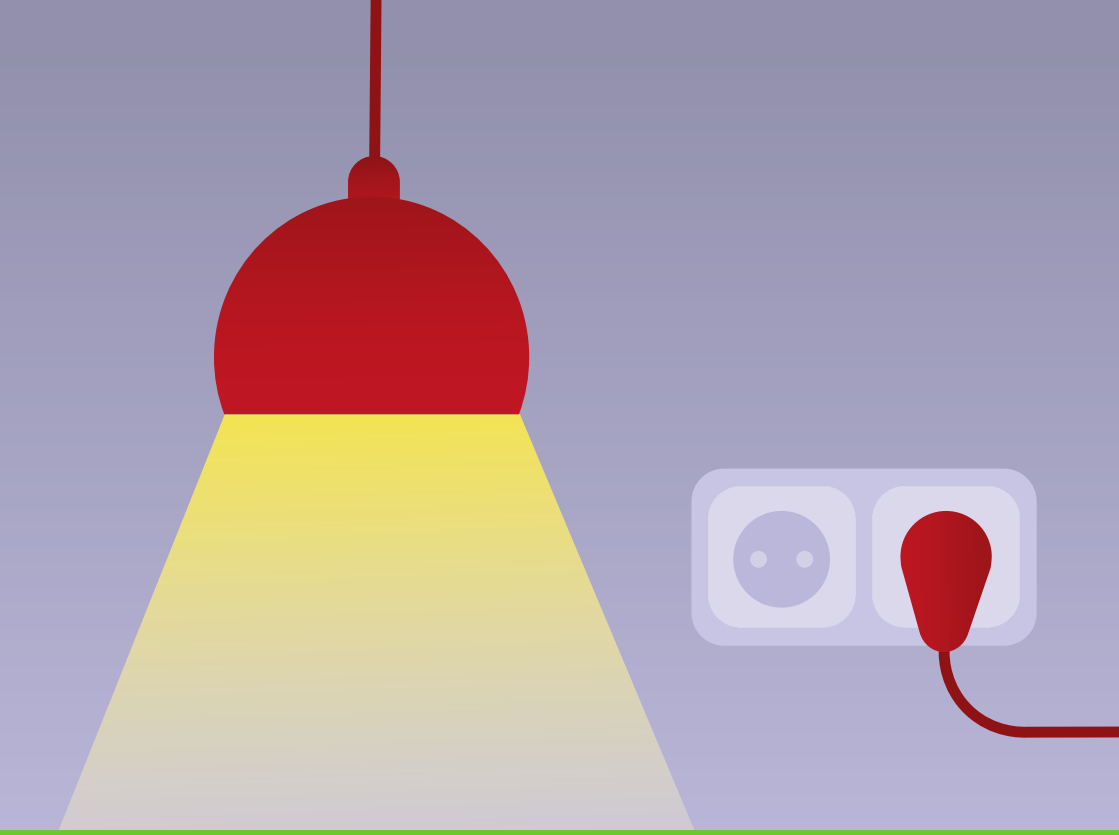


Elektrisierend!

15 Fakten über Strom

böll
FAKTEN

HEINRICH BÖLL STIFTUNG

Fakt Seite

Vorwort	2
01 – Wie viel Energie verbraucht Deutschland jährlich?	4–5
02 – Wie viel Strom wird in Deutschland produziert?	6–7
03 – Was ist der Vorteil von Ökostrom?	8–9
04 – Welchen Beitrag leisten Ökostromtarife zur Energiewende?	10–11
05 – Wie entsteht der Strompreis?	12–13
06 – Was sind Stromgestehungskosten, und warum sind sie wichtig?	14–15
07 – Brauchen wir ein neues Strommarktdesign?	16–17
08 – Welche Stromspeicher braucht das Zeitalter der Erneuerbaren?	18–19
09 – Kann die Digitalisierung die Energiewende beschleunigen?	20–21
10 – Warum muss das Stromnetz ausgebaut werden?	22–23
11 – Welche Bedeutung haben die Erneuerbaren für den Industriestandort Deutschland?	24–25
12 – Wie kann sich die Bevölkerung an der Stromwende beteiligen?	26–27
13 – Welche Auswirkungen hat die Energiewende auf den Arbeitsmarkt?	28–29
14 – Welche Rohstoffe benötigen wir im erneuerbaren Energiesystem?	30–31
15 – Wie sicher ist die Stromversorgung mit Erneuerbaren?	32–33
Verweise	34–36

Vorwort

Strom ist die Grundlage all unserer Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Aufgrund der Energiewende wird seine Bedeutung weiter zunehmen: Neben dem Umstieg auf Erneuerbare Energien im Stromsektor sollen in den Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie die Emissionen ebenfalls durch Elektrifizierung reduziert werden. Durch Elektromobilität, Wärmepumpen oder die Elektrifizierung von Industrieprozessen wird mehr Strom direkt genutzt; außerdem wird Strom in andere Energieträger wie z. B. Wasserstoff umgewandelt. Auf dem Weg zur Klimaneutralität ist erneuerbarer Strom ein zentraler Hebel. Unser Bedarf wird stark steigen, weshalb ein massiver Ausbau Erneuerbarer Energien erforderlich ist. Die Menschen in Deutschland unterstützen den Ausbau mit großer Mehrheit. Der Umstieg auf die Erneuerbaren und auf ein flexibles Stromversorgungssystem ist der Grundpfeiler für die Erneuerung unseres Wohlstands und die ökologische Modernisierung des Industriestandortes Deutschland. Eine klimafreundliche Stromversorgung hilft, die Lebensgrundlagen auf diesem Planeten zu erhalten. In sozialer Hinsicht kann die Energiewende mehrfach wirksam sein: Erstens schafft sie viele Beteiligungsmöglichkeiten sowie Wertschöpfung und Arbeitsplätze; zweitens ist nachhaltige Stromversorgung ein Kernelement der Klimagerechtigkeit.

In der Debatte um die Umsetzung von Klimaschutz- und Energiewendemaßnahmen ist es wichtig, die Bedeutung einer klimafreundlichen Stromversorgung zu verstehen. Mit diesem Heft der Reihe Böll.Fakten wollen wir ein besseres Verständnis der Funktionsweise unserer Stromversorgung vermitteln und zeigen, wie sich der Aufbau eines erneuerbaren Stromsystems wirtschaftlich, sozial und ökologisch auswirkt.

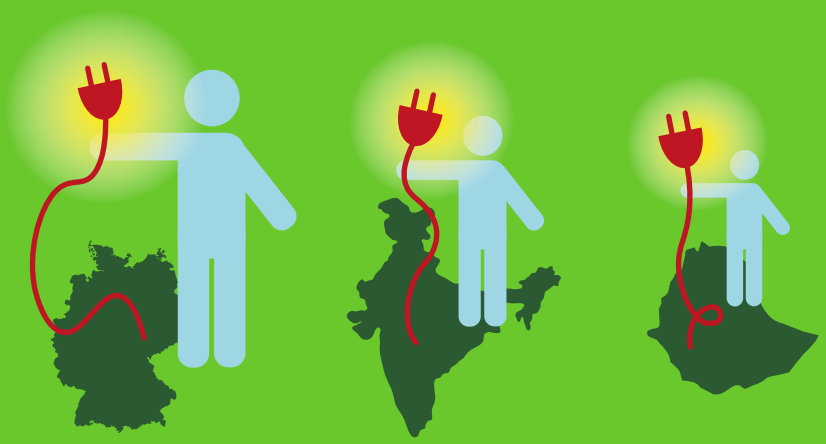
Anna Brehm
Referentin für Ökologie der Heinrich-Böll-Stiftung

15 Fakten über Strom

Deutschland ist mit über 400 Mio. Tonnen Steinkohleeinheiten das Land mit dem siebtgrößten Energieverbrauch auf der Welt.

Strom ist nur ein kleiner Teil der Energie, die wir verbrauchen; auch Wärme, Antriebskraft oder der Energieverbrauch in der Industrie müssen bilanziert werden. In Deutschland führen wir ein energieintensives Leben: Im Jahr 2022 wurden in der Bundesrepublik 11.829 Petajoule Energie[71] verbraucht. Dies entspricht 403,6 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten[72]: Statistisch beansprucht damit jeder der rund 84 Mio. Menschen in Deutschland[73] so viel Energie, wie bei der Verbrennung von 4,8 Tonnen Steinkohle frei werden. Im Vergleich zum Vorjahr ging der Energieverbrauch 2022 in der Bundesrepublik um 4,7 Prozent zurück[74] – er fällt damit auf den niedrigsten Stand seit der Wiedervereinigung. Energie wird zwar immer effizienter genutzt, trotzdem ging der Energieverbrauch seit der Wiedervereinigung insgesamt nur gering zurück.[75] Die Bundesrepublik ist damit heute das Land mit dem siebtgrößten Energieverbrauch[76] auf der Welt: hinter China, den USA, Indien, Russland, Japan und Kanada. Im Jahr 2021 gingen dabei 28 Prozent des Energieverbrauchs in Deutschland auf das Konto der Privathaushalte, 72 Prozent auf alle anderen Bereiche.[77] Weil Erneuerbare Energien lediglich mit 17,2 Prozent zum Endenergieverbrauch[78] beitragen,[79] ist der durchschnittliche CO_2-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland nach wie vor groß: 2022 lag er bei 10,8 Tonnen CO_2-Äquivalenten,[710] mehr als 60 Prozent über dem Weltdurchschnitt oder zwanzigmal mehr, als ein Mensch in Indien verursacht.[711] Rund 2,2 Tonnen Treibhausgase pro Kopf und Jahr[712] verursacht ein Mensch in Deutschland statistisch durch Wohnen, 2,2 Tonnen pro Kopf und Jahr entstehen durch unsere Mobilität, durch Ernährung fallen durchschnittlich 1,7 Tonnen an, 3,4 Tonnen durch sonstigen Konsum. Im Jahr 2022 war kein Rückgang bei den Emissionen in Deutschland zu beobachten.[713]

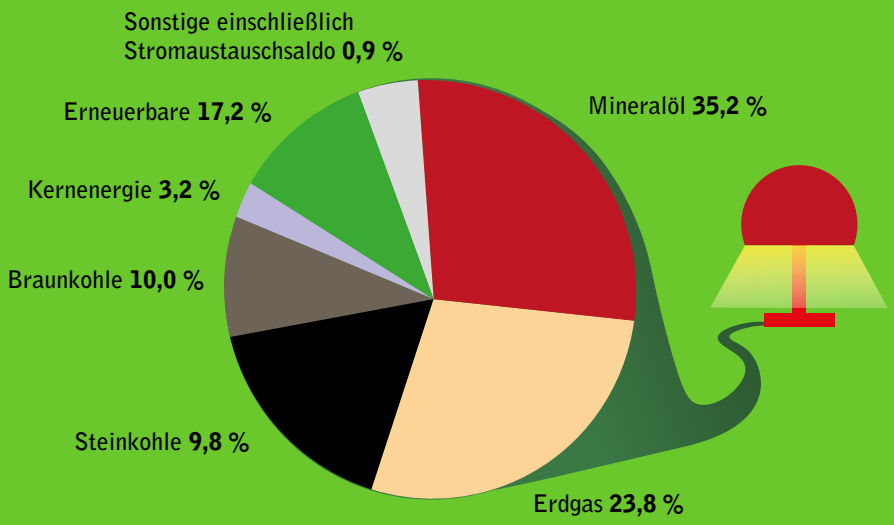
Energieverbrauch pro Kopf und Jahr 2021



In Deutschland
41.854 kWh

In Indien
7.063 kWh

In Äthiopien
927 kWh



Am Endenergieverbrauch in Deutschland hatten die Erneuerbaren 2022 lediglich einen Anteil von 17,2 Prozent.

