

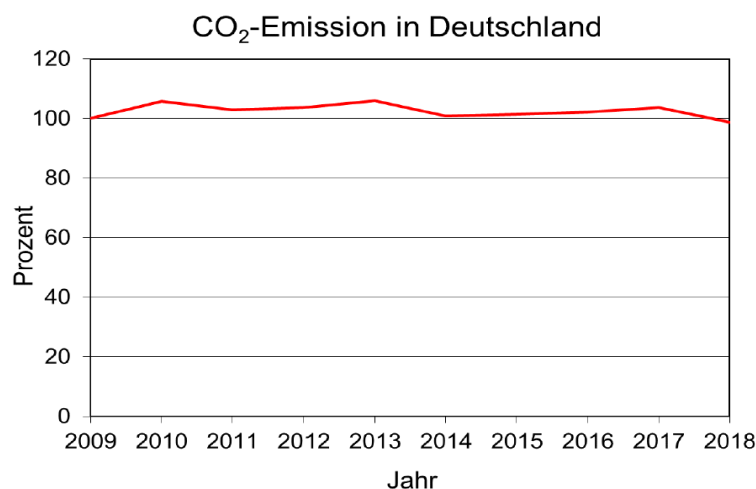
## Energiewende: Fakten, Missverständnisse, Lösungen – ein Kommentar aus der Physik

Die Energiewende soll den fortschreitenden Klimawandel aufhalten. Zu diesem Zweck hat sich Deutschland im Klimapakt der Europäischen Union verpflichtet, den Ausstoß klimaschädlicher Gase, insbesondere von Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , bis 2050 um 80% bis 95% zu verringern. Als Zwischenziel soll bis 2030, das heißt in etwa zehn Jahren, deren Ausstoß gegenüber heute um gut 40% gesenkt werden. Grund hierfür ist, dass der Ausstoß von  $\text{CO}_2$  stetig ansteigt, vorwiegend zivilisationsbedingt, was zur Klimaerwärmung führt. Dafür liegen inzwischen überwältigende wissenschaftliche Ergebnisse vor. Diese sind nicht Teil unserer Analyse, vielmehr erörtern wir vor diesem Hintergrund die Wirksamkeit der gegenwärtigen Strategie der Energiewende.

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

### 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  $\text{CO}_2$ -Ausstoß.



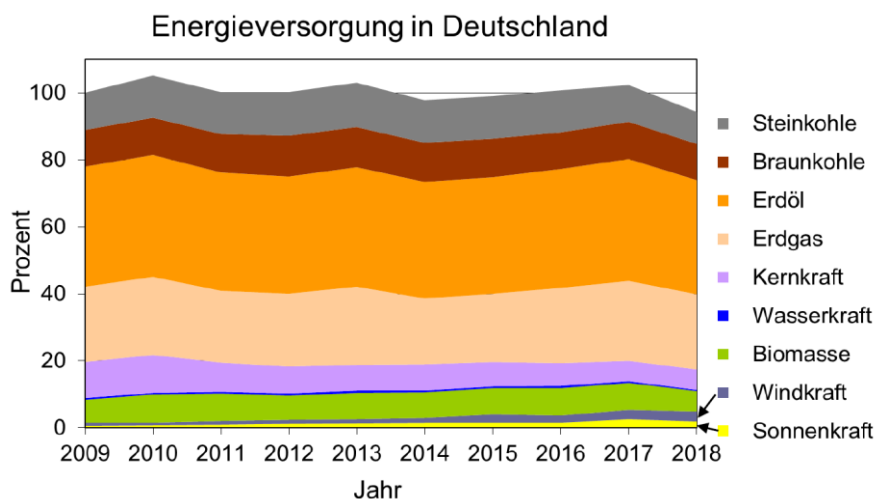
**Abb. 1.** Der  $\text{CO}_2$ -Ausstoß in den letzten 10 Jahren. Der Ausstoß im Jahr 2009 wurde auf 100% gesetzt. Quelle: BMWi.

Zwar ist der  $\text{CO}_2$ -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  $\text{CO}_2$ -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 19% 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.



**Abb. 2.** Die Anteile der verschiedenen Energieträger an der gesamten Energieversorgung. Die Gesamtenergie im Jahr 2009 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 an der Gesamtenergie des betreffenden Jahres (20%) hat sich seither praktisch nicht verändert, obwohl sich Deutschland im Klimapakt 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>-arme Energie seit 2009 sogar leicht zurückgegangen (um 1%). (Der Energie- und Ressourceneinsatz bei der Erstellung der Kraftanlagen fällt für alle Energieträger ebenfalls ins Gewicht, ist aber nicht Gegenstand unserer kurzen Abhandlung.)

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 9% Anteil in letzter Zeit wieder leicht abgenommen. Die Windkraft, am unteren Rand der Abbildung, trägt 3% bei, Photovoltaik und Naturwärme 2% (1,3% plus 0,7%). Zur Naturwärme gehören Wärmepumpen, Solar- und Geothermie.

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 (2018 sind das 69%). Sie zeigt den *Nutzen* der Energie. Die Endenergie wird eingesetzt als Wärmeenergie für Heizung/Kühlung und Warmwasser (32%) und Prozesswärme in der Industrie (24%), und als mechanische Energie (38%), das meiste davon im Straßenverkehr. Die restlichen 5% gehen zu etwa gleichen Teilen in Beleuchtung und Datenverkehr.

