGs unerlässlich ist, bringt zwar einen hohen Verbrauch an Energie mit sich, bildet aber die Grundlage für den nachholenden Wohlstandsaufbau.

Die Wohlstandsgewinne, die mit einem nachholenden Energie- und Ressourcenverbrauch verbunden sind, sollen nun exemplarisch mit den 17 SDGs gezeigt werden. Es können mindestens zehn der 17 nachhaltigen Entwicklungsziele identifiziert werden, die nur mit einem – zum Teil – erheblichen Mehrbedarf an Energie umgesetzt werden können. Um

diese Unterschiede der Wohlstandszugewinne gegenüber den aktuellen Mehrverbräuchen des Globalen Nordens sichtbar zu machen, sollen diese zehn kurz aufgeführt werden.

SDG 1: Keine Armut – Armut in all ihren Formen und überall beenden

SDG 2: Kein Hunger – Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern

SDG 3: Gesundheit und Wohlergehen – Ein gesundes Leben für alle Menschen jedes Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern

SDG 4: Hochwertige Bildung – Inklusive, gerechte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten des lebenslangen Lernens für alle fördern

SDG 6: Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen – Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten

SDG 7: Bezahlbare und saubere Energie – Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und zeitgemäßer Energie für alle sichern

SDG 8: Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum – Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern

SDG 9: Industrie, Innovation und Infrastruktur – Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen

SDG 11: Nachhaltige Städte und Gemeinden – Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten

SDG 13: Maßnahmen zum Klimaschutz – Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen

Um diese etwas abstrakte Auflistung zu konkretisieren, zeigen wir am Beispiel des SDGs 7 „Zugang zu sauberer Elektrizität“, welche massive Wohlstands- bzw. Gesundheitsgewinne entstehen, wenn mit Strom statt mit Brennstoffen wie Holz gekocht wird. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) ermittelte, dass immer noch knapp 3 Milliarden Menschen zum Kochen auf offene Feuer oder einfache Öfen in Innenräumen

angewiesen sind. Die Brennstoffe bestehen dabei aus Holz, Petroleum oder Tierkot und sind nicht nur energetisch sehr ineffektiv, sondern führen durch die starke Rauchentwicklung zu erheblichen gesundheitlichen Belastungen und einer geringeren Lebenserwartung bei den kochenden Personen und anwesenden Kindern.⁶⁷

⁶⁷ Vgl. WHO; Household air pollution and health, 8 May 2018; <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/household-air-pollution-and-health>

6.2. Wie lässt sich herausfinden, welche Energieverbräuche sinnvoll sind und welche nicht? Der „Gerechtigkeitstest“ von John Rawls

Weil das CO₂-Budget stark begrenzt ist, muss nach sinnvollem und weniger sinnvollem Energieverbrauch unterschieden werden. Denn solange nicht alle Energieverbräuche dekarbonisiert sind, führt jeder Energieverbrauch unweigerlich zu mehr CO₂-Emissionen. Für diesen Zwischenzeitraum bedarf es also Regelungen, wie sich gesellschaftliche „sinnvolle“ und „sinnlose“ Energieverbräuche bestimmen lassen.

Unbefangenen Beobachtern wird es – so darf angenommen werden – sinnvoller erscheinen, für die Umsetzung der 17 SDGs im Globalen Süden einen Mehrverbrauch an Energie zu akzeptieren als für Videostreaming mit 8k, Internet der Dinge oder möglichst große Pkw. Dennoch soll eine Methode diskutiert werden, die zumindest auf einer theoretischen Ebene die Verteilung des limitierten CO₂-Budgets in einer für alle Beteiligten fairen Weise regeln könnte. Zur Lösung der Frage wird hier an die Gerechtigkeitstheorie des Philosophen John Rawls angeknüpft.⁶⁸

John Rawls Theorie zur Entscheidungsfindung hinter dem „Schleier der Unwissenheit“

John Rawls hat die Kernidee seines Gerechtigkeitsprinzips in einem kleinen, aber brillanten Gedankenexperiment dargelegt. Bei seinem Verfahren müssen die Akteure hinter einem „Schleier der Unwissenheit“ entscheiden: Sie sollen sich auf ein Gesellschaftsmodell verständigen, in dem sie selbst später zu leben haben, ohne ihre dortigen Rollen (Geschlecht, Alter, Einkommen, Vermögen, beruflicher Status etc.) vorher zu kennen. So kann angenommen werden, dass ein Gesellschaftsmodell ausgehandelt wird, das von allen als fair und gerecht angesehen wird, in dem alle Menschen unabhängig ihrer späteren gesellschaftlichen Positionen einen fairen Anteil an Status und Lebensqualität erhalten und dass weder Positionen

mit besonders viel noch solche mit besonders wenig Status und Einkommen in dieser Gesellschaft vorhanden sein werden.

