

## Energiewende – ein Kommentar aus der Physik

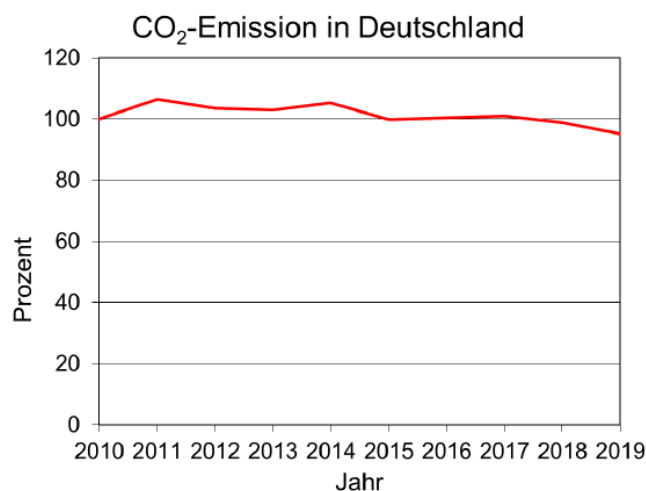
Im Folgenden werden offizielle und öffentlich zugängliche, aber schwierig zu durchschauende Daten zur Energiewende in eine allgemein verständliche Form gebracht, ein Vorgehen, das wir für eine der Aufgaben der Wissenschaft halten. Wir waren selber, wie auch viele unserer Leser, erstaunt über die Ergebnisse, zu sehen in Abbildung 1 und 2, die zeigen, dass sich in Deutschland die CO<sub>2</sub>-Emission in den letzten 10 Jahren kaum verringert hat. (Quelle: Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Stand März 2021). Wir erklären daher anschließend, warum dieser Befund sich so wenig mit unseren Erwartungen deckt.

Mit der Energiewende möchte Deutschland seinen Beitrag leisten, um den fortschreitenden Klimawandel aufzuhalten. Zu diesem Zweck hat sich Deutschland im Klimapakt der Europäischen Union verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2050 ganz auf Null zu reduzieren. Als Zwischenziel soll bis 2030, das heißt in etwa 10 Jahren, deren Ausstoß gegenüber 1990 um 55% gesenkt werden (neuerdings um 43% gegenüber 2005, da ab 2005 die Datenlage besser ist). Grund für diese Maßnahmen ist, dass der Ausstoß von Kohlendioxid CO<sub>2</sub> weltweit stetig ansteigt, vorwiegend zivilisationsbedingt, was zur Klimaerwärmung führt. Dafür liegen inzwischen überwältigende wissenschaftliche Ergebnisse vor. Vor diesem Hintergrund erörtern wir hier die Wirksamkeit der bisherigen Strategie der Energiewende und hoffen, dass dies zum Erfolg der überfälligen Energiewende beiträgt.

N.B.: Quellen zu allen Angaben in diesem Text finden sich in einer separaten Excel-Datei unter: <https://www.physi.uni-heidelberg.de/~dubbers/energiewende/Quellenangaben.xls>

### Fakten

Um abschätzen zu können, wie realistisch dieses 55%-Zwischenziel ist, muss man als erstes einen Blick zurückwerfen: Was wurde in der gleichen Zeitspanne, d.h. in den vergangenen 10 Jahren, beim Klimaschutz in Deutschland erreicht, nachdem erheblich in den Ausbau vorwiegend von Wind und Sonnenkraftanlagen investiert wurde? Hier fällt die Bilanz des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ernüchternd aus. Obwohl im Jahr 2019 bereits beachtliche 45% des Stromes aus erneuerbaren Quellen stammte, ist der Ausstoß klimaschädlicher Gase seit 10 Jahren nur wenig verändert, abgesehen von kleinen vorwiegend wetter- und konjunkturbedingten Schwankungen. Abbildung 1 zeigt die Daten des BMWi zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