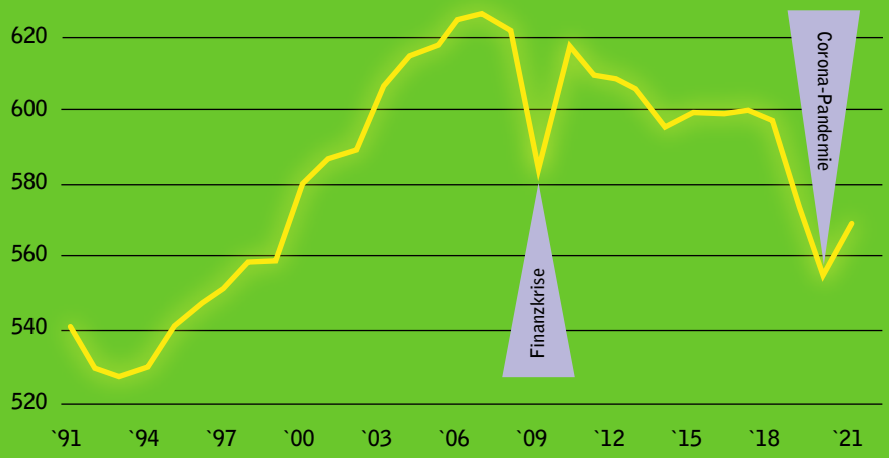
Quellen: https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-faellt-2022-auf-niedrigsten-stand-seit-der-wiedervereinigung/ und https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-energy-use (Zahlen gerundet)

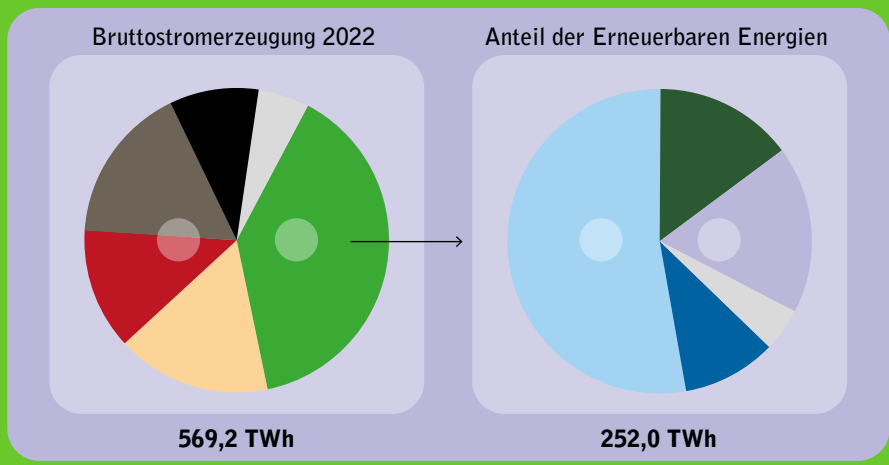
Fast 550 Mrd. Kilowattstunden Strom werden jährlich produziert, aber der Bedarf wird in den nächsten Jahren auf über 700 Mrd. steigen.

Nur knapp 17 Prozent der verbrauchten Energie wird hierzulande in Form von Strom genutzt. Im Jahr 2022 wurden in Deutschland knapp 549,8 Milliarden Kilowattstunden[114] (oder 549,8 Terawattstunden, TWh) Strom verbraucht. Das war weniger Strom als in den beiden Vorjahren, also auch weniger als 2020, als es wegen des harten Lockdowns einen Einbruch gab. Insgesamt ist der Stromverbrauch in Deutschland im letzten Jahrzehnt zurückgegangen. Die Stromerzeugung aus konventionellen Kraftwerken (Kohle, Gas, Atom) lieferte 2022 nach Erhebung der AG Energiebilanzen[115] 52 Prozent der Gesamtstromerzeugung in Deutschland, circa 4 Prozent weniger als im Vorjahr. Während die Kohle als Energieträger um 27 Prozent zulegte, nahmen Atomkraft (minus 45,5 Prozent) und Erdgas (minus 16,2 Prozent) stark ab. Die Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien stieg leicht auf einen Anteil von 43,9 Prozent. Der Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch hat sich damit in den letzten 10 Jahren fast verdoppelt.[116] Wie schon in den Jahren zuvor exportierten deutsche Stromproduzenten viel mehr Strom ins Ausland, als sie von dort importieren: nämlich 26,8 Terawattstunden, das sind rund 4,6 Prozent der hiesigen Stromproduktion. Seit Jahren ist Deutschland Nettostromexporteur. Die Bundesregierung erwartet, dass der Strombedarf bis zum Jahr 2030 auf ein Verbrauchsniveau von 680 bis 750 Terawattstunden steigen[117] wird. Grund dafür sind prognostizierte 15 Millionen Elektroautos,[118] die dann auf den Straßen rollen könnten, und 10 Gigawatt für Elektrolyseure, die grünen Wasserstoff erzeugen sollen, sowie die rund 6 Millionen Wärmepumpen, die dann in den Häusern Wärme spenden dürften. Auch die zunehmende Digitalisierung und die Elektrifizierung von Industrieprozessen erhöhen den Strombedarf. Es gibt aber in Deutschland auch noch großes Potential, durch Energieeffizienz Strom einzusparen.

Bruttostromverbrauch in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2021 (in TWh)

Böll.Fakten Strom





- Erneuerbare 43,9 %
- Braunkohle 20,1 %
- Steinkohle 11,3 %
- Erdgas 13,3 %
- Kernenergie 6,5 %
- Sonstige 4,9 %
- Wind 22,0 %
- Photovoltaik 10,4 %
- Biomasse 7,5 %
- Wasser 2,9 %
- Sonstige 1,1 %

Entwicklung des Stromverbrauchs in Deutschland

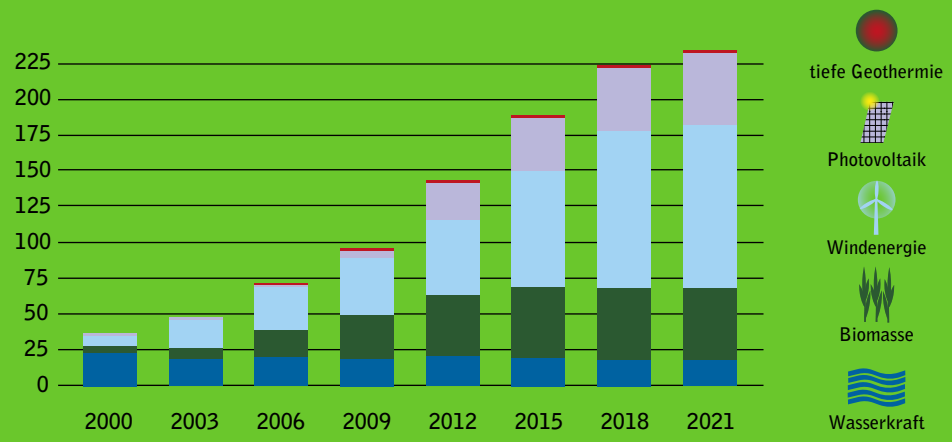
Quellen: https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/stromverbrauch#:~:text=Allerdings%20war%20der%20Stromverbrauch%20in,%E2%80%9EBruttostromverbrauch%E2%80%9C
und https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/09/STRERZ22_Abgabe-12-2022_inkl-Rev-EE.pdf

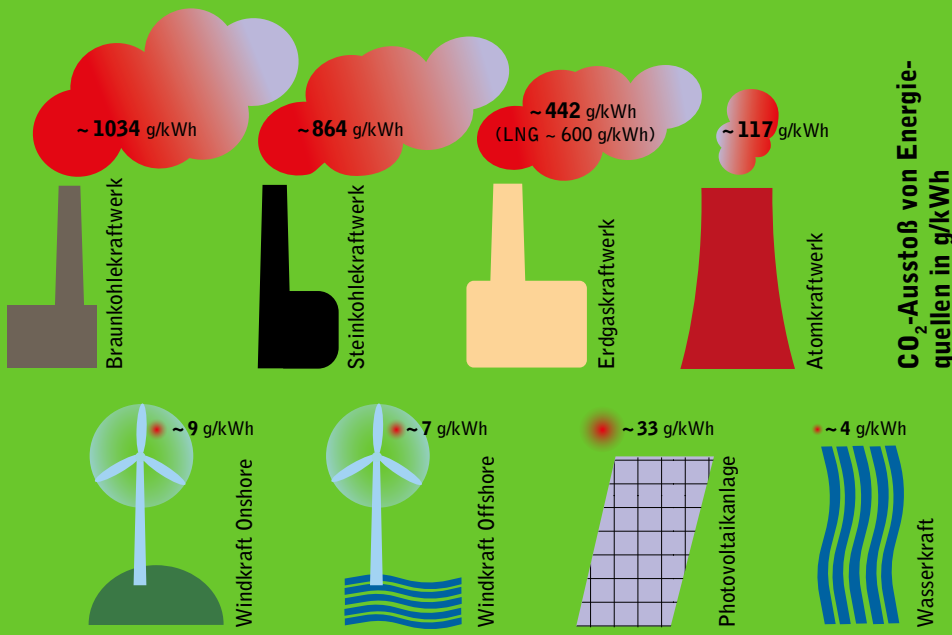
Bei der Erzeugung von Ökostrom fallen keine Treibhausgase an, was den Klimawandel bremst.

Ökostrom (oder Grünstrom) heißt so, weil er aus natürlichen Energiequellen erzeugt wird: d.h. aus Wind, Sonnenstrahlen, Wasserkraft, heißen Quellen in der Erde, dem Tidenhub der Gezeiten oder der Kraft der Ozeanwellen. Anders als Strom aus fossilen Kraftwerken (Gas, Kohle, Öl) entsteht bei seiner Produktion kein Kohlendioxid, und er schädigt somit die Atmosphäre nicht. Deshalb ist das Ziel der Energiewende im Stromsektor, die notwendige Elektrizität zu 100 Prozent aus Erneuerbaren Energien zu erzeugen. Im Jahr 2022 wurden rund 46 Prozent des Verbrauchs durch regenerative Quellen gedeckt,[119] bis 2030 sollen es 80 Prozent[120] sein, wobei die Regierung auch von einem stark ansteigenden Strombedarf ausgeht. Angesichts des steigenden Verbrauchs muss die Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren also in rund sieben Jahren verdoppelt werden. Derzeit reicht die Ausbaudynamik aber «bei Weitem noch nicht aus, um auf den Zielpfad des EEG 2023 einzuschwenken», wie die Bundesregierung betont.[121] Weil bei der Herstellung von Windrädern und Solarzellen auch Emissionen entstehen, gelten diese Anlagen «über ihre Lebenszeit» nicht als CO_2-frei, sondern lediglich als CO_2-arm. Auch Strom aus nachwachsender Biomasse wie Holz oder Mais zählt als «regenerativ»: Hier wird in der Regel beim Verstromen so viel Treibhausgas frei, wie zuvor während des Wachstums von den Pflanzen gespeichert wurde. Das im Jahr 2000 verabschiedete Erneuerbare-Energien-Gesetz, kurz EEG,[122] hat maßgeblich zum Ausbau der Erneuerbaren beigetragen: Es ermöglicht den Anlagen eine auskömmliche Vergütung und hat dadurch beim Markthochlauf und bei der Senkung der Kosten geholfen. Außerdem schreibt das EEG einen Einspeisevorrang für die nach EEG geförderten Anlagen vor, zuerst müssen Netzbetreiber also immer Strom aus Sonne, Wind und Co. abnehmen. Erneuerbare-Energien-Anlagen können auch ohne staatliche EEG-Förderung betrieben werden; den auf diese Weise erzeugten Strom kann man als Ökostrom mit Herkunftsnachweisen vermarkten. Bei Inanspruchnahme der EEG-Förderung ist eine Vermarktung als Ökostrom auf Grund des Doppelvermarktungsverbots nicht möglich, da die «grüne» Eigenschaft des Stroms bereits über die EEG-Förderung bezahlt worden ist.