Eine Verteilung des restlichen CO₂-Budgets, die von allen als gerecht beurteilt wird

Übertragen auf den Verteilungskonflikt des verbliebenen CO₂-Budgets bedeutet dies, dass die Beteiligten an diesem Entscheidungsprozess „hinter dem Schleier“ darüber entscheiden müssen, wie die restliche verfügbare (fossile) Energie verwendet wird, sodass die 1,5-Grad-Grenze gerade so nicht überschritten wird. Keiner der Beteiligten weiß vorab, in welchem Land und mit welchem Einkommen er später leben muss. Gleichzeitig ist allen bekannt, dass die Anzahl der zu vergebenen Plätze im Globalen Süden weitaus größer ist als die der zu vergebenen Plätze im Globalen Norden. Folglich kann angenommen werden, dass die Beteiligten die existenziellen Energiebedarfe des Globalen Südens als wichtiger ansehen als die Energiebedarfe, die eher einen Luxus- oder Bequemlichkeitskonsum bedienen.

John Rawls Konzept der Gerechtigkeitsfindung hinter dem „Schleier der Unwissenheit“ ist ein reines Gedankenexperiment. Tatsächliche Verhandlungen über zukünftige Gesellschaftsmodelle hinter einem solchen Schleier des Nichtwissens sind offensichtlich unmöglich. Dennoch kann dieses Gedankenexperiment sehr wirkmächtig sein. Es ist so einfach und unmittelbar einleuchtend, dass es sich dazu eignet, allen Menschen in Machtpositionen, die ihrer Rhetorik nach für die Klimaziele eintreten, bei der Umsetzung der konkreten globalen Energiewende aber immer noch blockieren und Partikularinteressen durchsetzen wollen, mit der offensichtlichen Ungerechtigkeit ihres Tuns zu konfrontieren.

⁶⁸ John Rawls veröffentlichte sein Hauptwerk „A Theory of Justice“ 1971; Deutsch: John Rawls; Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt am Main, 1979.



Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Das global verbliebene CO₂-Budget ist mittlerweile auf unter 400 Gt gesunken. Damit ist es so knapp, dass jeder weitere Verbrauch fossiler Energie genau abgewogen werden muss, um den Rahmen, der zur Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze noch verfügbar ist, nicht zu überschreiten. Damit dies gelingen kann, ist der schnelle Ausbau der erneuerbaren Energien auf globaler Ebene dringend erforderlich. Die nachholenden Energiebedarfe des Globalen Südens sind so groß, dass es zu einem Wettlauf zwischen dem Aufbau der erneuerbaren Energien und seinem wachsenden Stromverbrauch kommen wird. Jede zusätzliche Energienachfrage im Globalen Norden, die derzeit noch in wesentlichen Teilen fossil bedient wird, zögert es heraus, dass die Versorgung aus 100 % erneuerbarer Energie erreicht wird, und vergeudet so das verbliebene CO₂-Budget.

Es könnte jedoch sowohl für Deutschlands als auch für die globaler Ebene gezeigt werden, dass eine Umstellung auf eine 100 % erneuerbare und CO₂-freie Energieversorgung bis spätestens 2040 grundsätzlich möglich ist. Erreichbar sind die ambitionierten Ausbauziele aber nur, wenn sofort mit ihrer Umsetzung begonnen wird. Dafür müssen alle politisch gesetzten, regulatorischen Hindernisse unverzüglich beseitigt werden.

Diese Studie hat auch ermittelt, dass die Finanzierung der notwendigen Investitionen möglich ist. Voraussetzung ist, dass entsprechende Rahmenbedingungen eine sichere Kalkulierbarkeit gewährleisten und dass weitere unterstützende Maßnahmen durch Bürgerschaften sowie gezielte rückzahlungsfreie Zuschüsse aus dem Globalen Norden zur Verfügung stehen. Denn der derzeitige Haupthinderungsgrund für Investitionen liegt nicht an mangelndem „grünem“ Investitionskapital, sondern an einem Mangel an „bankfähigen“ Projekten im Globalen Süden.

Angesichts der Tatsache, dass die Erde ein endlicher Planet ist, ist ein endlos wachsender Stromverbrauch auch dann nicht möglich, wenn die Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugt wird. Für den Betrachtungshorizont, in dem die Energiewende stattfinden und alle Energiebedarfe des Globalen Südens zur Umsetzung der 17 SDGs gedeckt sein müssen, gilt diese Restriktion jedoch noch nicht. Hier sind die notwendigen Flächen und Rohstoffe noch ausreichend vorhanden. Neben dem Aufbau einer CO₂-freien Energieversorgung wird entscheidend sein, die globale Zementproduktion auf das absolut Notwendige begrenzen und die verbliebenen Mengen zu dekarbonisieren. Auch die globale Stahlproduktion muss zügig auf eine CO₂-freie Herstellung umgestellt werden.