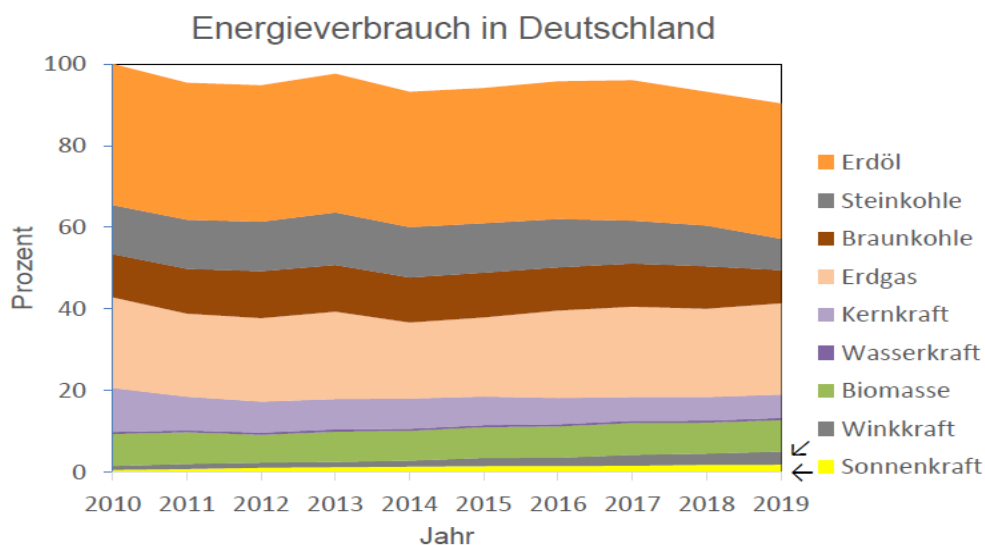


**Abb. 1.** Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den letzten 10 Jahren. Der Ausstoß im Jahr 2010 wurde auf 100% gesetzt. Quelle: BMWi.

Tatsächlich ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß seit der Wiedervereinigung 1990 um insgesamt 41% zurückgegangen. Dieser Rückgang lässt sich aber vor allem durch den Strukturwandel in den neuen Bundesländern erklären.

Um zu verstehen, warum sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß trotz großer Anstrengungen nicht verringert, ist es wichtig, die Entwicklung der gesamten Energieversorgung zu betrachten. Es verzerrt das Bild, wenn man, wie es sich eingebürgert hat, nur den Stromsektor betrachtet, da große Verschiebungen zwischen den einzelnen Sektoren vorgesehen sind. Wenn man beurteilen will, ob solche Verschiebungen realistisch sind, etwa beim Wechsel vom Verbrenner- zum Elektroauto, muss man das Gesamtsystem betrachten.

Abbildung 2 zeigt den Anteil der verschiedenen Energieträger an der primären Energieversorgung, ebenfalls für die letzten 10 Jahre, bezogen auf das Jahr 2010. Die oberen vier breiten Streifen der Abbildung zeigen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Kohle und Erdgas. Sie tragen den Großteil der Energieversorgung und sind damit die wesentliche Quelle des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. (Die Daten für 2020 sind noch nicht vollständig verfügbar.)



**Abb. 2.** Die Anteile der verschiedenen Energieträger an der gesamten (primären) Energieversorgung. Die Gesamtenergie im Jahr 2010 wurde auf 100% gesetzt. Quelle: BMWi.

Die unteren fünf schmalen Streifen in Abbildung 2 zeigen die nicht-fossilen Energieträger, von Kernkraft bis Sonnenkraft, deren Einsatz die CO<sub>2</sub>-Bilanz nicht belastet. Der Anteil dieser nicht-fossilen Energieträger im Jahr 2019 beträgt 20.5% (bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch), und hat sich in den letzten 10 Jahren kaum verändert, obwohl sich Deutschland im Klimapakt bis 2030 auf einen Anstieg dieses Anteils auf mindestens 40% verpflichtet hat (neben dem oben genannten 55% CO<sub>2</sub>-Rückgang).

Der Anstieg bei den erneuerbaren Energieträgern Wind- und Sonne musste die Kernenergie als Energiequelle teilweise ersetzen. Diese soll bis 2022 ganz abgeschaltet werden. Insgesamt ragen die erneuerbaren Energieträger (die vier untersten in Abbildung 2) im Jahr 2019 mit 15% zur Primärenergieversorgung bei. Der größte Anteil von 9% stammt dabei aus Biomasse (Holz, Klärgas, Biodiesel u.a.). Der Anteil von Wind- und Sonnenenergie beträgt nur bescheidene 3,2% bzw. 1,3%. Wasserkraft und Naturwärme (Wärmepumpen, Solar- und Geothermie) tragen mit 0,5% und 0,7% bei. Der Ressourceneinsatz zur Erstellung der Kraftanlagen und zur Bereitstellung der Brennstoffe ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt.

In Abbildung 2 ist die "Primärenergie" gezeigt, die in den eingesetzten Energieträgern steckt. Die Abbildung zeigt den jährlichen *Verbrauch* der Energievorräte. Die "Endenergie" hingegen ist der Anteil der Primärenergie, die beim Verbraucher ankommt (70% im Jahr 2019). Sie zeigt den *Nutzen* der Energie. Die Endenergie wird eingesetzt als Wärmeenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser (32%) und Prozesswärme in der Industrie (24%), und als mechanische Energie (39%), das meiste davon im Straßenverkehr. Die restlichen 5% gehen zu etwa gleichen Teilen in Beleuchtung und Datenverkehr.

