

## Energiewende: Fakten, Missverständnisse, Lösungen – ein Kommentar aus der Physik

Die Energiewende soll den fortschreitenden Klimawandel aufhalten. Zu diesem Zweck hat sich Deutschland im Klimapakt der Europäischen Union verpflichtet, den Ausstoß klimaschädlicher Gase bis 2050 um 80% bis 95% zu verringern. Als Zwischenziel soll laut Bundesministerium für Umwelt (BMU) bis 2030, das heißt in etwa zehn Jahren, deren Ausstoß gegenüber heute um gut 40% gesenkt werden.

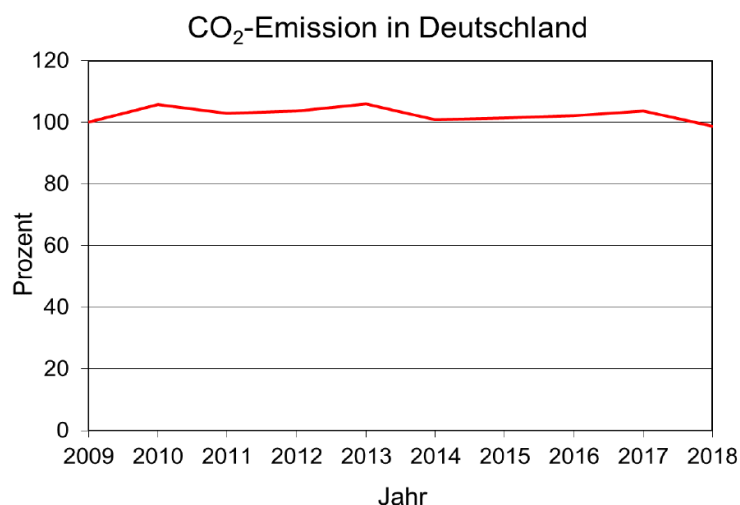
Quelle: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutz\\_in\\_zahlen\\_klimaziele\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_klimaziele_bf.pdf)

### Fakten

Um abschätzen zu können, wie realistisch dieses 40%-Zwischenziel ist, muss man als erstes einen Blick zurückwerfen: Was wurde in der gleichen Zeitspanne, d.h. in den vergangenen zehn Jahren, beim Klimaschutz in Deutschland erreicht, nachdem erheblich in den Ausbau von Wind und Sonnenkraftanlagen investiert wurde? Die Antwort fällt ernüchternd aus – der Ausstoß klimaschädlicher Gase ist seither unverändert, abgesehen von kleinen zufälligen Schwankungen.

Abbildung 1 zeigt die Daten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß. (Kohlendioxid hat mit 88% den größten Anteil an den klimaschädlichen Gasen, gerechnet in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.)

Tafel 10 in: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, für 2018 siehe auch: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#statusquo>



**Abb. 1.** Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den letzten 10 Jahren. Der Ausstoß im Jahr 2009 wurde auf 100% gesetzt.

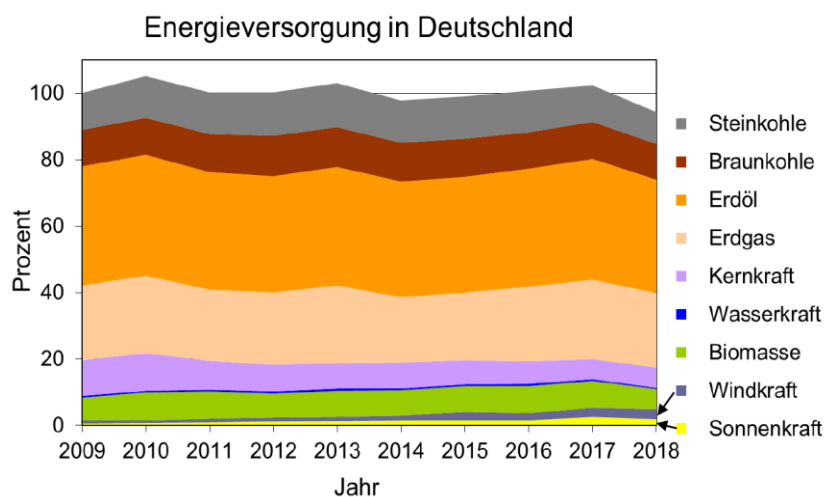
Zwar ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in den Jahren nach der Wiedervereinigung leicht zurückgegangen (um 25%), weshalb 1990 gern als Referenzdatum genommen wird. Dieser Rückgang lag jedoch vor allem an der Deindustrialisierung der neuen Bundesländer. Die in der Abbildung sichtbare geringfügige Abnahme im Jahr 2018, ausgelöst durch den vorangegangenen milden Winter, wurde in den Medien gebührend gefeiert.