Das Problem der notwendigen Energiewende auf globaler Ebene ist nicht, dass es nicht genügend erneuerbare Energien (inklusive der notwendigen Speichersysteme) geben kann, um weiter steigende Verbräuche der industrialisierten Länder und der nachholenden Länder bedienen zu können. Das Problem ist der limitierte Zeitfaktor, in dem dies umgesetzt werden muss. Jedes Jahr, in dem weiter fossile Energien verbraucht werden, verursacht CO₂-Emissionen, die mit dem verbliebenden 1,5-Grad-Budget nicht mehr in Einklang gebracht werden können. Schon ein Anstieg der Erderwärmung von 1,5 auf 2 °C bedeutet für die Änderung des Klimas einen gewaltigen Unterschied. Die schon jetzt – bei ca. 1,1 °C Klimaerwärmung – häufiger auftretenden Extremwittersituationen geben nur einen kleinen Ausblick, welche Auswirkungen bei Temperaturen von über 1,5 °C auftreten werden.

Es ist extrem wichtig, dass der Globale Norden seine Energienachfrage nicht für viele verschwundene Anwendungen steigen lässt, deren Wohlstandsvermehrungen eher im Bereich des Luxus- und Bequemlichkeitskonsum liegen. Beispiele dafür sind das energieintensive und schnell zunehmende Videostreaming, viele neue 5G-Anwendungen, das Fahren mit zu großen und zu schweren Autos, ein zu hoher Fleischkonsum und zu viele Flugreisen.

Neue, energieintensive Technologien sollten nicht mehr eingeführt werden, ohne dass vorher eine ernsthafte öffentliche Debatte geführt wurde, ob diese überhaupt benötigt werden und der zusätzliche Energieverbrauch in einem sinnvollen Verhältnis zum Nutzen steht. Hier könnte eine demokratisch legitimierte Kommission eine Energieverbrauchsfolgenabschätzung durchführen, wenn dies vom Parlament oder einer bestimmten Anzahl von Petitionen gefordert wird. Nicht alles, was technisch machbar ist, muss auch umgesetzt werden. Viele neue Anwendungen werden nur umgesetzt, weil sie technisch möglich sind, und nicht, weil sie vom Endverbraucher gefordert wurden.

Der Globale Norden muss seine Verbräuche zurückschrauben, um dem Globalen Süden ein größeres Stück vom verbleibenden CO₂-Budget zu überlassen. Dieser hat ein legitimes Anrecht darauf, jene Infrastruktur nachholend auszubauen, die unabdingbar für die Umsetzung der 17 SDGs sind. Dass dies gerecht und fair ist, lässt sich leicht mit dem Gerechtigkeitstest von John Rawls zeigen, wenn die Nutzen der zusätzlichen Energieverbräuche des Globalen Norden denen des Globalen Südens gegenübergestellt werden.

Es liegt aber auch im Eigeninteresse des Globalen Nordens, den Süden massiv dabei zu unterstützen, die erneuerbaren Energien auszubauen. Die Gelder, mit denen der Norden den Süden unterstützt, fließen in Form von Aufträgen für das Equipment für den Aufbau der erneuerbaren Energien an ihn zurück. Viel bedeutender ist aber, dass alle gemeinsam profitieren, wenn die Klimakatastrophe abgewendet wird.

Die 17 Ziele der UNO für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals, SDGs)

Die 17 Nachhaltigkeitsziele der UNO (Sustainable Development Goals, SDGs) wurden als Nachfolge der sogenannten Millenniumsziele beschlossen und traten als „Agenda 2030“ am 1. Januar 2016 in Kraft. Wie die Millenniumsziele (MDGs) haben sie eine Laufzeit von 15 Jahren. Im Unterschied zu den MDGs, die insbesondere für Staaten des Globalen Südens galten, gelten die SDGs für alle Staaten. Mit ihren 17 Zielen für nachhaltige Entwicklung ist die Agenda 2030 ein globaler Plan zur Förderung von Frieden, nachhaltigem Wohlstand und zum Schutz unseres Planeten. Alle Länder arbeiten seit 2016 daran, diese gemeinsame Vision zur Bekämpfung der Armut und Reduzierung von Ungleichheiten in nationale Entwicklungspläne zu überführen. Dabei ist es besonders wichtig, die Bedürfnisse der schwächsten Bevölkerungsgruppen und aller Länder anzunehmen. Denn nur wenn niemand zurückgelassen wird, können die 17 Ziele bis 2030 erreicht werden.⁶⁹

Die 17 SDGs

1. Keine Armut – Armut in all ihren Formen und überall beenden.
2. Kein Hunger – Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern.
3. Gesundheit und Wohlergehen – Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern.