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Endenergieverbrauch ist mit 20% höher als der oben genannte 15% Anteil am Primärenergieeinsatz. Der Grund hierfür ist, dass bei der Verstromung von fossilen Brennstoffen der Wirkungsgrad der Kraftwerke berücksichtigt werden muss und hier mehr Energie verloren geht. – Die vielfältigen Effizienzsteigerungen, die in den letzten Jahren bei der Energienutzung in vielen Bereichen erzielt wurden (Kraftfahrzeuge, Beleuchtung, Klima, EDV etc.), sind leider meist durch Mehrverbrauch kompensiert worden.

### **Missverständnisse**

Die in Abbildung 2 gezeigten 3% für die Windenergie lassen uns stutzen. Auf den ersten Blick scheinen sie in Widerspruch zu den Erfolgsmeldungen des Windkraftausbaus zu stehen, wonach jede Windkraftanlage im Mittel etwa tausend Haushalte mit Strom versorgt, was bei den 30 000 installierten Windrädern bereits 30 Millionen der insgesamt 41 Millionen Haushalte wären. Ist die Energiewende damit nicht schon fast geschafft?

Leider nein, denn selbst wenn heute alle Haushalte in Deutschland ihren Strom aus erneuerbaren Quellen bezögen, so wäre das noch immer erst ein kleiner Teil unseres Energieverbrauchs: Der derzeitige Anteil des Stroms an unserem Endenergieverbrauch beträgt nur knapp 20%, und der Haushaltsstrom macht von diesen 20% gerade mal ein Viertel, dh. 5% aus. In diesem Fall ist also der gemeldete Erfolg 20-mal größer (gleich Kehrwert von 5%) als der tatsächliche Erfolg.

Hinzu kommt: meist wird, zum Vergleich mit konventionellen Kraftwerken, die *installierte* Leistung von Sonnen- und Windkraftanlagen angegeben statt der tatsächlich produzierten *nutzbaren* Leistung. Die installierte Leistung einer Windkraftanlage ist viermal, die einer Photovoltaikanlage achtmal höher als die eigentlich interessierende im ganzjährigen Betrieb im Mittel gelieferte nutzbare Leistung. Die Beispiele in diesen beiden Abschnitten lassen ahnen, warum die öffentliche Wahrnehmung der bisherigen Energiewende so stark von dem in den Abbildungen 1 und 2 gezeigten Sachverhalt abweicht.

Hierbei ist noch nicht berücksichtigt, dass Wind- und Sonnenenergie heute und in absehbarer Zukunft nicht voll nutzbar sind. Grund hierfür sind insbesondere die starken jahreszeitlichen und Tag-Nacht Schwankungen von Wind und Sonne, selbst wenn diese durch internationale Vernetzung etwas ausgemittelt werden können. Wegen der unvermeidlichen Dunkelflauten, in denen es weder Sonne noch Wind gibt, muss für alle Wind- und Sonnenkraftanlagen eine entsprechende Anzahl fossiler Kraftwerke vorgehalten werden. Dies gilt, solange es noch keine ausreichenden Stromspeicher gibt.

### **Lösungsansätze und Fazit**

Die bisherigen großen Anstrengungen beim Aufbau der erneuerbaren Energien haben in den letzten 10 Jahren kaum zu einem Rückgang der CO<sub>2</sub> Emissionen in Deutschland geführt. Der Zuwachs der Erneuerbaren und die Steigerung der Energieeffizienz haben gerade dazu gereicht, den mit dem wachsenden Bruttosozialprodukt einhergehenden steigenden Energiebedarf zu kompensieren. Ein Weiter so mit mehr vom Gleichen wird nicht genügen, um die gesteckten

Klimaziele zu erreichen. Ein nur auf den positiven Zahlen der Stromversorgung beruhender Zweckoptimismus führt zu Fehlinvestitionen und Enttäuschungen.

Bei der *Energieversorgung* sind keine Wunder zu erwarten, aber eins ist sicher: die Strategien der Zukunft sollten ergebnisoffen sein und nicht fixiert auf den Ausbau fest vorgegebener Technologien, weil letzteres die Entwicklung neuer Ideen blockieren kann.