Bruttostromerzeugung in Milliaden Kilowattstunden

Böll.Fakten Strom





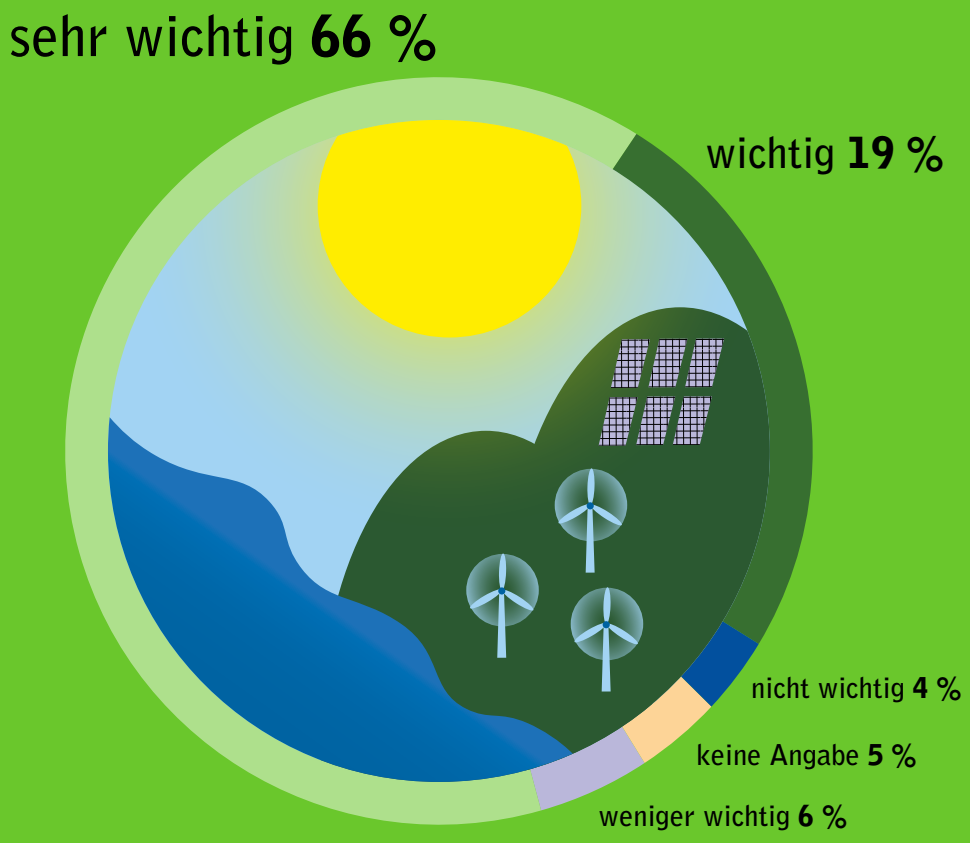
Die Entwicklung der Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland und der CO2-Ausstoß von Energiequellen

Quellen: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Bilder/Grafiken_erneuerbare_Energien/Diagramm-06.png und https://www.dw.com/de/faktencheck-ist-atomenergie-klimafreundlich-was-kostet-strom-aus-kernkraft/a-59709250 und https://www.klimareporter.de/images/dokumente/2023/01/230105-energycomment-lng-report.pdf

Die Nutzung von Ökostrom kann zum Ausbau der Erneuerbaren Energien beitragen.

Eine Mehrheit der Menschen in Deutschland, nämlich rund 86 Prozent, findet den Ausbau der Erneuerbaren «wichtig» oder «sehr wichtig».[23] Direkt unterstützen kann man diesen Ausbau durch die Wahl eines sogenannten Ökostromanbieters bzw. eines Ökostromtarifs. Steigt die Nachfrage nach CO_2-freiem Strom, wird mehr in Anlagen, die klimafreundlichen Strom produzieren, investiert: Wer Ökostrom kauft, zahlt dafür, dass Ökostrom ins Netz eingespeist wird. Doch Vorsicht! Der Begriff «Ökostrom» ist nicht gesetzlich geschützt, manche Angebote sind unseriös. So können Anbieter ihren Kohlestrom mit dem Kauf von sogenannten Herkunfts-Nachweisen – den RECS-Zertifikaten[24] – in «Ökostrom» umetikettieren. Ein Beispiel: Ein deutscher Stromanbieter investiert nicht in die Energiewende und verkauft seinen Strom im hierzulande üblichen Strommix. Ein ausländischer Stromanbieter, etwa in Norwegen oder Österreich, besitzt nur Wasserkraftwerke, produziert also zu 100 Prozent Ökostrom. Für wenige Cent pro Megawattstunde «tauschen» beide Anbieter die Eigenschaften ihres Stroms: Der deutsche zahlt dafür, dass er Ökostrom-Zertifikate bekommt, der ausländische bekommt Geld dafür, dass er deutschen Kohlestrom «abnimmt». Dadurch darf der deutsche Stromanbieter dann seinen Kunden gegenüber behaupten, dass er Ökostrom anbieten kann. Dieses System bringt die Energiewende nicht voran: Umweltverbände haben deshalb das «Grüner-Strom»-Label[25] entwickelt, das hilft, mit der richtigen Anbieterwahl den Ausbau der Erneuerbaren Energien wirklich voranzutreiben. Ein Kriterium ist etwa: Investiert der Anbieter seinen Gewinn ausschließlich in erneuerbare Technologien? Oder nutzt er unser Stromgeld, um auch künftig noch Treibhausgase zu erzeugen?

Die stärkere Nutzung und der Ausbau von Erneuerbarer Energien sind...



Rund 85 Prozent der Deutschen unterstützen den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Seit Jahren ist den Deutschen der Ausbau der Erneuerbaren wichtig, wie die Akzeptanzumfrage zeigt.

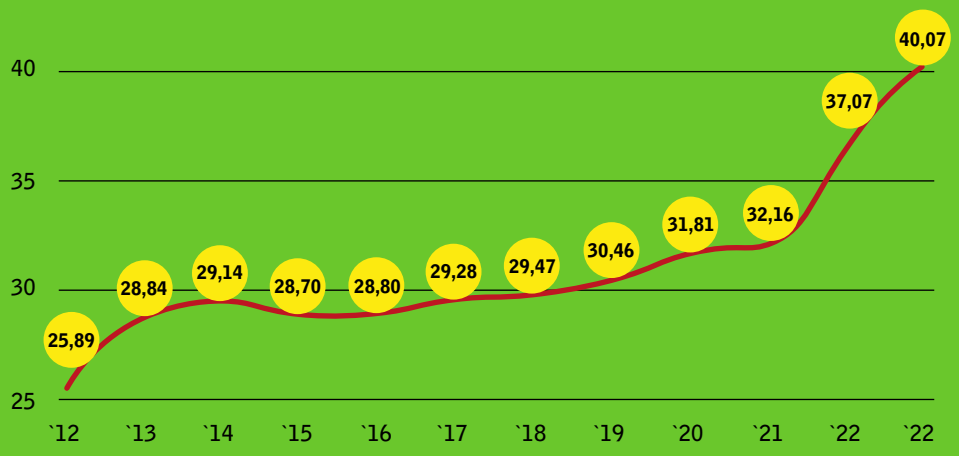
Quelle: https://unendlich-viel-energie.de/media/image/70411.AEE_Akzeptanzumfrage2022_Unterstuetzung_Ausbau_72dpi.jpg

Den Strompreis bestimmen drei Komponenten: Märkte, Netzentgelte, staatliche Zusatzkosten.

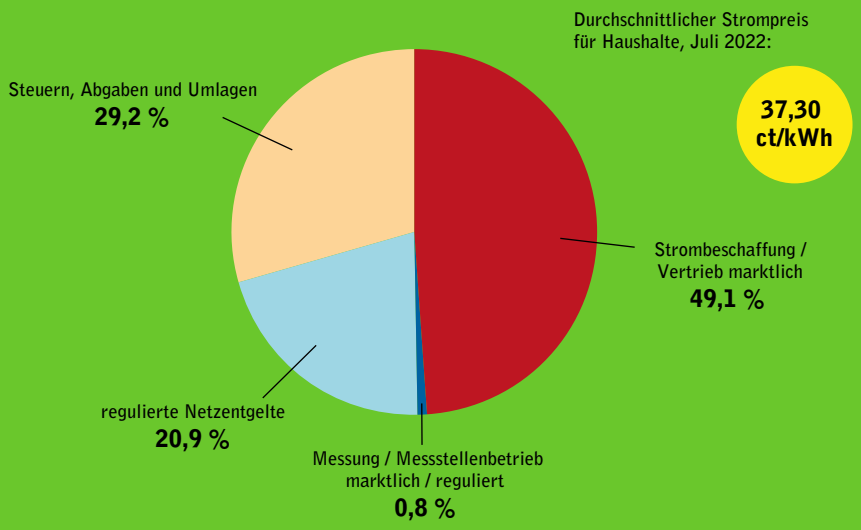
Der Strompreis für Haushalte setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Erstens der Einkaufspreis: Stromhändler kaufen große Mengen Strom auf dem langfristigen Terminmarkt, sie bieten einem Kraftwerksbetreiber einen bestimmten Preis für eine Menge, die erst im kommenden Jahr produziert wird. Braucht der Stromanbieter im kommenden Jahr dann aber mehr Strom, weil die Haushalte einen hohen Stromverbrauch haben, muss er am kurzfristigen Spotmarkt einkaufen, der in Deutschland an der Strombörse EEX abgewickelt wird. Dort kommen immer jene Kraftwerke zuerst zum Zug, die den günstigsten Preis anbieten. Lange Jahre führten die Atomkraftwerke diese Einsatzreihenfolge an,[26] heute sind es Photovoltaik und Windkraftwerke. Doch das teuerste Kraftwerk, das letztlich den Strombedarf deckt, bestimmt den Preis (englisch «Merit Order», siehe Fakt 07). Zu den Einkaufskosten kommt zweitens das «Netzentgelt»[27] hinzu: Strom muss oft über weite Strecken transportiert werden, und in Deutschland gibt es vier Übertragunsgnetzbetreiber sowie über 800 Verteilnetzbetreiber, die dafür zuständig sind. Für ihre Dienste erhalten sie ein «Netzentgelt», dessen Höhe die Netzbetreiber festlegen und durch die Bundesnetzagentur bestätigen lassen. Der Staat bestimmt die dritte Position, die im Strompreis steckt: Steuern, Abgaben und Umlagen, um politische Vorgaben umzusetzen. Beispielsweise soll mit der KWK-Umlage die besonders klimaschonende Kraft-Wärme-Kopplungstechnologie ausgebaut werden; die Konzessionsabgabe erhalten Gemeinden als Gegenleistung für die Benutzung der öffentlichen Straßen und Wege zur Verlegung von Strom- und Gasleitungen. Diese dritte Strompreis-Position ist zuletzt stark gesunken, weil seit 1. Juli 2022 die EEG-Umlage abgeschafft wurde, die bis dahin den Ausbau der Erneuerbaren förderte und zuletzt 3,72 Cent[28] je Kilowattstunde betrug. Die Finanzierung des erforderlichen EE-Ausbaus erfolgt seither über den jährlichen Bundeshaushalt. Insgesamt machen Steuern und Abgaben über 25 Prozent des Strompreises aus.

Die Entwicklung des Haushaltsstrompreises seit 2012 (in ct/kWh)

Böll.Fakten Strom



Die Zusammensetzung des Haushaltsstrompreises im Juli 2022



Die Entwicklung und Zusammensetzung des Haushaltsstrompreises

Quellen: https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/
und https://www.bdew.de/media/original_images/2022/10/26/a_wJFoSg4.png

Bau, Brennstoff und Betrieb machen u.a. die Stromgestehungskosten aus, die wichtig sind für die künftigen Investitionen.