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



4. Hochwertige Bildung – Inklusive, gerechte und hochwertige Bildung gewährleisten und Möglichkeiten des lebenslangen Lernens für alle fördern.
5. Geschlechtergleichheit – Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen.
6. Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen – Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten.
7. Bezahlbare und saubere Energie – Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern.
8. Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum – Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern.
9. Industrie, Innovation und Infrastruktur – Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen.
10. Weniger Ungleichheiten – Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern.
11. Nachhaltige Städte und Gemeinden – Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten.
12. Nachhaltige/r Konsum- und Produktion – nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen
13. Maßnahmen zum Klimaschutz – Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen.
14. Leben unter Wasser – Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen.
15. Leben an Land – Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen.
16. Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen – Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen.
17. Partnerschaften zur Erreichung der Ziele – Umsetzungsmittel stärken und die Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung mit neuem Leben erfüllen.

EXKURS 2

Zur Einordnung der Größenordnungen

Für energietechnisch wenig geübte Leser folgen ein paar Beispiele aus Deutschland, mit denen sich die vielen genannten Zahlen in ihrer Größenordnung besser einsortieren lassen.

Der derzeitige Stromverbrauch in Deutschland liegt bei rund 550 TWh. Werden alle Energiebedarfe, die jetzt noch mit fossilen Rohstoffen betrieben werden (Verbrennungsmotoren im Verkehr, Öl- und Gasheizungen in Haushalten sowie die Prozesswärme für die Industrie), auf Strom aus erneuerbaren Energien umgestellt, steigt der Strombedarf auf Werte zwischen schätzungsweise 1.200 und 1.300 TWh an.⁷⁰ Neue zusätzliche

⁷⁰ Vgl. DIW, 2021; https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.821870.de/21-29-1.pdf, sowie Quaschnig (2015);



Anstiege durch 5G und andere digitale Verbrauchsteigerungen sind hier nicht mitgerechnet, wohl aber die zusätzlichen Bedarfe, die aus den Verlusten für Speicherung und anschließender Rückverstromung entstehen.

Warum ist die Zahl 8760 wichtig zur Einschätzung der Größenordnungen?

8760 ist die Anzahl der Stunden, die ein Jahr hat (24×365). Sie ist bedeutend, weil sie den inhaltlichen Zusammenhang zwischen der installierten Leistung eines Stromerzeugers in Gigawatt (GW) und der tatsächlich erzielten Stromproduktion in Terawattstunden (TWh) in einem Jahr herstellt. So können große Windkraftanlagen an guten Standorten an Land derzeit aufsummiert etwa an 2.500 Stunden (h) ihre volle Leistung erbringen. Bei einem Windpark mit 20 Anlagen und einer Leistung von je 5 MW – also einer Gesamtleistung von 0,1 GW – ergibt sich eine Stromproduktion von 250 GWh ($2.500 \times 0,1$). Bei Solarenergie kann im Mittel mit ca. 1.000 Volllaststunden gerechnet werden.

Damit zeigt sich auch die bekannte Tatsache, dass Anlagen für erneuerbare Energien nur dann Energie ernten können, wenn diese vorhanden ist. Kraftwerke, die fossil betrieben werden, haben diese Probleme naturgemäß nicht. Sie können über 7.500 Volllaststunden erreichen, weil Stillstände nur aus Wartung und Reparaturzeiten resultieren. So ist z. B. die dreifache Menge an installierter Windenergieleistung notwendig, um die gleiche Menge Strom zu produzieren wie ein Kohle- oder Atomkraftwerk im Grundlastbetrieb. Noch deutlicher wird der Unterschied bei Photovoltaikanlagen mit einer durchschnittlichen Volllaststundenanzahl von etwa 1.000.

Volatilität von Wind und Sonne

Aufgrund der bekannten Volatilität bei Wind- und Sonnenenergie wird eine deutlich größere installierte Leistung benötigt als bei den aktuell vorhandenen fossilen Kraftwerken. Daraus resultiert, dass an sonnigen Tagen, die auch windig sind, sehr viel mehr Strom erzeugt wird, als gleichzeitig nachgefragt wird. Das ist im Konzept der fossilfreien Energiewende auch so gewollt, denn der überschüssige Strom wird genutzt, um Kurzzeitspeicher wie Batterien oder Pumpspeichieranlagen aufzufüllen und mittels Elektrolyse grünen Wasserstoff und Methan zu erzeugen. Letztere gehören zu den Langzeitspeichern. Mit ihnen lässt sich Energie in großen Mengen dauerhaft speichern und bei Bedarf in Strom zurückverwandeln. Diese Langzeitspeicherung ist besonders bei länger anhaltendem Schwachwindphasen im Winter von Bedeutung, wenn auch die Solarenergie nur rund 10% der sommerlichen Energiemenge bereitstellen kann.