Schon heute ist klar, dass das weltweite Potenzial der Sonnenenergie sehr groß ist und besser genutzt werden sollte, ggf. in Kombination mit der Erzeugung speicherbaren und transportablen Wasserstoffs. In den äquatornahen Wüsten der Erde stehen große Flächen für den Einsatz von Solarkraftwerken zur Verfügung, und auch für die Windenergie gibt es deutlich günstigere Standorte als das relativ windstille deutsche Binnenland. Zu bedenken ist auch, dass die Zwischenspeicherung der elektrischen Energie eines Windrades in Form von Wasserstoff und deren Rückgewinnung in voller Höhe gegenwärtig den Betrieb von fünf Windrädern erfordert.– Die Gefahren der Kernkraft (Kernspaltung oder Kernfusion) sollten zudem im Vergleich zu den Gefahren des Klimawandels bewertet werden. Die in mehreren Industrienationen entwickelten Brutreaktoren erzeugen übrigens nicht nur CO<sub>2</sub>-freien, sondern auch nachhaltigen Strom, bei nur wenigem langlebigem Abfall.

Weitaus stärkere Aufmerksamkeit sollten *Energieeinsparungen* erfahren: Energieeinsparungen führen unmittelbar zu einer Senkung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes und zudem zu einer Senkung der Energiekosten. Energieeinsparungen schaffen damit nicht zuletzt auch die finanziellen Spielräume, um an anderer Stelle in die Energiewende zu investieren, z.B. für den Bau energieeffizienter Wohnungen, oder um die Schäden des Klimawandels zu mildern. Würde beispielsweise im Verkehr 14% weniger Kraftstoff verbraucht, so sparte dies mehr Energie ein, als alle Windkraftanlagen liefern. Stattdessen wurde die Leistung der neu zugelassenen PKW in den vergangenen 10 Jahren im Mittel um 18% erhöht, ihre Anzahl um 11%.

In Anbetracht des in den Abbildungen 1 und 2 gezeigten Standes der Dinge ist es für uns schwer vorstellbar, dass unser heutiger Energiebedarf aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Energieeinsparung in allen Bereichen muss deshalb das oberste Ziel sein. Hier muss Deutschland als Hochtechnologieland vorangehen.



Prof. Dr. Dr. h.c. Dirk Dubbers, Prof. Dr. Johanna Stachel, Prof. Dr. Ulrich Uwer  
Physikalisches Institut der Universität Heidelberg

(siehe auch den Anhang nächste Seite)

## Anhang

Für den interessierten Laien folgen einige weitere Zahlen zur Energiewende.

Zur *Bioenergie*: Biomasse wird seit Urzeiten energetisch genutzt und liefert in Deutschland im Mittel 1,5 Watt je Quadratmeter Anbaufläche.

Zur *Sonnenenergie*: Eine Photovoltaikanlage erreicht bei senkrechtem ungestörtem Lichteinfall zur Mittagszeit im Hochsommer eine installierte oder Nennleistung von 150 Watt-peak je Quadratmeter, über das Jahr gemittelt sind es in Deutschland aber nur 17 Watt/m<sup>2</sup>, entsprechend einer Jahresernte von 150 kWh/m<sup>2</sup>.

Zur Einordnung: Ein Haarfön oder ein Tauchsieder haben typisch 2000 Watt (2 kW) Leistungsaufnahme. Das Heidelberger Solarschiff Neckarsonne benötigt bei voller Fahrt 54 kW, hat aber nur ca. 20 Quadratmeter Solarzellen mit schrägem Lichteinfall, die bestenfalls 1 kW beisteuern, das reicht kaum für die Bordküche. Das Solarschiff bezieht daher praktisch alle Energie aus dem öffentlichen Stromnetz.

Zur *Windenergie*: Im Jahresmittel beträgt die installierte Nennleistung einer durchschnittlichen Windkraftanlage 2060 kW, die tatsächliche Leistung beträgt 507 kW. Davon kommen 370 kW beim Verbraucher an.

Um ein Gefühl für die Größe dieser Zahlen zu bekommen: Im Vergleich zur Nennleistung einer Windkraftanlage, nach heutigem Stand 2060 kW, beträgt die Nennleistung eines neu zugelassenen PKW heute laut Kraftfahrt-Bundesamt im Mittel bei 111 kW, bei typisch 30% Wirkungsgrad entspricht das einer Eingangsleistung von  $111 \text{ kW} / 30\% = 370 \text{ kW}$ . Natürlich ist nicht jeder PKW ständig unter Volllast unterwegs, aber angesichts eines Bestands von heute 46 Millionen PKW würde hierfür eine große Anzahl weiterer Windräder gebraucht. Der grüne Strom kann aber nur einmal genutzt werden, und muss bereits für den Ersatz der Kernkraft erhalten. Elektroautos werden daher ihren Strom auf längere Sicht aus konventionellen fossilen Kraftwerken beziehen, und der oft zitierte, etwa dreifache Effizienzgewinn des Elektromotors gegenüber dem Benzinmotor geht durch die geringe Effizienz der fossilen Stromerzeugung größtenteils wieder verloren. Elektroautos, so attraktiv sie sein mögen, werden daher in den kommenden Jahren nur wenig zur Energiewende beitragen.