Zur Endenergie tragen Wind und Sonne in gleichem Maße bei wie zur Primärenergie, während der Anteil der fossilen Energieträger um ca. 20% reduziert ist, die Kernenergie sogar um ca. 60% (was unerheblich ist, da sie bald abgeschaltet wird). Der Anteil der Erneuerbaren ist daher bei der Endenergie etwas höher (16%) als bei der Primärenergie (12%, für 2017).

## Missverständnisse

Die in Abbildung 2 gezeigten 3% 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 6% 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 25% des gesamten Stromverbrauchs, dieser wiederum beträgt 19% des gesamten Energieeinsatzes, und 25% von 19%, bezogen auf das 80%-Ziel, ergibt 6%).

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 Viertel, die einer Photovoltaikanlage ein Achtel der installierten Leistung. (Ihre installierte Leistung erreichen Solarzellen bei senkrechtem ungetrübtem Einfall des Sonnenlichts, Windräder werden bei Windstärke zehn – schwerer Sturm – zur Vermeidung von Überlastung die Flügel aus dem Wind gedreht. Die installierte Leistung eines Windrades mag den verantwortlichen Sicherheitsingenieur interessieren, für die Energiebilanz ist sie nicht die entscheidende Größe.)

Wie man sieht, lassen sich mancherlei Erfolgswahlen 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  $4/6\% = 70$  mal größer ist als die eigentlich interessierende *nutzbare* Leistung der Windkraft am gesamten Energieeinsatz. – Diese Beispiele lassen ahnen, warum die Bilanz der bisherigen Energiewende so ernüchternd ausfällt.

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 ausreichende Stromspeicher noch in weiter Ferne liegen.

## 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 12% weniger Kraftstoff verbraucht, so sparte dies mehr Energie ein, als alle Windkraftanlagen liefern. Zum Vergleich: Die Leistung der neu zugelassenen PKW hat sich in den vergangenen 10 Jahren im Mittel um 18% erhöht, ihre Anzahl um 11%.
- Das eingesparte Geld kann z.B. für den Bau energieeffizienter Wohnungen eingesetzt werden, oder um die Schäden des Klimawandels zu mildern.

### *Zukünftige Energieversorgung*

- Das weltweite Potenzial der Sonnenenergie ist sehr groß und sollte besser genutzt werden, insbesondere in Kombination mit Elektrolyse zur 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. Weitere Forschung tut not.
- Die Gefahren der Kernkraft (Kernspaltung oder Kernfusion) sollten 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.

### *Schlussbemerkungen*

Die Studien verschiedener Behörden und Agenturen kommen zu dem Schluss, dass man bis 2050 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 gängigen Szenario erfordert allein die "onshore" angesetzte Windenergie im Mittel, über Stadt und Land verteilt, alle 2.5 Kilometer ein Windrad. Für die Sonnenenergie sind zusätzlich Solarzellen mit einer Zellenfläche von mehr als tausend Quadratkilometern erforderlich. Dies obwohl alle Vorteile der "Sektorkopplung" (Kraft-Wärmekopplung, Wärmepumpen und -speicher usw.) einbezogen sind.

Es ist auf jeden Fall schwer vorstellbar, 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.

Zu beachten: Die benötigte Energie ist das Produkt aus Prokopfverbrauch und Bevölkerungszahl. Während klar ist, dass der deutsche Prokopfverbrauch erheblich sinken muss, wird ein Bevölkerungsrückgang hierzulande als Unglück angesehen. Die Frage des Wachstums der Weltbevölkerung insgesamt sollte unbefangen diskutiert werden – andernfalls 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 in Deutschland im Mittel 1,5 Watt je Quadratmeter Anbaufläche.

Zur *Sonnenenergie*: Eine Photovoltaikanlage kann bei senkrechtem Lichteinfall zur Mittagszeit im Hochsommer eine Leistung von 140 Watt je Quadratmeter erreichen, über das Jahr gemittelt sind es in Deutschland aber nur 17 Watt/m<sup>2</sup>.

Zur Einordnung: Ein Haarfön oder ein Tauchsieder haben typisch 2000 Watt (2 kW) Leistungsaufnahme. Das Heidelberger "Solar"schiff Neckarsonne benötigt bei voller Fahrt 54 kW, hat aber nur ca. 20 Quadratmeter Solarzellen mit schrägen 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 Leistung einer durchschnittlichen Windkraftanlage 1900 kW, die tatsächliche Leistung beträgt 440 kW. Davon kommen 350 kW beim Verbraucher an.

Um ein Gefühl für die Größe dieser Zahlen zu bekommen: Die Leistung eines neu zugelassenen PKW liegt heute laut Kraftfahrt-Bundesamt im Mittel bei 111 kW. Bei typisch 30% Wirkungsgrad benötigt ein PKW unter Vollast daher  $111 \text{ kW} / 30\% = 370 \text{ kW}$  Eingangsleistung. Natürlich ist nicht jeder PKW ständig mit Höchstgeschwindigkeit unterwegs, sondern im Mittel teilen sich dreihundert Elektroautos ein Windrad (die Autos in der Garage mitgezählt). Aber angesichts eines Bestands von heute 46 Millionen PKW würden hierfür weit mehr als hunderttausend weitere Windräder gebraucht (der Gesamtverkehr bräuchte elektrifiziert rund das Doppelte). Der grüne Strom kann aber nur einmal genutzt werden, und muss bereits für den Ersatz der Kernkraft erhalten. Elektroautos werden daher ihren Strom auch auf lange Sicht im Wesentlichen ganz aus konventionellen fossilen Kraftwerken beziehen. (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, tragen daher praktisch nichts zur Energiewende bei.