Problemfeld Erdgas

Der Ausstieg aus den fossilen Energien macht es notwendig, auch alle Öl- und Gasheizungen durch strombetriebene und energetisch sehr effiziente Wärmepumpen zu ersetzen. Daher wird auch die Nachfrage nach Erdgas sinken. Bei der Stromproduktion ergibt sich für die nächsten fünf bis maximal 15 Jahre aber eine andere Situation. Denn die letzten sechs noch am Netz befindlichen Atomkraftwerke liefern z. Z. noch rund 60 TWh im Jahr, also rund 11 % des aktuellen Strombedarfs. Drei Atomkraftwerke (Brokdorf, Grohnde und Gundremmingen C) werden Ende 2021, die letzten drei Ende 2022 abgeschaltet. Die wegfallenden Strommengen müssen dann anders erzeugt werden. In Bezug auf das verbleibende CO₂-Budget ist es nun von großer Bedeutung, dass die Strommengen, die noch nicht von erneuerbaren Energien ersetzt werden können, so CO₂-schonend wie möglich produziert werden. Der Einsatz von Erdgas ist hier dem von Stein- oder gar Braunkohle klar vorzuziehen. Im Idealfall verursacht die Stromerzeugung mit hocheffizienten Gas- und Dampfkraftwerken (GuD) nur etwa ein Drittel der CO₂-Emissionen, die mit Braunkohlekraftwerken entstehen würden. Dieser Vorteil resultiert zum einen aus den vergleichsweise hohen Wirkungsgraden der GuD-Technik (aktuell 63%)⁷¹ und dem geringeren CO₂-Gehalt des Brennstoffs Erdgas. Dieser Vorteil muss dringend genutzt werden, solange die erneuerbaren Energien noch nicht für eine vollständige Versorgung mit Strom ausreichen.

Im Gegensatz zu Kohlekraftwerken werden Erdgaskraftwerke auch nach der Umstellung auf erneuerbare Energien noch dringend gebraucht. Denn der an guten Wind- und Sonnentagen zu viel erzeugte Strom, der – zwecks Speicherung – in grünen Wasserstoff und grünes Methan umgewandelt wurde, kann mit ihnen in wind- und sonnenarmen Zeiten zurückverstromt werden.

Der grundsätzlich mögliche CO₂-Vorteil von Erdgas ist aber nur zu erzielen, wenn das Erdgas aus technisch sorgfältig durchgeführter, konventioneller Förderung bereitgestellt wird und in möglichst neuen, auf mögliche Methanleckagen gut überwachten und gewarteten Pipelines transportiert wird. Die Möglichkeiten der Methanüberwachung haben sich zuletzt deutlich verbessert. Durch eine Kombination aus Satellitenüberwachung sowie dem Einsatz von Messflugzeugen und Drohnen können Leckagen genau geortet und durch Wartungsteams zeitnah abgedichtet werden. Alte, schlecht gewartete Pipelines weisen hingegen regelmäßig hohe Methanleckagen auf und schädigen auf diesen Weg das Klima. Deutlich schlechter ist der Umweg über die Erdgasverflüssigung (LNG), der gewählt werden muss, wenn das Gas per LNG-Gastankschiff nach Deutschland geliefert wird. Die Herunterkühlung des Erdgases auf -162 °C sowie die ebenfalls energieintensive Wiedererwärmung am Anlande-Terminal lässt den Vorsprung des Erdgases bezüglich der CO₂-Emissionen gegenüber Kohle deutlich sinken.

Der schlechteste Fall wäre aber Erdgas, das mit der sogenannten Fracking-Methode gefördert wird. Hier verschwindet der CO₂-Vorteil gegenüber Kohle vollständig, weil bei der umweltschädlichen Förderung starke Methanleckagen entstehen.

Eine pauschale Bewertung der Klimaschädlichkeit von Erdgas sollte daher vermieden werden. Es muss immer der konkrete Einzelfall betrachtet werden.

⁷¹ Siemens und General Electric haben beide die Marke von 63 % erreicht: <https://www.ge.com/gas-power/resources/articles/2018/nishi-nagoya-efficiency-record>, General Electric plant sogar mit einem Wirkungsgrad von 65 % in den frühen 2020er-Jahre: <https://www.ge.com/news/press-releases/ha-technology-now-available-industry-first-64-percent-efficiency>

Energiebilanzen und wie durch den Einsatz erneuerbarer Energie ein großer Effizienzschatz gehoben werden kann

Energiebilanzen sind komplizierter, als es die erste Vermutung nahelegt. Dies führt bei der Beurteilung der Frage, ob auch im wind- und sonnenarmen Deutschland alle Energiebedarfe mit 100 % erneuerbaren Energien gedeckt werden können, oft zu Missverständnissen. Der häufigste Fehler entsteht durch die Annahme, der jährliche Primärenergiebedarf von derzeit rund 3.700 TWh müsse vollständig durch die erneuerbaren Energien ersetzt werden. Angesichts der Tatsache, dass die Erneuerbaren derzeit (2020) erst etwa 250 TWh in Stromnetz einspeisen⁷², erscheint der Gedanke einer 100-prozentigen Umstellung auf heimische erneuerbare Energien tatsächlich nur sehr schwer möglich. Diese Annahme übersieht aber, dass die Umstellung aller Energieerzeugung auf Elektrizität sehr große Effizienzgewinne mit sich bringt. Damit werden zur Deckung aller Energiebedarfe nur etwa 1.200 bis 1.300 TWh gebraucht werden⁷³ – also nur rund ein Drittel des aktuell notwendigen Primärenergiebedarfs von 3.700 TWh.