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 dieser nur 17% des gesamten Energiesektors ausmacht. Außerdem sind große Verschiebungen zwischen den

einzelnen Sektoren vorgesehen, und wenn man beurteilen will, ob eine solche Verschiebung möglich ist (etwa beim Wechsel vom Benzin- zum Elektroauto), muss man das Gesamtsystem betrachten.

Abbildung 2 zeigt den Anteil der verschiedenen Energieträger an der Energieversorgung, ebenfalls für die letzten zehn Jahre. Die oberen vier breiten Streifen der Abbildung zeigen die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas. Sie tragen den Großteil der Energieversorgung und sind die wesentliche Quelle des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Tafeln 4 und 20 in: <http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>, für 2018 s. auch: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#statusquo>



**Abb. 2.** Die Anteile der verschiedenen Energieträger an der gesamten Energieversorgung. Die Gesamtenergie im Jahr 2009 wurde auf 100% gesetzt.

Die unteren fünf schmalen Streifen in Abbildung 2 zeigen die nicht-fossilen Energieträger, von Kernkraft bis Sonnenkraft, deren Betrieb die CO<sub>2</sub>-Bilanz nicht belastet. Der Anteil dieser nicht-fossilen Energieträger an der Gesamtenergie des betreffenden Jahres (20%) hat sich seither praktisch nicht verändert, obwohl sich Deutschland bis 2030 auf einen Anstieg dieses Anteils auf mindestens 30% verpflichtet hat (neben dem oben genannten 40% CO<sub>2</sub>-Rückgang). Absolut ist diese CO<sub>2</sub>-freie Energie seit 2009 sogar leicht zurückgegangen (um 13%).

Die nicht-fossilen Energieträger im Einzelnen: Die Kernenergie, 2018 bei 6,5%, soll bis 2022 auf null zurückgefahren werden, was die CO<sub>2</sub>-Bilanz weiter belasten wird. Die Wasserkraft, im Diagramm kaum sichtbar, ist mit 0,5% seit Jahrzehnten unverändert und hierzulande kaum noch auszubauen. Die Biomasse (Holz, Klärgas, Biodiesel u.a.) hat mit 7% Anteil in letzter Zeit wieder abgenommen und gilt wegen der Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion als ausgereizt. Die Windkraft, am unteren Rand der Abbildung, trägt 3,5% bei, Photovoltaik und Naturwärme 1,3% und 0,7%. Zur Naturwärme gehören Wärmepumpen, Solar- und Geothermie.

Die in Abbildung 2 gezeigte bereitgestellte Energie wird genutzt als Wärmeenergie für Heizung/Kühlung und Warmwasser (2018 zu 32%) und als Prozesswärme in der Industrie (24%). Ein großer Teil fließt als mechanische Energie in den Straßenverkehr (38%). Die restlichen 5% gehen zu etwa gleichen Teilen in Beleuchtung und Datenverkehr.

### Missverständnisse

Die in Abbildung 2 gezeigten 3,5% für die Windenergie lassen uns stutzen. Beliefert nicht eine einzige Windkraftanlage mehr als tausend Haushalte mit Strom, wie man landauf landab hört?

Wenn jedes der 30 000 installierten Windrädern mehr als 1000 Haushalte versorgt, dann erfasst die Energiewende bereits mehr als 30 Millionen der insgesamt 41 Millionen Haushalte. Ist die Energiewende damit nicht schon fast geschafft, und widerspricht dies nicht dem in Abbildung 2 gezeigten Befund?

Nein, denn hier trifft man auf das erste Missverständnis: selbst wenn alle Haushalte in Deutschland ihren Strom aus erneuerbaren Quellen bezögen, so wären erst 5% oder 1/20 des 80%-Ziels zur Klimagasvermeidung bis 2050 geschafft. Der Beitrag der Windkraft zur Energiewende sieht nur riesig aus, da er in Einheiten der kleinen "Münze" Haushaltsstrom angegeben wird. (Kleine Nebenrechnung: Der Stromverbrauch der privaten Haushalte beträgt 22% des gesamten Stromverbrauchs, dieser wiederum beträgt 17% des gesamten Energieeinsatzes, und 22% von 17%, bezogen auf das 80%-Ziel, ergibt 5%).