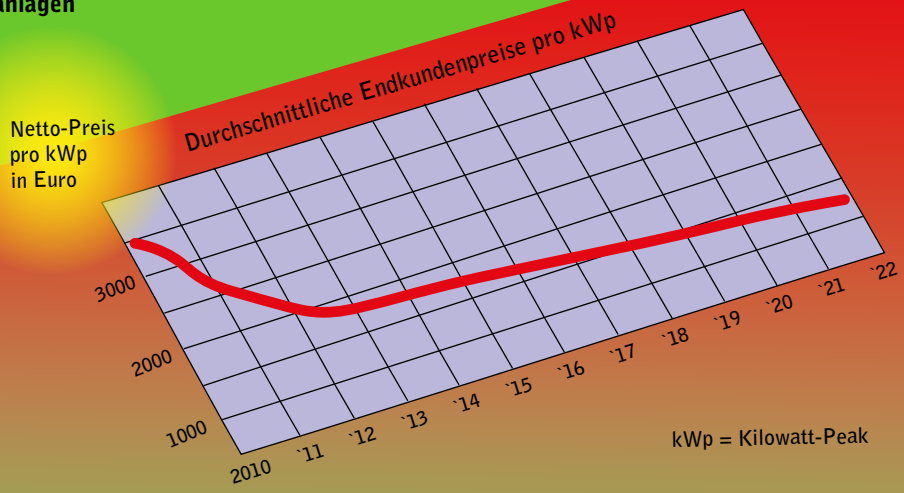
Was kostet es, eine Megawattstunde Strom aus Braunkohle, Erdgas, Atomspaltung, Sonnen- oder Windkraft herzustellen? Diese «Umwandlungskosten» ergeben sich aus einer Menge Details: Wie viel kostet zum Beispiel der verwendete «Brennstoff»? Erdgas ist wegen des russischen Angriffs auf die Ukraine 2022 enorm teuer geworden, Wind hingegen kostet nichts. Wie viel kostet es also, ein Windrad zu bauen – im Vergleich zu einem Gaskraftwerk? Wie viel Personal ist notwendig, um ein Windkraftwerk oder ein Gaskraftwerk zu betreiben? Wie viel Kredit musste der Investor aufnehmen, um das Kraftwerk bauen zu können? Die Gesamtheit dieser Kosten geteilt durch den erwarteten Ertrag eines Kraftwerkes entscheiden darüber, wie hoch die Stromgestehungskosten sind. Die Stromgestehungskosten wiederum sind das Kriterium für die Investitionsentscheidung: Windenergie an Land («onshore») ist derzeit am günstigsten, gefolgt von Photovoltaik und Windkraft zur See («offshore»). Am anderen Ende der Skala stehen Gas- und Steinkohlekraftwerke, sie sind am teuersten. Die Stromgestehungskosten der Erneuerbaren Energien sind in den letzten Jahren dank der technologischen Entwicklung so stark gesunken, dass sich viele Investoren gegen ein Kohlekraftwerk entschieden haben. Seit 2010 wurde weltweit nur jedes dritte geplante Kohlekraftwerk gebaut; zwei von dreien[29] wurden auf Eis gelegt oder komplett gestoppt, u.a. weil Solar- oder Windkraftwerke billiger sind. Vor allem in den Anfangsjahren sind die Kosten für ein neues Solarkraftwerk dank des EEG stark gesunken, zwischen 2006 und 2012 um 70 Prozent.[30] Die Förderung der Erneuerbaren Energie kurbelte die Nachfrage an, dadurch wurde immer mehr produziert, was die Kosten pro Stück weiter senkte.

Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2021 (in ct/kWh)

Böll.Fakten Strom

Gasturbinenkraftwerke	Steinkohle	Biogas	Braunkohle	Feste Biomasse	Gas- und Dampfturbinenkraftwerke	Wind offshore	Photovoltaik	Wind onshore
11,5 – 29,0	11,0 – 20,0	8,5 – 17,3	10,4 – 15,4	7,2 – 15,3	7,8 – 13,1	7,2 – 12,1	3,1 – 11,0	3,9 – 8,3

Solaranlagen

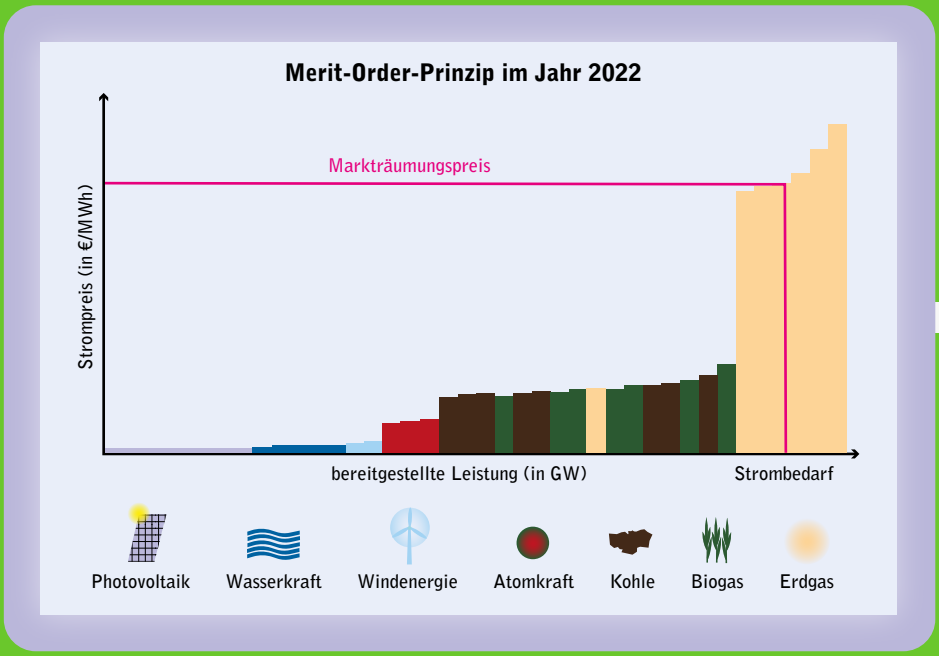


Gaskraftwerke brauchen am meisten Geld, um eine Kilowattstunde Strom zu produzieren, Sonnen- und Windkraft an Land am wenigsten. Die Preise für Solaranlagen haben sich in den letzten zwölf Jahren mehr als halbiert.

Quellen: https://de.statista.com/infografik/26886/stromgestehungskosten-fuer-erneuerbare-energien-und-konventionelle-kraftwerke-in-deutschland/ und https://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/preisentwicklung

Die schwankende Stromerzeugung durch die Erneuerbaren erfordert mehr Speicher und Reservekraftwerke und daher eine neue Preisgestaltung.

Beim Strommarktdesign geht es darum, den Großhandel mit Strom so zu organisieren, dass die Sicherheit der Stromversorgung durch die Marktteilnehmer immer garantiert werden kann. Aktuell ist der Strommarkt auf fossile Energieträger ausgelegt. Am teuersten ist jener Strom, der aus dem Verbrennen von Erdgas oder Öl produziert wird. Allerdings wird dieser Strom zeitweise gebraucht, denn die mit Erdgas oder Öl betriebenen Reservekraftwerke können in Minutenschnelle hoch- und runtergefahren werden. Deshalb gilt am Spotmarkt (siehe Fakt 05) das sogenannte «Merit-Order-Prinzip».[31] Dem entsprechend bestimmt den Handelspreis an der Strombörse immer das teuerste Kraftwerk, das noch benötigt wird, um den Strombedarf zu decken. Diesen teuren Preis erhalten aber auch Anbieter, die ihren Strom günstiger produzieren können, weshalb sie zeitweise großen Gewinn machen. Dieses «Angebot und Nachfrage»-Prinzip kommt ganz natürlich bei allen homogenen Gütern zur Anwendung: ein Bauernhof, der besonders günstig Kartoffeln produziert, wird sich trotzdem am teuersten Preis orientieren, zu dem Kartoffeln noch verkauft werden. Lange Jahre pendelte dieser «teuerste Preis» für Strom bei 5 Cent pro Kilowattstunde. Wegen des Ukraine-Krieges und der Knappheit von Erdgas schoss er aber im Jahr 2022 bis auf 87,1 Cent pro Kilowattstunde nach oben;[32] das sind fast 18-mal mehr. Weil aber alle Verkäufer am Spotmarkt diesen Preis bekommen, sind die Endkundenstrompreise auf einen neuen Rekord geklettert. Die Bundesregierung beschloss deshalb eine bis 30. Juni 2023 begrenzte Abschöpfung von Übergewinnen,[33] die eine Preisdeckelung für die Stromverbrauchenden refinanzieren soll. Mehr Erneuerbare Energien im Stromnetz erfordern ein neues Design: Der Strommarkt muss sich zukünftig vermehrt auf hohe Mengen aus fluktuierenden Quellen wie Sonnen- und Windenergie einstellen. Gleichzeitig müssen zum Ausgleich des fluktuierenden Angebots Flexibilitäten wie Speicher und Reservekrafterke entstehen und sich refinanzieren.[34]



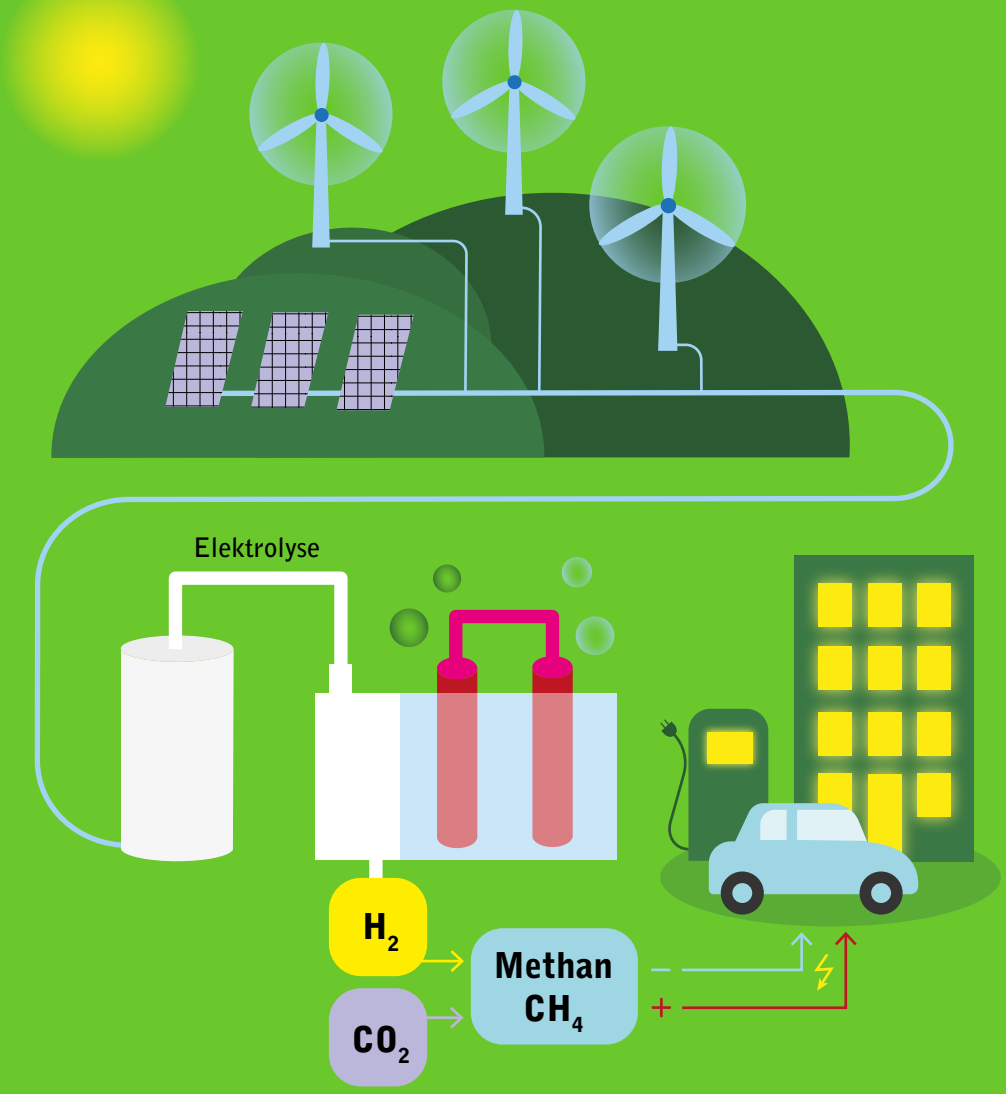
Weil zeitweise auch Gaskraftwerke gebraucht werden, um den Strombedarf in Deutschland zu decken, ist der Strompreis im Spothandel wegen des massiv gestiegenen Gaspreises im Jahr 2022 rasant gestiegen (schematische Darstellung).

Quelle: https://www.spektrum.de/news/merit-order-prinzip-warum-der-strompreis-nach-oben-schnellt/2051949

Alle Speicherformen haben Vor- und Nachteile, aber im Verbund gleichen sie die Schwächen der Erneuerbaren aus.