Diese enormen Effizienzgewinne entstehen vorwiegend in drei Sektoren durch erhebliche Verbesserung der energetischen Wirkungsgrade.

Stromerzeugung

Konventionelle Kraftwerke (einschließlich Atomkraft) besitzen einen Wirkungsgrad von etwas über 30 % bei älteren Braunkohlekraftwerken bis maximal 46 % bei modernen Steinkohlekraftwerken. Das bedeutet, dass man knapp die dreifache Menge an Primärenergie aufwenden muss, um 1 kWh Strom zu erzeugen. Für Wind, Wasser und Solarenergie gelten diese enormen Verluste nicht. Hier entspricht die erzeugte Kilowattstunde der eingesetzten Primärenergie.

Autoverkehr

Verbrennungsmotoren erzielen im optimalen Lastbereich Wirkungsgrade von ca. 35 % (Benzin) und 40 % (Diesel). In der Verkehrspraxis werden die Motoren aber sehr oft im nichtoptimalen Teillastbereich gefahren. Das führt dazu, dass der reale Wirkungsgrad auf Werte unter 20 % sinken kann. Entsprechend groß ist der Bedarf an Primärenergie in Form von Benzin und Diesel. Hinzu kommen die erheblichen energetischen Verluste, die entstehen, wenn in der Raffinerie aus Rohöl Benzin und Diesel erzeugt werden. Elektromotoren erzielen dagegen Wirkungsgrade von rund 95 % und dies konstant über den gesamten Lastbereich. Abgezogen werden müssen hier lediglich die Ladeverluste, die zwischen 5 und 15 % liegen.

Heizwärme

Moderne Öl- und Gasheizungen haben Wirkungsgrade von über 90 %. Daraus könnte man annehmen, dass eine weitere Verbesserung kaum möglich ist. Aber genau dies ermöglicht die Technologie der elektrischen Wärmepumpe, indem sie aus vorhandener Wärme im Boden neue Heizenergie generiert. Bei einer praxisnahen Jahresarbeitszahl von z. B. 3 können so mit dem Einsatz von 1 kWh Strom 3 kWh Heizwärmeenergie erzeugt werden.

⁷² Vgl. Fraunhofer ISE; Energy-Charts: Jährliche Nettostromerzeugung in Deutschland in 2020; <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&year=2020&interval=year&stacking=grouped>

⁷³ Vgl. DIW, 2021; und Quaschnig, 2016.

Die so erreichbaren Effizienzgewinnen führen nun dazu, dass es möglich ist, mit rund einem Drittel des heutigen Primärenergieverbrauchs auskommen, wenn die kompletten Energiesysteme auf Strom aus erneuerbaren Energien umgestellt sind. Die einzigen neu entstehenden Effizienzverluste resultieren aus den Umwandlungsprozessen, wenn – zwecks Speicherung – überschüssiger Wind- und Solarstrom in Wasserstoff und synthetisches Methan verwandelt wird, sowie aus den Verlusten bei der Zurückverstromung des Wasserstoffs bzw. des Methans, wenn zu wenig Wind weht und die Sonne nicht scheint.