Das nächste Missverständnis: meist wird in den Medien, zum Vergleich mit konventionellen Kraftwerken, die installierte Leistung von Sonnen- und Windkraftanlagen angegeben statt der tatsächlich produzierten nutzbaren Leistung. Die tatsächlich im ganzjährigen Betrieb im Mittel gelieferte nutzbare Leistung einer Windkraftanlage ist nur ein Sechstel, die einer Photovoltaikanlage ein Achtel der installierten Leistung. (Ihre installierte Leistung erreichen Solarzellen bei senkrechtem ungetrübtem Einfall des Sonnenlichts, und Windräder bei der selten auftretenden Windstärke sechs. Die installierte Leistung eines Windrades mag den verantwortlichen Sicherheitsingenieur interessieren, für die Energiebilanz ist sie nicht die entscheidende Größe.)

Wie man sieht, lassen sich beliebige Erfolgszahlen zu Wind- und Sonnenkraft in die Welt setzen. Setzt man zum Beispiel die *installierte* Leistung aller Windkraftanlagen in Beziehung zum Stromverbrauch aller Haushalte, so gewinnt man sofort einen Wert, der  $6 \times 20 = 120$  mal höher ist als der eigentlich interessierende Anteil der *nutzbaren* Leistung der Windkraft am gesamten Energieeinsatz. – Diese Beispiele lassen ahnen, warum die Bilanz der bisherigen Energiewende so ernüchternd ausfällt.

In Abbildung 2 ist nicht berücksichtigt, dass Wind- und Sonnenenergie heute und in absehbarer Zukunft nicht voll nutzbar sind. Grund hierfür sind die starken jahreszeitlichen und Tag-Nacht Schwankungen von Wind und Sonne. Wegen der unvermeidlichen Dunkelflauten, in denen es weder Sonne noch Wind gibt, müssen für alle Wind- und Sonnenkraftanlagen eine entsprechende Anzahl fossiler Kraftwerke vorgehalten werden.\*)

\*) Weitere Quellennachweise zu den Zahlen und Angaben im gesamten Text finden sich in einer früheren Version des Artikels: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/23776/383/energiewende-web-2017-10-08.pdf>

## Lösungen

Ein Weiter so mit mehr vom Gleichen wird nur wenig am CO<sub>2</sub>-Verlauf ändern. Im Folgenden sind einige Alternativen zur gegenwärtigen Strategie gegen den Klimawandel aufgeführt.

### Vorbemerkungen

- Um im demokratischen Prozess die richtigen Entscheidungen zu treffen ist es wichtig, der Öffentlichkeit die korrekten Zahlen vorzulegen. Ein auf selektiven Zahlen beruhender Zweckoptimismus führt zu Fehlinvestitionen und Enttäuschungen.
- Ein vernünftiger Lösungsansatz muss ergebnisoffen sein, statt festen Vorgaben zu folgen. Man sollte insbesondere nicht allein den Wünschen der Industrie folgen: Die Industrie bevorzugt teure Lösungen, solange diese von der Allgemeinheit bezahlt werden.
- Die wichtigen Fragen zur CO<sub>2</sub> Bepreisung überlassen wir den Fachleuten aus den Wirtschaftswissenschaften.

### *Energieeinsparungen*

- Mit Energieeinsparungen wird Geld eingespart, statt es wenig effizient auszugeben: Würde beispielsweise im Verkehr 13% weniger Kraftstoff verbraucht, so spart dies mehr Energie ein, als alle Windkraftanlagen liefern, zur Quelle siehe. oben \*)
- Das eingesparte Geld kann z.B. für den Bau energieeffizienter Wohnungen eingesetzt werden.

### *Zukünftige Energieversorgung*

- In Deutschland selbst sind die Flauten in der Sonneneinstrahlung noch stärker ausgeprägt als die Windflauten, aber das *weltweite* Potenzial der Sonnenenergie sollte besser genutzt werden. (Das Potential der Sonnenenergie ist mehr als hundertmal größer als das der Windkraft. Dies liegt daran, dass auch der Wind durch Sonneneinstrahlung getrieben wird, der in Wind umgesetzte Anteil der Sonnenenergie aber sehr klein ist. In den südlichen Wüsten der Erde stehen große Flächen für den Einsatz von Solarzellen zur Verfügung. Für mit Sonnenwärme arbeitende Kraftwerke hingegen ist dort der Mangel an Kühlwasser hinderlich, denn ein Thermalkraftwerk braucht ein "kaltes Ende", sonst geht seine Effizienz gegen Null. \*)
- Die Gefahren der Kernkraft (Kernspaltung oder Kernfusion) sollten im Vergleich zu den Gefahren des Klimawandels bewertet werden. Die in verschiedenen Industrienationen entwickelten Brutreaktoren sind übrigens nicht nur CO<sub>2</sub>-frei, sondern auch erneuerbar.