Auch künftig wird zu jeder Tageszeit Strom gebraucht: Weil die Sonne jedoch nicht immer scheint und Wind auch nicht immer weht, müssen in einem erneuerbaren Versorgungssystem Erzeugung und Verbrauch des Stromes zeitlich entkoppelt werden. Dafür sind Speicher notwendig: Systeme, die Elektrizität in andere Energieformen umwandeln oder in Batterien speichern. Die ältesten basieren auf mechanischen Verfahren: Pumpspeicher nutzen beispielsweise überschüssigen Strom, um Wasser in ein Becken auf dem Berg zu pumpen. Wird zusätzlicher Strom gebraucht, rauscht das Wasser zu Tal und treibt dabei eine Turbine an, die so wieder Strom produziert. Bei Druckluftspeichern wird in großen Kavernen Luft komprimiert und wieder entspannt – Flüssigluftspeicher kühlen Luft ab und komprimieren diese – und können in entgegengesetzter Richtung ebenfalls zu Strom zurück verwandelt werden. Moderne Ansätze nutzen Wasserstoff als Zwischenspeicher: Überschüssiger Strom treibt einen Elektrolyseur an, der Wasser zu Wasserstoff umwandelt. Dieser kann direkt in der Industrie genutzt, ins Erdgasnetz eingespeist und über Gaskraftwerke oder Brennstoffzellen zurück in Strom verwandelt werden. Im heutigen Gasnetz und in bestehenden Gaskraftwerken kann jedoch nur ein geringer Anteil reinen Wasserstoffs eingespeist werden. Daher sind zusätzliche Investitionen nötig, um die Umrüstbarkeit der Gasinfrastruktur auf Wasserstoff zu prüfen und zu ermöglichen. Unterschieden wird in Kurz- und Langzeitspeicher.[35] Kurzzeitspeicher können an einem Tag mehrfach Energie aufnehmen und wieder abgeben, Batterien beispielsweise. Sie bieten in der Regel nur ein begrenztes Volumen. Langzeitspeicher dagegen speichern Strom über Wochen, um etwa Phasen einer langen Dunkelflaute mit wenig Sonne und Wind zu überbrücken. Batteriespeicher haben bereits heute einen höheren Wirkungsgrad als andere Speicherformen.[36] Weil die Speicher als Schlüssel zum erneuerbaren Zeitalter gelten, wird in diesem Bereich außerdem sehr viel geforscht.

Power to Gas – eine moderne Speicherform



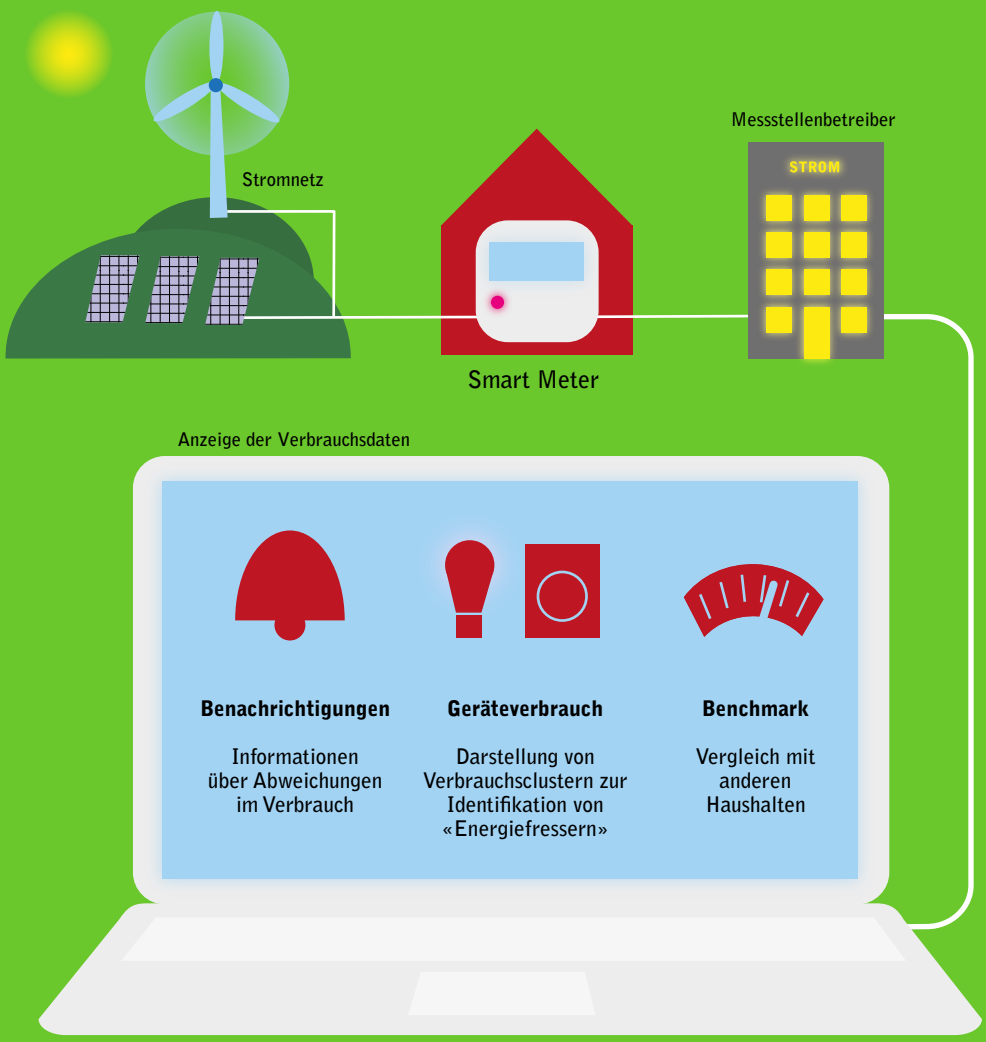
Wasserstoff (H2) kann ins Erdgasnetz eingespeist und später wieder zu Strom umgewandelt werden.

Quelle: https://solarenergie.de/hintergrundwissen/solarenergie-nutzen/sektorenkopplung/power-to-gas

Intelligente Stromnetze kombinieren Erzeugung, Speicherung, Verbrauch – und stärken so das neue Strommarktdesign.

Weil Sonne und Wind nicht immer zur Verfügung stehen, gibt es Zeiten, in denen sehr viel Ökostrom hergestellt werden kann, und Zeiten, in denen nur wenig davon im Netz ist. Daher braucht es Flexibilitäten im Stromsystem, um die schwankende Stromerzeugung auszugleichen. Was wie ein Nachteil klingt, soll durch die Digitalisierung zum Vorteil werden: Intelligente Stromzähler können dafür sorgen, dass in Zeiten mit Überkapazitäten bei der Stromerzeugung Verbraucher*innen ihren Stromverbrauch intensivieren - z.B. indem das Elektroauto lädt oder die Wärmepumpe oder die Waschmaschine anspringen. In diesen Zeiten ist der Strom dann auch besonders günstig. Hierfür kann es flexible Stromtarife geben, bei denen stündlich abgerechnet wird oder bei denen man einen vergünstigten Tarif vom Stromversorger für diese Flexibilität erhält. Die entsprechende Kommunikation zwischen Elektrogerät und Stromzähler funktioniert über sogenannte «Smart-Meter-Gateways». Durch die intelligenten Stromzähler kann der vorhandene Strom im Netz so verteilt werden, dass er möglichst effizient genutzt wird. Allerdings gab es viele Jahre datenschutzrechtliche Vorbehalte gegen diese Technologie. Anfang 2023 beschloss die Bundesregierung ein «Gesetz zum Neustart der Digitalisierung der Energiewende»,[737] mit dem die intelligenten Stromzähler schrittweise zur Pflicht werden. Millionen Haushalte könnten davon profitieren. Ab 2025 müssen alle Stromversorger – unabhängig von der Kundenzahl – aufgrund von EU-Vorgaben verpflichtend sog. dynamische Tarife anbieten.[738] Aktuell müssen solche Tarife nur Stromkonzerne mit mehr als 100.000 Letztverbraucher*innen haben. Die Digitalisierung ist allerdings auch für das neue Strommarktdesign oder die Netzsteuerung wichtig, damit intelligente Stromnetze («Smart-Grids»[739]) Erzeugung, Speicherung und Verbrauch kombinieren können.[740] Die Bundesnetzagentur bezeichnet die Digitalisierung als «Treiber der Energiewende».[741]

Das Funktionsprinzip von «Smart Meter»

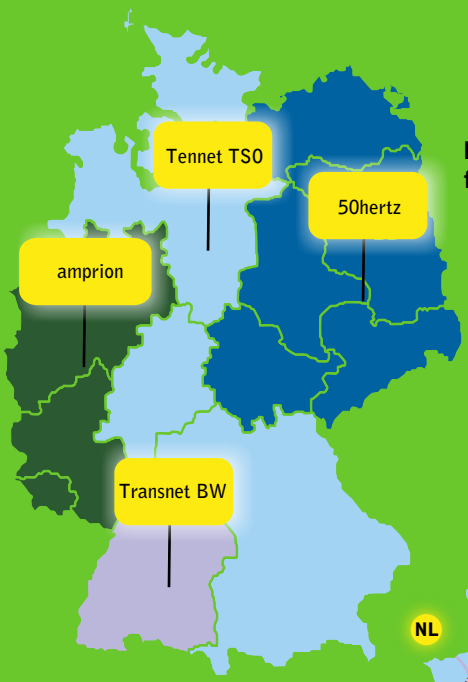


Ein intelligentes Messsystem (Smart Meter) besteht aus einem digitalen Zähler und einem Kommunikationsmodul. Das System hilft, einen besseren Überblick über den Stromverbrauch zu bekommen.

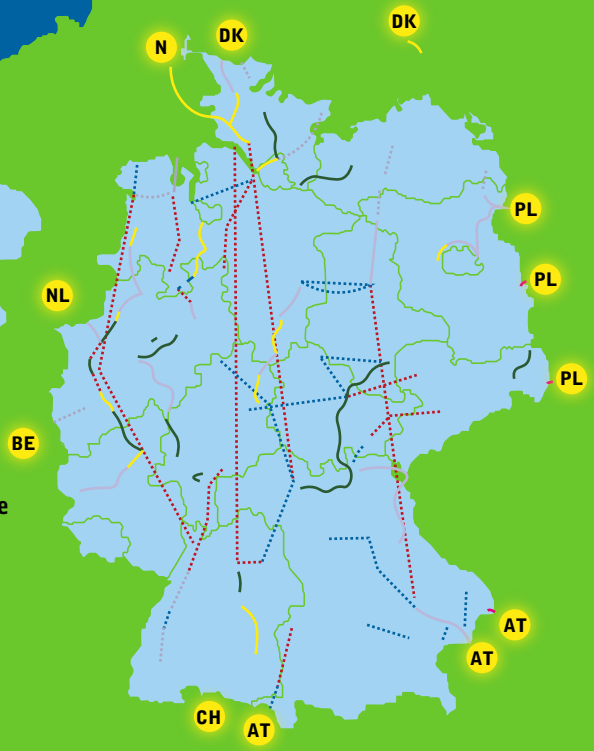
Quelle: https://www.eon.de/content/dam/eon/eon-de-zwei/infografiken-free-html/infografik-smartmeter.png

Der preisgünstig produzierte Strom aus Windrädern im Norden wird durch ein besseres Netz auch im Süden zur Verfügung stehen.

Im Stromnetz muss immer genau so viel Strom eingespeist werden, wie gerade verbraucht wird. Früher wurden zum Beispiel Atom- oder Kohlekraftwerke dort gebaut, wo die Nachfrage besonders groß ist, in Ballungsräumen oder Industriezentren. Von den Großkraftwerken fließt der Strom dezentral ab, dementsprechend gehen die Stromtrassen weg vom Kraftwerk ins Land. Künftig aber wird der Strom von vielen kleinen Kraftwerken erzeugt, er muss anders verteilt werden. Dafür ist das Stromnetz derzeit nicht ausgelegt. Ein Beispiel: Weht in Norddeutschland viel Wind, ist das Netz voll von günstigem Windstrom, der Börsenpreis tendiert gegen Null. Wenn sich dann Unternehmen in Süddeutschland mit Strom eindecken wollen, springen, weil es zu wenige Leitungen aus dem Norden gibt, im Süden Gaskraftwerke an, um den erhöhten Bedarf zu decken. Da aber nur so viel Strom im Netz sein kann, wie nachgefragt, müssen die Windräder im Norden abgeschaltet werden. Wegen des gesetzlich garantierten Einspeisevorrangs werden die Windrad-Betreiber dafür entschädigt, und die Stromkunden zahlen doppelt: einmal für den teuren Strom aus den Gaskraftwerken, ein zweites Mal für den nicht produzierten Windstrom. Im Jahr 2020 belief sich die entsprechende Summe auf 1,4 Milliarden Euro.[42] Mit dem Energieleitungsausbaugesetz EnLAG von 2009 beschloss die Regierung 24 Netzausbauprojekte[43] und verkürzte die Zulassungsverfahren. Vier Jahre später kamen mit dem Bundesbedarfsplangesetz 79 weitere energiewirtschaftlich notwendige Leitungsbauvorhaben hinzu.[44] Zuständig für den Bau sind die vier Übertragungsnetzbetreiber. Der Stromnetzausbau ist eine langwierige und komplexe Aufgabe: Von den notwendigen 14.000 km neuen Stromleitungen im Übertragungsnetz wurden bis Mitte 2022 erst 2.292 km fertiggestellt.[45] Auch die Netzverbindungen in die europäischen Nachbarstaaten müssen ausgebaut werden.