Referenzen

- Bamboo bio-concrete as an alternative for buildings' climate change mitigation and adaptation, in Construction and Building Materials, 10 December 2020; <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006182032657X>
- Bank of England; Money creation in the modern economy, Quarterly Bulletin Q1, 2014; <https://www.bankofengland.co.uk/-/media/boe/files/quarterly-bulletin/2014/money-creation-in-the-modern-economy.pdf?la=en&hash=9A8788FD44A62D8BB927123544205CE476E01654>
- BDEW; Wasserstoff statt Kohle: Wie wird Stahl grün? 16.03.2020; <https://www.bdew.de/verband/magazin-2050/wasserstoff-statt-kohle-der-stahl-der-zukunft-ist-klimafreundlich/#>
- Carbon Tracker, The Sky's the Limit: Solar and wind energy potential is 100 times as much as global energy demand, 23.04.2021; <https://carbontracker.org/reports/the-skys-the-limit-solar-wind/>
- Deutscher Wetterdienst, Attributionsstudie: Klimawandel machte die Starkregenfälle wahrscheinlicher, die zu Überschwemmungen in Westeuropa führten, Pressemitteilung vom 24.08.2021: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20210824_attributionsstudie_starkregen_news.html?nn=16210
- Deutschlandfunk; Klimasünder Beton – Ein Baustoff sucht Nachfolger, 20.12.2020; https://www.deutschlandfunk.de/klimasuender-beton-ein-baustoff-sucht-nachfolger.740.de.html?dram:article_id=488355
- Deutschlandfunk; Stromfresser Internet, 13.02.2021; https://www.deutschlandfunkkultur.de/stromfresser-internet-wie-viel-energie-verbrauchen-google.970.de.html?dram:article_id=492431
- Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR); Der globale Luftverkehr trägt 3,5 Prozent zur Klimaerwärmung bei; 03.09.2020; https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200903_der-globale-luftverkehr-traegt-3-5-prozent-zur-klimaerwaermung-bei.html
- DIW Wochenbericht 29+30, (2021), 100 Prozent erneuerbare Energien für Deutschland: Koordinierte Ausbauplanung notwendig; https://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.821870.de/21-29-1.pdf
- EU-Cordis; CO₂-Abscheidung in der Zementindustrie: <https://cordis.europa.eu/article/id/255162-carbon-capture-for-the-cement-industry/de>
- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE); Energy-Charts; <https://energy-charts.info/?l=de&c=DE>
- Fraunhofer ISE; Energy-Charts: Jährliche Nettostromerzeugung in Deutschland in 2020; <https://energy-charts.info/charts/energy/chart.htm?l=de&c=DE&year=2020&interval=year&stacking=grouped>
- Friedlingstein P. et al. (2020), Global Carbon Budget 2020, Earth System Science Data, 12, 3269-3340, <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>
- Greenpeace, Die globalen Umweltfolgen von 7 Milliarden Mobiltelefonen, 2017; https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s01981_greenpeace_report_10_jahre_smartphone.pdf
- Heise-online, Pixelmuster irritieren die KI autonomer Fahrzeuge, 12.08.2020; <https://www.heise.de/hintergrund/Pixelmuster-irritieren-die-KI-autonomer-Fahrzeuge-4852995.html>

- Helmholtz Klima-Initiative, 2021: <https://www.helmholtz-klima.de/faq/wie-viel-co2-duerfen-wir-deutschland-noch-ausstossen-um-die-klimaziele-zu-erreichen>
- International CCS Knowledge Centre; Geringe CO₂-Emissionen bei Zement durch Verwendung von CCS möglich, 22.01.2021; <https://www.globenewswire.com/fr/news-release/2021/01/22/2163044/0/de/Geringe-CO2-Emissionen-bei-Zement-durch-Verwendung-von-CCS-m%C3%B6glich.html>
- Internationale Energieagentur (IEA); Energy investment by sector, 2019; <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020/key-findings>
- Internationale Energie Agentur (IEA), Electricity Market Report, July 2021, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/01e1e998-8611-45d7-acab-5564bc22575a/ElectricityMarketReportJuly2021.pdf>
- IPCC (2018), Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, www.ipcc.ch/sr15/; <https://www.de-ipcc.de/256.php>
- IPCC (2021); Climate change widespread, rapid, and intensifying, 09.08.2021; <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>
- IRENA (2018). Scaling up Renewable Energy Investment in Emerging Markets, White Paper, available at: http://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/Coalition-for-Action_Scaling-up-RE-Investment_2018.pdf
- Jacob et al.; Naturwissenschaftlicher Hintergrund der Erderwärmung: Wo stehen wir zurzeit?, in Wirtschaftsdienst, 101. Jg., 5/2021, <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2021/heft/5/beitrag/naturwissenschaftlicher-hintergrund-der-erderwaermung-wo-stehen-wir-zurzeit.html>
- Klimareporter.de; Sand ins Getriebe streuen, 08.10.2019; <https://www.klimareporter.de/gesellschaft/sand-ins-getriebe-streuen>
- Kroll, Matthias, Zentralbanken und Banken, Wie unser zweistufiges Geldsystem funktioniert, April 2014; <https://www.worldfuturecouncil.org/de/zentralbank-und-banken-wie-unser-zweistufiges-geldsystem-funktioniert/>
- Kroll, Matthias; Tackling the climate crises and the corona pandemic recession, Policy Brief, 4/2020; <https://www.worldfuturecouncil.org/new-study-tackling-the-climate-crisis-and-the-corona-pandemic-recession-2/>
- Kroll, Matthias; Die Auswirkungen des 5G Netz-Ausbaus auf Energieverbrauch, Klimaschutz und die Einführung weiterer Überwachungstechniken, Oktober 2020, <https://www.worldfuturecouncil.org/wp-content/uploads/2020/10/5G-Klimaschutz-Studie-Matthias-Kroll.pdf>
- Kroll, Matthias; Funding Global Climate Action and Overcoming the COVID-19 Crisis Through the IMF's Newly Created SDRs, F20-Policy Briefing #3/2021 (October 2021), (im Erscheinen)
- LUT University; Global Energy System based on 100% Renewable Energy, 2019 <https://www.energywatchgroup.org/new-study-global-energy-system-based-100-renewable-energy/>
- Masanet, Eric, Arman Shehabi, Nuoa Lei, Sarah Smith, and Jonathan Koomey. "Recalibrating global data center energy-use estimates." Science 367, no. 6481 (2020): 984-986. <https://science.sciencemag.org/content/367/6481/984>

- Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC), 2021; <https://www.mcc-berlin.net/forschung/co2-budget.html>
- NOAA (2021), Despite pandemic shutdowns, carbon dioxide and methane surged in 2020, <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2742/Despite-pandemic-shutdowns-carbon-dioxide-and-methane-surged-in-2020>
- OECD, UNEP, World Bank Group; Financing Climate Future, 11/2018, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264308114en.pdf?expires=1570716710&id=id&accname=guest&checksum=8B35EA9C980F72FFB3C87174F0FF2BC7>
- Quaschnig, Volker; Sektorkopplung durch die Energiewende, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2016, <https://www.volker-quaschnig.de/publis/studien/sectorkopplung/index.php>
- Rawls, John; „A Theory of Justice“ 1971; Deutsch: John Rawls; Eine Theorie der Gerechtigkeit, Frankfurt am Main, 1979
- REN21, Renewables 2021: Global Status Report, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf
- Ritchie, H. und M. Roser (2021), Emissions by sector, <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>
- Rogelj, Joeri; Die Emissionen müssen sinken, Interview mit der TAZ vom 10.08.2021; <https://taz.de/Klimaforscher-ueber-CO2-Budget/!5788173/>
- RWTH; Energie-Mehrverbrauch in Rechenzentren bei Einführung des 5G Standards, 16.08.2019, S.28; https://www.eon.com/content/dam/eon/eon-com/Documents/de/5G-Standard%20und%20Rechenzentren_11.12.2019.pdf
- Scripps Institution of Oceanography San Diego (2021), Scripps CO₂ Programme, <https://scrippsco2.ucsd.edu>
- Süddeutsche Zeitung, SZ; Klimaschutz: Holz statt Beton, 28.01.2020, <https://www.sueddeutsche.de/wissen/holz-co2-klimaschutz-1.4775157>
- Umweltbundesamt, Video-Streaming: Art der Datenübertragung entscheidend für Klimabilanz, Pressemitteilung 10.09.2020; <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/video-streaming-art-der-datenuebertragung#>
- Umweltbundesamt (2021), Indikator globale Lufttemperatur, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-globale-lufttemperatur#welche-bedeutung-hat-der-indikator>
- UNO, Ziele für Nachhaltige Entwicklung; <https://unric.org/de/17ziele/>
- VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BDi); Wasserstoff für die CO₂-arme Stahlerzeugung; <https://www.bfi.de/de/loesungen/wasserstoff-fuer-die-co2-arme-stahlerzeugung/>
- WHO; Household air pollution and health, 8 May 2018; <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- World Bank; GDP (current US\$); <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>
- WWF, Klimaschutz in der Beton- und Zementindustrie, Februar 2019, S. 7: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Klimaschutz_in_der_Beton-_und_Zementindustrie_WEB.pdf

IMPRESSUM

Herausgeberin: Stiftung World Future Council
Stand: November 2021
V.i.S.d.P.: Alexandra Wandel
Autor: Dr. Matthias Kroll
Lektorat: Cordula Natusch
Satz: Miriam Petersen

© World Future Council, 2021

BILDNACHWEIS

Titel/Umschlag: Adobe Stock / 一飞黄
S. 2: Thomas Richter / Unsplash
S. 4: Rawfilm / Unsplash
S. 10: Mathew Henry / Unsplash
S. 13: Nuno Marques / Unsplash
S. 15: Gonz DDL / Unsplash
S. 17: Random Institute / Unsplash
S. 18: Jens Kreuter / Unsplash
S. 21: Adobe Stock / AA+W
S. 23: chuttersnap / Unsplash; Robin Spielmann / Unsplash; Haneen Krimley / Unsplash
S. 25: The Blowup / Unsplash; Leio McLaren / Unsplash
S. 26: Michael Fousert / Unsplash
S. 29: Moritz Kindler / Unsplash
S. 30: Qingbao Meng / Unsplash
S. 34: John Doe / Unsplash
S. 37: United Nations
S. 39: Jonathan Borba / Unsplash
S. 42: Karyatid / Unsplash
S. 46/47: Appolinary Kalashnikova / Unsplash



HAUPTSITZ

Stiftung World Future Council

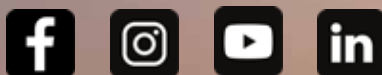
Große Elbstraße 117

22767 Hamburg, Germany

+49 40 3070914-0

info@worldfuturecouncil.org

MEHR ZU UNSERER ARBEIT IM NETZ



World Future Council



@Good_Policies

www.worldfuturecouncil.org/de