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/schneller-brueter-in-russland-laeuft-jetzt-voller-leistung/>

### *Schlussbemerkungen*

Die Studien verschiedener Behörden und Agenturen kommen zu dem Schluss, dass man mit Wind- und Sonnenenergie, verbunden mit dem Einsatz von Elektroautos den klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 95% verringern kann, selbst bei unverminderter Verkehrsleistung. Ob diese Planungen realistisch sind, muss jeder für sich selbst entscheiden: im Mittel, über Stadt und Land verteilt, erfordern sie alle zwei Kilometer ein Windrad, sowie zusätzlich Solarzellen über eine Fläche von mehr als tausend Quadratkilometern\*)

Es ist auf jeden Fall schwer vorzustellen, dass der heutige Energiebedarf ganz aus erneuerbaren Energien gedeckt werden kann. Energieeinsparung in allen Bereichen muss deshalb das oberste Ziel sein. Hier muss Deutschland als Hochtechnologieland vorangehen.

N.B.: Die benötigte Energie ist das Produkt aus Prokopfverbrauch und Bevölkerungszahl. Während klar ist, dass der Prokopfverbrauch erheblich sinken muss, wird ein Bevölkerungsrückgang hierzulande als Unglück angesehen. Die Frage des Wachstums der Weltbevölkerung insgesamt sollte unbefangen diskutiert werden – notfalls wird sich die Natur zu wehren wissen. Unser Energieverbrauch ist allerdings weder auf zehn noch auf fünf Milliarden Menschen ausweitbar.



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 im Mittel 1,5 Watt je Quadratmeter Anbaufläche.

Zur *Sonnenenergie*: Eine Photovoltaikanlage kann bei senkrechten Lichteinfall zur Mittagszeit im Hochsommer eine Leistung von 100 Watt je Quadratmeter erreichen, über das Jahr gemittelt sind es in Deutschland aber nur 15 Watt/m<sup>2</sup>.

Zum Vergleich: Ein Haarfön oder ein Tauchsieder haben typisch 2000 Watt Leistungsaufnahme. Das Heidelberger Solarschiff "Neckarsonne" benötigt bei voller Fahrt 54000 Watt (54 Kilowatt), hat aber nur 20 Quadratmeter Solarzellen mit schrägen Lichteinfall, die bestenfalls ein Kilowatt (1 kW) beisteuern, das reicht kaum für die Bordküche. Das Solarschiff bezieht daher die meiste Energie aus dem öffentlichen Stromnetz.

Zur *Windenergie*: Im Jahresmittel beträgt die tatsächliche Leistung einer durchschnittlichen Windkraftanlage gegenwärtig 451 kW.

Zum Vergleich: Die Leistung eines neu zugelassenen PKW hat sich laut Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) in den vergangenen 10 Jahren im Mittel um 18% erhöht (von 96 auf 111 kW), ihre Anzahl um 11%. Der Anteil der CO<sub>2</sub>-ärmeren Diesel hingegen ist innerhalb von drei Jahren von 50% auf 29% gesunken. Bei typisch 30% Wirkungsgrad benötigt ein PKW unter Volllast 111 kW/30% = 370 kW Eingangsleistung. Dieser Wert ist von ähnlicher Größe wie die mittlere 451 kW-Leistung einer einzelnen Windkraftanlage. Angesichts eines Bestands von heute 47 Millionen PKW (plus 8% in sechs Jahren) werden Elektroautos daher ihren Strom auf lange Sicht praktisch ganz aus konventionellen fossilen Kraftwerken beziehen. Der grüne Strom kann eben nur einmal genutzt werden, und muss bereits für den Ersatz der Kernkraft herhalten. Daher tragen Elektroautos, so attraktiv sie sein mögen, praktisch nichts zur Energiewende bei.

[https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Motorisierung/n\\_motorisierung\\_pkw\\_zeitreihe\\_techn\\_merkmale.html?nn=652392](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Motorisierung/n_motorisierung_pkw_zeitreihe_techn_merkmale.html?nn=652392)

<https://de.statista.com/infografik/10534/anteil-von-benzin-und-diesel-an-pkw-neuzulassungen-in-deutschland/>