Die vier Netzbetreiber und die Regionen, für die sie zuständig sind



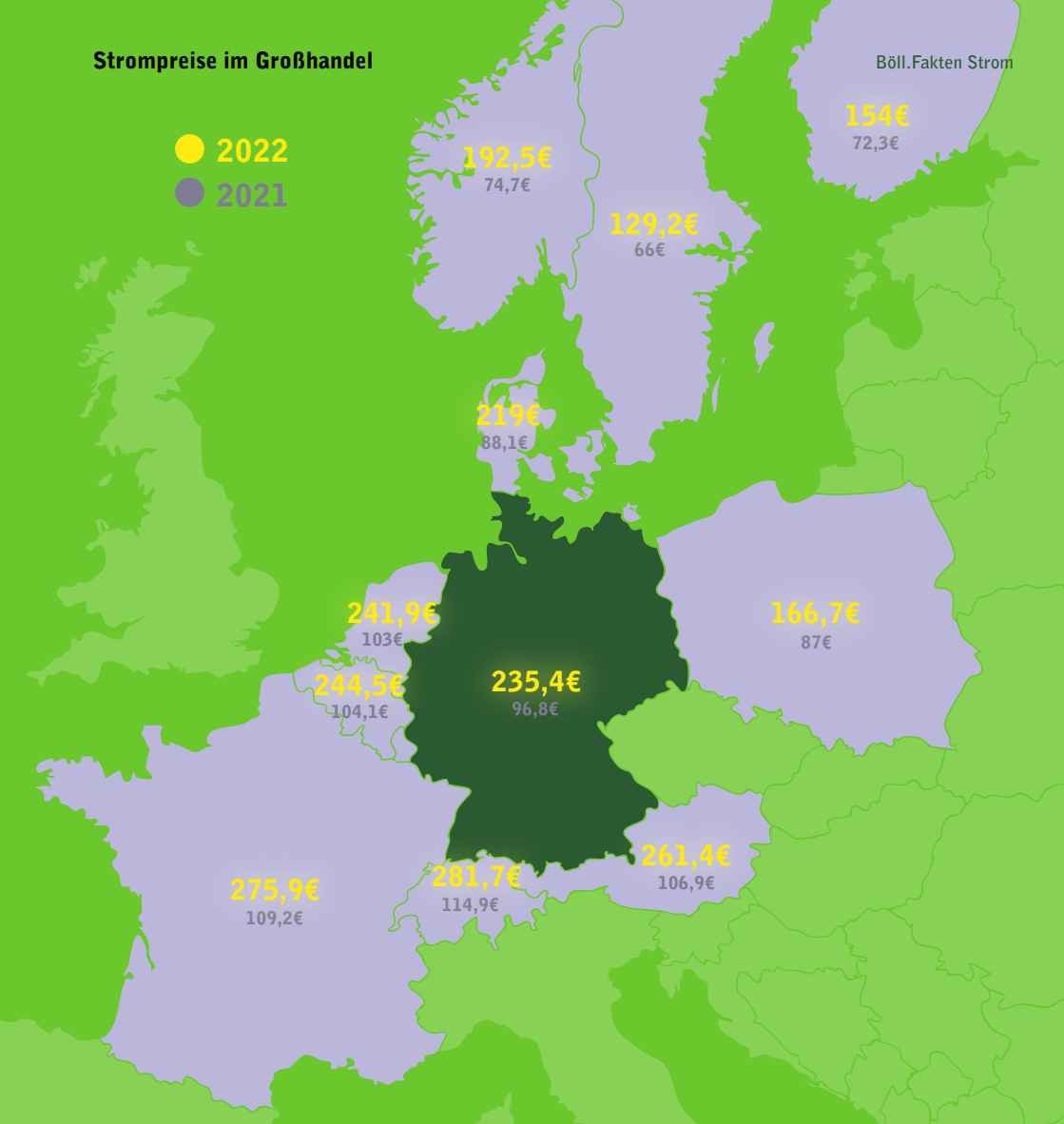
Netzausbaupläne

Ohne den Netzausbau wird der Süden nicht von dem preiswerten Windstrom aus dem Norden profitieren können.

Quellen: https://de.m.wikipedia.org/wiki/Datei:Regelzonen_deutscher_%C3%9Cbertragungsnetzbetreiber_neu.png und https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Bilder/Energie/buergerdialog-stromnezte-netzausbau-karte.jpg?__blob=normal&v=4&size=760w

Die Erneuerbaren geben in weiteren Wirtschaftsbranchen Impulse in Milliarden-Höhe.

Der russische Angriffskrieg hat auch die deutsche Wirtschaft aufgeschreckt: Plötzlich war die Versorgung mit billigem Erdgas unterbrochen. Unter großem Zeitdruck wurde eine neue, fossile Infrastruktur für Flüssigerdgas,[46] das sogenannte LNG, aufgebaut. Manches Bioenergiedorf in der Provinz stand mit seinen Solarpaneelen und Biomassekraftwerken viel besser da: randvoll mit kostengünstiger Energie, geopolitisch unabhängig, mit Wertschöpfung vor Ort und ausreichenden Fachkräften. Spätestens jetzt wurde klar, dass die Erneuerbaren für bezahlbaren Strom und die Versorgungssicherheit in Deutschland unabdingbar sind. Die Debatten um einen Preisdeckel auf russisches Erdöl zeigten aber auch: Der Einkauf von fossilen Energieträgern ist für Industrie und Bevölkerung im Zuge der Energiekrise ungemein teuer geworden; im Jahr 2022 zahlten Verbraucher*innen in Deutschland 21,8 Milliarden Euro[47] für russisches Öl und Gas und finanzierten so Putins Krieg in der Ukraine mit. Windräder und Biomassekraftwerke sorgen hingegen dafür, dass die Wertschöpfung zu einem größeren Teil in der Bundesrepublik bleibt. Im Jahr 2021 erzeugte allein der Betrieb von Erneuerbaren-Anlagen durch Wartung, Personal, Ersatzteile etc. wirtschaftliche Impulse in anderen Branchen von 20 Milliarden Euro.[48] Zudem wirken die Erneuerbaren preisdämpfend: Der Industriestrompreis für die energieintensiven Unternehmen ist nach den Daten[49] der Agentur für Erneuerbare Energien Deutschland unter anderem durch die regenerative Stromeinspeisung niedriger als in den meisten europäischen Nachbarstaaten. Wären in Deutschland 20 Gigawatt Windenergie an Land und 30 Gigawatt Solarenergie mehr installiert gewesen, hätte die Kilowattstunde im Sommer 2022 am Day-Ahead-Markt[50] mehr als 8 Cent weniger gekostet.

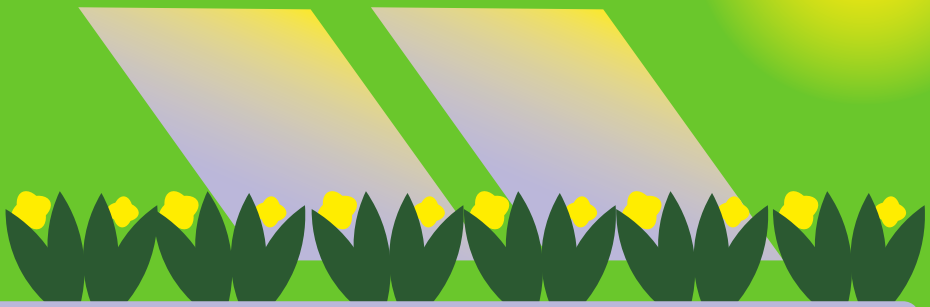


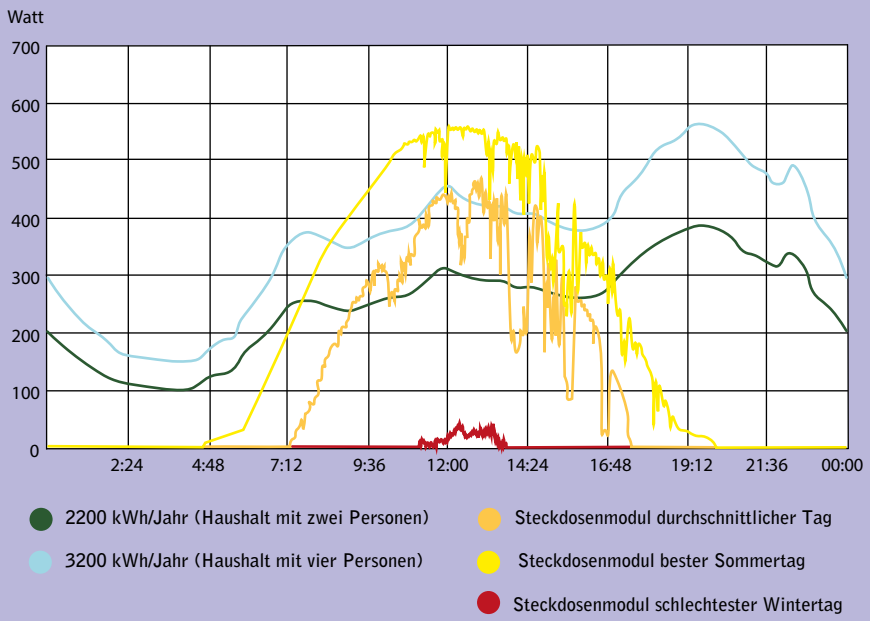
Windenergie senkt Strompreise in Deutschland massiv: Hier eine Momentaufnahme des Preises der Megawattstunde vom 28. Dezember 2022 im Vergleich zu den Nachbarländern.

Quelle: https://www.ffe.de/en/publications/european-day-ahead-electricity-prices-in-2022/#:~:text=The%20average%20European-%20price%20level,price%20has%20more%20than%20doubled

Mit eigenen Anlagen oder Anteilsscheinen bei Energiegenossenschaften können sich alle zu eigenen Gunsten an der Energiewende beteiligen.

Wer ein eigenes Dach besitzt und noch keine Solaranlage darauf hat, kann jetzt günstig nachziehen: Um die Nachfrage anzukurbeln, hat die Bundesnetzagentur die Vergütungssätze für Solarstrom aus neuen PV-Anlagen erhöht.[51] Zudem muss seit Anfang 2023 keine Mehrwertsteuer[52] auf die Anlage gezahlt werden, sie wird also um 19 Prozent billiger! Kostete vor 13 Jahren eine Anlage mit der Spitzenleistung 4,5 Kilowatt noch 20.000 Euro, so ist sie heute schon für rund die Hälfte zu haben. Allerdings lohnt es kaum mehr, Strom ins Netz einzuspeisen, das bringt bei kleinen Anlagen nur maximal 13 Cent pro Kilowattstunde.[53] Lukrativer ist es, den Strom selbst zu nutzen – wo er doch 2022 im Durchschnitt 40 Cent kostete,[54] wenn er aus der Steckdose kam. Wer kein eigenes Dach hat, kann trotzdem in Photovoltaik investieren: Die Bundesregierung hat die Bedingungen für Mieterstrom-Solaranlagen vereinfacht. Zwar ist die Zustimmung des Vermieters oder der Vermieterin notwendig, die wird aber in der Regel erteilt, weil geringere Energiekosten eine Wohnung attraktiver machen. Falls sich die Mietenden nicht auf den Kauf einer gemeinsamen Anlage einigen, gibt es Balkon-Solaranlagen,[55] die ihren Strom per Stecker ins Netz einspeisen. Ein Standardmodul mit 360 Watt kostet ab 400 Euro. Aktuell können Haushalte damit ihre Stromrechnung um circa 60 Euro jährlich entlasten.[56] Es wird immer erst der eigene Strom verbraucht, ehe Strom aus dem öffentlichen Netz gezogen wird. Kein Dach, kein Garten, kein Balkon? Für diese Fälle gibt es zum Beispiel Anteilsscheine bei einer Bürgerenergiegenossenschaft. Diese errichtet Windräder oder installiert Solaranlagen auf Schulen oder Rathäusern. Je nach Genossenschaft ist der Einstieg ab 100 Euro möglich, der Ertrag wird an alle Eigner*innen ausgeschüttet.



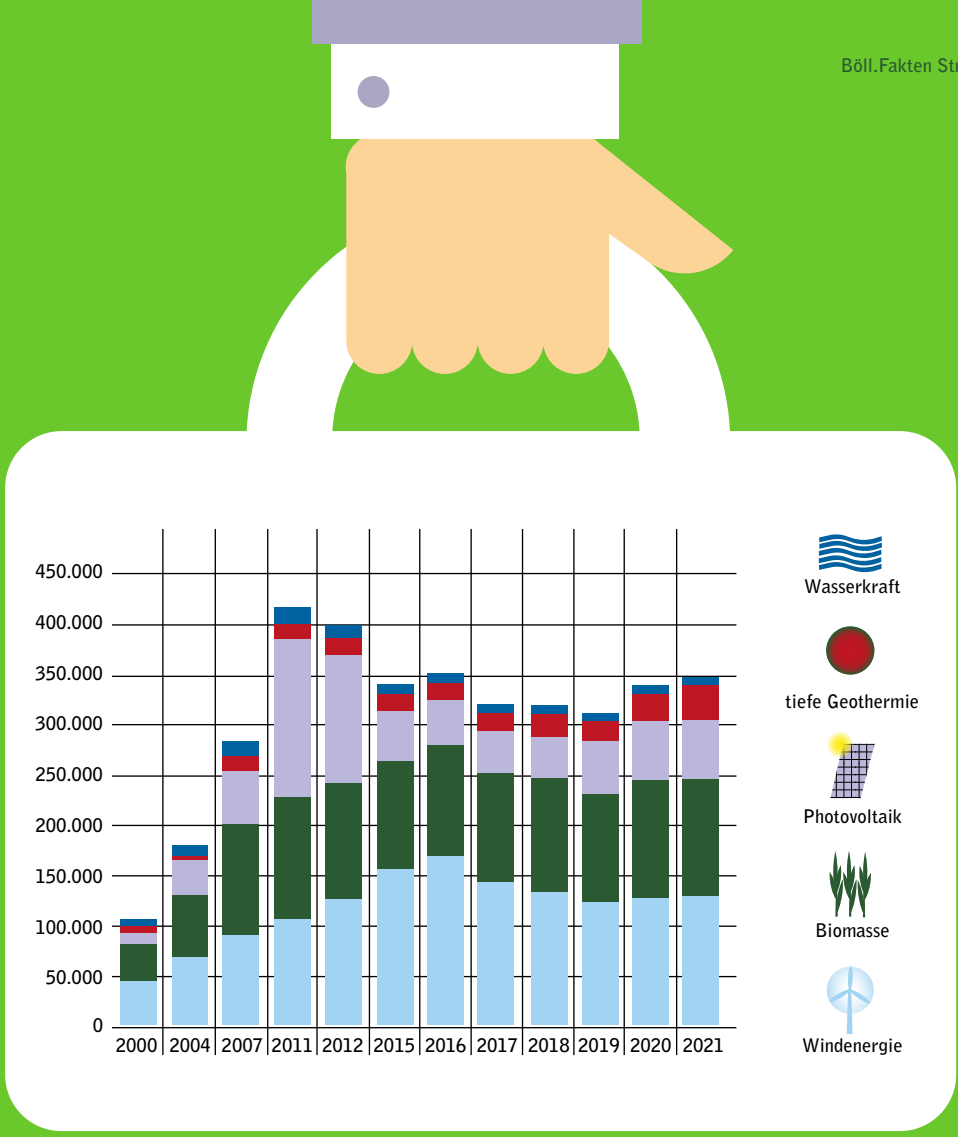


Stromverbrauch und durchschnittlicher Stromertrag
von Balkonkraftwerken mit 600 Watt

Quellen: https://www.finanztip.de/photovoltaik/balkon-solaranlage/ und https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/balkonkraftwerk

Durch den Ausbau der Erneuerbaren entstehen mehr Jobs, als bei der konventionellen Energie wegfallen.

Wenn Kohle- oder Gaskraftwerke durch Erneuerbare ersetzt werden, fallen Arbeitsplätze in Tagebauen und Kraftwerken weg: Ende 2015 betrug die Anzahl der direkten Jobs in der deutschen Braunkohleindustrie noch 20.800,[757] Prognosen zufolge sinkt ihre Zahl auf 8.000 im Jahr 2030. Allerdings entstehen durch den Ausbau der Erneuerbaren sehr viel mehr Jobs, als im konventionellen Energiesektor wegfallen: Seit 2000 hat sich ihre Zahl mehr als verdreifacht, im Jahr 2021 waren 344.100 Menschen in Deutschland in der Branche der Erneuerbaren beschäftigt.[758] Die meisten Beschäftigten arbeiteten 2021 in der Windkraftindustrie, nämlich 130.200. Die arbeitsintensive Biomasse folgt mit 113.800 Jobs. Allerdings sorgen immer wieder geänderte politische Rahmenbedingungen für einen volatilen Arbeitsmarkt: Waren in der Solarenergie im Jahr 2011 noch 156.700 Menschen beschäftigt, so sind es heute nur noch 58.500. Diese Verluste sind vor allem auf die gesetzlichen Kürzungen der EEG-Tarife durch die Koalition aus CDU/CSU und FDP zurückzuführen: Die Nachfrage brach 2013 um 55 Prozent[759] ein und im Folgejahr nochmals um 66 Prozent.[760] Viele Werke schlossen, die Firmen wurden vor allem von asiatischen Konkurrenten übernommen, die so auch in den Besitz der deutschen Patente kamen, die Produktion wurde ins Ausland verlagert. Mit den zuletzt wieder gestiegenen Installationszahlen arbeiten auch wieder mehr Menschen in der Photovoltaik-Branche. Dafür gingen 2022 hierzulande[761] Jobs in der Windkraftindustrie verloren: Wegen Inflation, Lieferkettenproblemen und zu geringer Nachfrage schreiben viele Windkrafthersteller rote Zahlen. Im Jahr 2022 schlossen die letzten Rotorblattwerke in Deutschland, mehr als 1000 Jobs[762] fielen weg.



Anzahl der Beschäftigten im Bereich der Erneuerbaren Energien

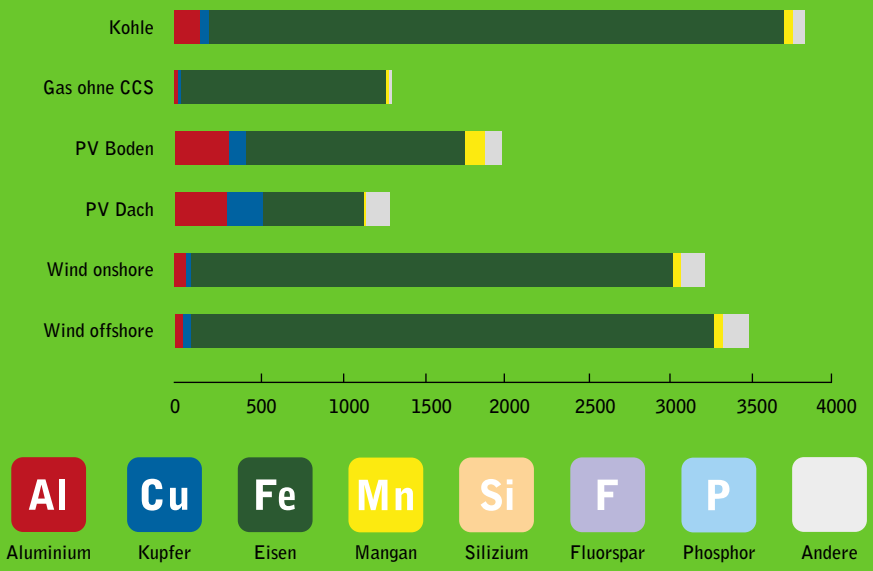
Quelle: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/de_indikator_wirt-03b_beschaeftigte-ee_2022-08-24.png

Die Erneuerbaren brauchen viele kritische Rohstoffe, taugen aber auch sehr für eine Kreislaufwirtschaft.

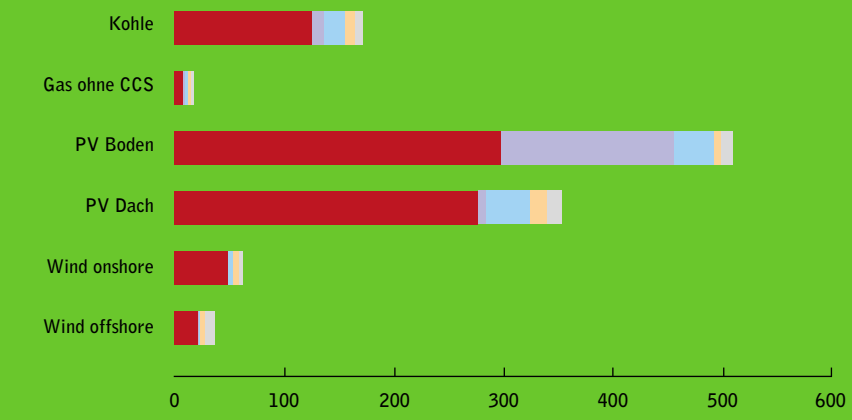
Anders als bei fossilen Kraftwerken kommt die Stromerzeugung mit Erneuerbaren Energien ohne den Einsatz endlicher Brennstoffressourcen aus. Die Anlagen zur erneuerbaren Energiegewinnung haben jedoch einen Nachteil: Ihre Herstellung ist sehr rohstoffintensiv. Eine moderne Photovoltaikanlage benötigt laut Internationaler Energieagentur mehr als doppelt so viele metallische Rohstoffe wie ein Kohlekraftwerk der gleichen Leistung.[163] Bei Onshore-Windrädern sind es fast fünfmal, bei Offshore-Windrädern mehr als siebenmal so viele Metalle. Die Herstellung von Anlagen zur erneuerbaren Stromproduktion erfordert sogenannte «kritische Rohstoffe»: Silizium, Phosphor, Aluminium, Kupfer, Seltene Erden.[164] Als «kritisch» werden sie bezeichnet, weil ihr Abbau nicht selten mit Umweltzerstörung und Menschenrechtsverletzungen einhergehen.[165] Zudem gibt es oft nur wenige Staaten, die die Lieferketten kontrollieren, sodass die Gefahr einer Abhängigkeit besteht.

Außerdem kommen nicht nur bei den Erneuerbaren Energien «kritische Rohstoffe» zum Einsatz, bei der Elektromobilität ist der Bedarf sogar noch größer. Doch zum E-Auto gibt es praktikable Alternativen, zum Beispiel den Ausbau des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs, während es bei den existierenden Erneuerbaren kaum Alternativen gibt. Klar ist, dass der Abbau und die Verarbeitung der für die Energiewende notwendigen metallischen Rohstoffe Emissionen freisetzen und große Flächen beanspruchen. Darum müssen Windkraft- und Solaranlagen ihre Potentiale in einer Kreislaufwirtschaft[166] nutzen, um so den Primärrohstoffverbrauch zu reduzieren. Ebenso wichtig ist es, Alternativen zu entwickeln, beispielsweise die sogenannte Organische Solartechnik,[167] die kurz vor dem technologischen Durchbruch steht: Sie kommt ohne Silizium, Blei und andere Metalle aus, der Halbleiter basiert auf Kohlenwasserstoffverbindungen.

Metallbedarf für ausgewählte Energietechnologien in Gramm pro Megawattstunde



Bedarf an kritischen Rohstoffen für ausgewählte Energietechnologien in Gramm pro Megawattstunde



Auch die Erneuerbaren brauchen Rohstoffe.

Quelle: https://power-shift.de/wp-content/uploads/2023/01/PS_066_Studie_Kreislaufwirschaft_v13_Web.pdf

Auch mit den Erneuerbaren Energien sind die Stromausfälle zurückgegangen.

Versorgungssicherheit bedeutet, dass immer so viel Strom erzeugt wie nachgefragt wird. Weil aber Wind nicht immer weht, und die Sonne nicht immer scheint, gab es lange Zeit Befürchtungen, dass die Versorgungssicherheit mit dem Ausbau der Erneuerbaren abnimmt. Tatsächlich eingetreten ist das Gegenteil: Sonne, Wind und Co. haben die Zahl der Stromausfälle annähernd halbiert,[168] weil durch ihre Flexibilität sowohl Spitzen als auch Engpässe im Netz abgefedert werden können.[169] Der Krieg in der Ukraine hat gezeigt, wie gefährdet die Versorgungssicherheit in Deutschland ist, wenn wir uns auf importierte Rohstoffe verlassen.[170] Zudem kommt die fossile Stromerzeugung durch die Klimaveränderung immer stärker unter Druck. Wegen Kühlwassermangels durch Niedrigwasser der für Kohletransporte genutzten Flüsse mussten Kohle- und Atomkraftwerke in den Dürresommern 2018, 2019 und 2022 ihre Leistung in erheblichem Maße drosseln[171] – mit Auswirkungen auf das gesamte europäische Energieversorgungssystem.[172]

Um auch künftig versorgungssicher zu bleiben, muss in das Stromnetz mehr Flexibilität eingebaut werden, müssen Speicher, Stromerzeugung und Stromverbrauch entsprechend mehr leisten und belastbare Regelungsmechanismen erhalten.[173] Auch der Strommarkt muss umgebaut werden, Kraftwerksbetreiber müssen Anreize erhalten, die sogenannte «gesicherte Leistung» bereitzustellen.[174] Hierbei handelt es sich um den Strom aus Reservekraftwerken, der eingespeist wird, wenn Wind und Sonne schwächeln. Bislang werden als Reservekraftwerke vor allem Gasturbinen vorgehalten, denen perspektivisch auch Wasserstoff beigemischt werden kann bzw. die ganz auf Wasserstoff umgerüstet werden sollten. Künftig können aber auch Biomasse- oder Windkraftwerke diese Aufgabe übernehmen. Weil die Reservekraftwerke aber immer nur anspringen, wenn zu wenig Strom durchs Netz rinnt, ist ihre Stromerzeugung besonders teuer, denn auch diese Kraftwerke müssen sich refinanzieren.

Dauer der Netzausfälle

Trotz des weiteren Ausbaus der Erneuerbaren gingen in den letzten Jahren die Netzausfälle immer weiter zurück.

Quelle: https://www.ikz.de/detail/news/detail/versorgungssicherheit-und-erneuerbare-energien/

Verweise

[1] Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-faellt-2022-auf-niedrigsten-stand-seit-der-wiedervereinigung/

[2] 1 Petajoule = 0,034 Steinkohleeinheiten

[3] Siehe: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_410_12411.html

[4] Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-faellt-2022-auf-niedrigsten-stand-seit-der-wiedervereinigung/#:~:text=Knapp%20ein%20Prozent%20des%20Gesamtr%C3%BCckgangs,um%203%2C9%20Prozent%20gesunken; https://ag-energiebilanzen.de/daten-und-fakten/auswertungstabellen/

[5] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#allgemeine-entwicklung-und-einflussfaktoren

[6] Siehe: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Staaten_mit_dem_h%C3%B6chsten_Energieverbrauch

[7] Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2023/01/AGEB_Infografik_07_2023_Anwendungsbilanzen_2021.pdf

[8] Für die Erzeugung von Endenergie wird Primärenergie eingesetzt: beispielsweise, um im Tagebau Kohle abzubauen. Daher ist der Primärenergieverbrauch höher als der Endenergieverbrauch.

[9] Zahlen für 2022 beruhen noch auf Schätzungen. Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/energieverbrauch-faellt-2022-auf-niedrigsten-stand-seit-der-wiedervereinigung/

[10] Diese Angabe berücksichtigt auch Emissionen, die durch den Konsum von im Ausland hergestellten Produkten entstehen: https://www.bmuv.de/media/kohlenstoffdioxid-fussabdruck-pro-kopf-in-deutschland

[11] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-hoch-sind-die-treibhausgasemissionen-pro-person

[12] Siehe: https://www.bmuv.de/media/kohlenstoffdioxid-fussabdruck-pro-kopf-in-deutschland#:~:text=Der%20durchschnittliche%20C0%E2%82%82e%20Fu%C3%9Fabdruck%20pro,und%2020%20Prozent%20auf%20Mobilit%C3%A4t

[13] Siehe: https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-10_DE_JAW2022/A-EW_283_JAW2022_WEB.pdf

[14] Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/09/STRERZ22_Abgabe-12-2022_inkl-Rev-EE.pdf

[15] Siehe: https://ag-energiebilanzen.de/wp-content/uploads/2022/09/STRERZ22_Abgabe-12-2022_inkl-Rev-EE.pdf

[16] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick

[17] Siehe: https://cms.gruene.de/uploads/documents/Koalitionsvertrag-SPD-GRUENE-FDP-2021-2025.pdf

[18] Siehe: https://cms.gruene.de/uploads/documents/Koalitionsvertrag-SPD-GRUENE-FDP-2021-2025.pdf

[19] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/uba-prognose-treibhausgasemissionen-sanken-2022-um

[20] Siehe: https://cms.gruene.de/uploads/documents/Koalitionsvertrag-SPD-GRUENE-FDP-2021-2025.pdf

[21] Siehe: https://dserver.bundestag.de/btd/20/051/2005139.pdf

[22] Siehe: https://dserver.bundestag.de/btp/14/14091.pdf

[23] Siehe: https://unendlich-viel-energie.de/umfrage-wunsch-nach-versorgungssicherheit-befluegelt-akzeptanz-von-erneuerbaren-energien

[24] Siehe: https://recs.org/

[25] Siehe: https://www.gruenerstromlabel.de/

[26] Siehe: https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/strompreis-preisbildung-101.html

[27] Siehe: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/A_Z_Glossar/N/Netzentgelt.html;jsessionid=AAEE686D879D9C5CD3CB3D56FB372C2F?nn=266668

[28] Siehe: https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/eeg-umlage-faellt-weg-2011728

[29] Siehe: https://www.germanwatch.org/sites/default/files/publication/11503.pdf

[30] Siehe: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf

[31] Siehe: https://www.bundestag.de/resource/blob/915340/85084966b30e1cd8e9f7753cecedfdcb/-Merit-Order-Grundlage-der-Strompreisbildung-data.pdf

[32] Siehe: https://www.smard.de/page/home/topic-article/444/209624

[33] Siehe: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/F/faq-abschoepfung-von-zufallsgewinnen.pdf?__blob=publicationFile&v=4

[34] Siehe: https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Publikationen/Nationale_Empfehlungen/2022_ESYS_Impuls_Strommarktdesign_2030.pdf

[35] Siehe: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Energie/speichertechnologien.html

[36] Siehe: https://www.ardalpha.de/wissen/umwelt/nachhaltigkeit/stromspeicher-energiespeicher-elektrizitaet-erneuerbare-energien-100.html

[37] Siehe: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/01/20230111-kabinett-beschliesst-neustart-fur-die-digitalisierung-der-energiewende.html

[38] Siehe: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/01/20230111-kabinett-beschliesst-neustart-fur-die-digitalisierung-der-energiewende.htm

[39] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid

[40] Siehe: https://www.ewi.uni-koeln.de/de/methoden/dimension/

[41] Siehe: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Allgemeines/DieBundesnetzagentur/Insight/Texte/Digitalisierung/Blog3_Digitalisieung_SmartMeter.html

[42] Siehe: https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/Monitoringbericht-Energie2022.pdf?__blob=publicationFile&v=4

[43] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/netzausbau#-Einflussfaktoren

[44] Siehe: https://um.baden-wuerttemberg.de/de/energie/versorgungssicherheit/netzausbau/

[45] Siehe: https://www.netzausbau.de/Vorhaben/uebersicht/report/de.html

[46] Siehe: https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/erstes-lng-terminal-2143122

[47] Berechnung von Mauricio Vargas, Greenpeace, auf Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes.

[48] Siehe: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=8

[49] Siehe: https://www.iwr.de/news/erneuerbare-energien-staerken-den-wirtschafts-standort-deutschland-news26105

[50] Siehe: https://www.gp-joule.de/fileadmin/content/news/2022/DE/2022-09-26_EnergyBrainpool_Kurzstudie_GP_JOULE.pdf

[51] Siehe: https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-aendert-sich-fuer-photovoltaikanlagen-75401

[52] Siehe: https://www.pv-magazine.de/2022/12/02/null-prozent-umsatzsteuer-fuer-photovoltaik-anlagen-ab-2023/

[53] Siehe: https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-hat-sich-fuer-photovoltaikanlagen-geaendert-75401

[54] Siehe: https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/

[55] Siehe: https://taz.de/!5880983/

[56] Ein Standardsolarmodul mit 380 Watt Leistung, das verschattungsfrei an einem Südbalkon montiert wurde, liefert etwa 280 Kilowattstunden Strom pro Jahr. Der Strombezug des Haushalts reduziert sich dadurch etwa um die gleiche Menge, wenn der Strom direkt verbraucht wird. Diese Strommenge entspricht etwa dem jährlichen Verbrauch eines Kühlschranks und einer Waschmaschine in einem Haushalt mit 2 Personen. Bei einem durchschnittlichen Strompreis von 33 Cent bringt das eine jährliche Ersparnis von rund 66 Euro. Siehe: https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/steckersolar-solarstrom-vom-balkon-direkt-in-die-steckdose-44715

[57] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/publikationen/2018-07-25_climate-change_18-2018_beschaeftigte-braunkohleindustrie.pdf

[58] Siehe: https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-beschaeftigte-im-bereich-erneuerbare

[59] Siehe: https://www.iwr.de/news/solarmarkt-deutschland-bricht-2013-ein-news25364

[60] Siehe: https://www.pv-magazine.de/2021/02/01/photovoltaik-zubau-in-deutschland-steigt-2020-auf-knapp-5-gigawatt/

[61] Siehe: https://www.bundestag.de/presse/hib/kurzmeldungen-929026

[62] Siehe: https://www.ndr.de/nachrichten/mecklenburg-vorpommern/Nordex-schliesst-heute-sein-Werk-in-Rostock,nordex220.html; https://www.rbb24.de/studiocottbus/panorama/2022/06/vestas-ende-uebernahme-standort-lauchhammer.html

[63] Siehe: https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions

[64] Zu den Seltenen Erden gehören die Elemente Scandium, Yttrium und Lanthan sowie die 14 im Periodensystem folgenden Lanthanoide: Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium.

[65] Siehe: https://www.misereor.de/fileadmin/publikationen/studie-rohstoffe-fuer-die-energiewende.pdf

[66] Siehe: https://power-shift.de/wp-content/uploads/2023/01/PS_066_Studie_Kreislaufwirschaft_v13_Web.pdf

[67] Siehe: https://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2019-12/solarzellen-herstellung-deutschland-firma-heliatek?page=7

[68] Siehe: https://en-einf.de/erneuerbare-energien-verhindern-den-blackout/

[69] Auch in Österreich: https://faktencheck-energiewende.at/fakt/die-erneuerbare-energiewende-schafft-versorgungssicherheit/

[70] Siehe: https://www.swp-berlin.org/themen/dossiers/energiepolitik/versorgungssicherheit

[71] Siehe: https://dserver.bundestag.de/btd/19/110/1911044.pdf

[72] Siehe: https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/energie-erste-kraftwerke-drosseln-leistung-so-beeinflusst-die-hitze-unsere-energieversorgung/28575890.html

[73] Siehe: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Versorgungssicherheit/start.html

[74] Siehe: https://www.ewi.uni-koeln.de/de/themen/versorgungssicherheit/

Alle Links zuletzt aufgerufen am 4. April 2023.

Impressum

Herausgeberin: Heinrich-Böll-Stiftung e.V.
Schumannstraße 8, 10117 Berlin
info@boell.de, www.boell.de, 030/285 34-0

Texte: Heinrich-Böll-Stiftung
Konzeption und Leitung: Anna Brehm (Heinrich-Böll-Stiftung)
Redaktionelle Mitarbeit: Rita Hoppe und Stephan Stoll (Heinrich-Böll-Stiftung)

Redaktionelle Anmerkung: Wir haben uns bemüht, in dieser Publikation so aktuell wie möglich zu sein. Doch leider lagen nicht in jedem Fall Zahlen aus den Jahren 2022 oder sogar 2023 vor; so musste gelegentlich auf ältere Werte zurückgegriffen werden.

Layout & Illustration: Grafikladen Berlin
Druck: Kern GmbH, Bexbach

ISBN 978-3-86928-256-5

V.i.S.d.P.: Annette Maennel, Heinrich-Böll-Stiftung 2023

Dieses Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA 4.0

Bestell- und Download-Adresse: Heinrich-Böll-Stiftung e.V.,
Schumannstraße 8, 10117 Berlin, buchversand@boell.de, www.boell.de/publikationen

HEINRICH BÖLL STIFTUNG

www.boell.de