

# **Didaktische Handreichung zum Thema**

## **Energiewende und Berufsorientierung im Technikunterricht**

Prof. Dr. Peter Röben, Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg  
Arbeitsgruppe Technische Bildung (ATB), technik-ol.de

Übersicht für den eiligen Leser: Worum geht es in den folgenden fünf Textabschnitten?

### **1. Die Bedeutung der Energiewende**

Die Energiewende ist eine komplexe gesellschaftliche Herausforderung, die den vollständigen Umstieg auf erneuerbare Energien sowie eine umfassende Umstrukturierung der Energieversorgung umfasst. Neben dem Klimawandel spielt auch die geopolitische Abhängigkeit eine wesentliche Rolle, wie die Reduzierung der russischen Gasimporte zeigt.

### **2. Wirtschaftliche und politische Aspekte in der Diskussion über die Energiewende**

Die Energiewende hat erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen, insbesondere durch steigende Energiepreise, CO<sub>2</sub>-Steuern und die Notwendigkeit umfangreicher Investitionen in die Infrastruktur. Das Merit-Order-Prinzip und die staatlichen Preisbestandteile beeinflussen den Strompreis erheblich, was in der gesellschaftlichen Debatte Missverständnisse erzeugt und von Gegnern der Energiewende und Leugnern des Klimawandels für gezielte Irreführungen benutzt wird. In der Diskussion um die Energiewende werden unwahre Aussagen getätigt, die auch im Unterricht aufkommen können und für deren Behandlung ein Hintergrundwissen sehr nützlich ist.

### **3. Technologische Entwicklungen und ihre Dynamik**

Die Entwicklung der erneuerbaren Energien ist schwer vorhersehbar. Beispielsweise wurde die Bedeutung der Photovoltaik in der Vergangenheit dramatisch unterschätzt, während andere Technologien, wie z.B. die Solarthermie, überschätzt wurden. Etwas Ähnliches scheint sich nun bei der Batteriespeichertechnologie zu wiederholen. Der technische Fortschritt kann Planungsgrundlagen schnell in Frage stellen, was Flexibilität in der Planung der Energiewende erfordert.

### **4. Bedeutung der Sektorenkopplung und Speichertechnologien**

Ein zentraler Aspekt der Energiewende ist die Verbindung verschiedener Energiebereiche durch Sektorenkopplung. Hierbei spielen Speichertechnologien wie Batterien und Wasserstoff eine entscheidende Rolle. Trotz der Fortschritte bei Batteriespeichern ist Wasserstoff eine Schlüsseltechnologie zur langfristigen Speicherung und zum Transport aus weitentlegenen Ländern wie z.B. Südamerika und Afrika.

### **5. Regionale Bedeutung der Energiewende**

Der Text zeigt, dass die Energiewende nicht nur eine nationale, sondern auch eine regionale Herausforderung ist. Die Metropolregion Nord-West will als einer der zentralen Knotenpunkte fungieren, insbesondere für den Import, die Speicherung und die Verteilung von Wasserstoff.

## 1. Die Bedeutung der Energiewende. Einleitung und aktuelle Situation Anfang 2025

Die Energiewende ist nicht nur eine Herkules-, sondern auch eine Generationenaufgabe. Sie erfordert enorme gesellschaftliche Kräfte und wird noch Jahrzehnte in Anspruch nehmen.

Der Ausstieg aus den fossilen Energierohstoffen ist in Europa und in Deutschland Gesetz. Deutschland will bis 2045 klimaneutral werden, bereits 2030, also in wenigen Jahren, aus der Kohleverstromung aussteigen und seinen Strom ab 2035 fast vollständig aus erneuerbaren Energien erzeugen. Die Stromversorgung ist auch auf einem guten Weg zu diesem Ziel (Abbildung 1). Aber in den Bereichen Verkehr und Wärme sieht es längst nicht so gut aus. Bei der Wärmeerzeugung kommen nur 18 % Erneuerbare zum Einsatz, im Verkehr sogar nur 7 %<sup>1</sup>.

Der Ukraine-Krieg hat deutlich gemacht, dass nicht nur der Klimawandel ein Grund für den Ausstieg ist, sondern auch die *Abhängigkeit* von Importen fossiler Brennstoffe, wenn man die nationale Energieversorgung darauf basiert. Bis 2022 lieferte Russland 36,5% des deutschen Erdgases und seit 2023 lediglich noch 0,1 %. Der Ölpreis ist nach Spitzenwerten von 125 \$ im Jahr 2022 auf ein hohes Niveau von ca. 75 \$ zurückgegangen, liegt aber deutlich über dem Preis der Vorjahre. Auch die Preise von Gas und Kohle sind nach den Extremwerten 2022 abgesunken, der Gaspreis stieg aber im letzten Quartal 24 wieder deutlich an<sup>2</sup>. Die Preise für fossile Energie werden zudem weiter steigen, allein schon, weil sie höher besteuert werden. Die CO<sub>2</sub>-Steuer wird 2025 um 22 % steigen und 2027 wird sich der Preis für die Freisetzung von CO<sub>2</sub> im europäischen Emissionshandel frei am Markt bilden. Dabei werden Preissteigerungen von mehr als 400% gegenüber 2024 erwartet. Der Liter Benzin könnte dann 60 Cent mehr kosten und das Heizen mit Gas würde für einen Vier-Personen-Haushalt pro Jahr 1000 € teurer werden<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg\\_07\\_40/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_40/default/table?lang=en)

<sup>2</sup> Daten nach Statista

<sup>3</sup> <https://www.zew.de/das-zew/aktuelles/die-meisten-sind-auf-diese-preise-nicht-vorbereitet>

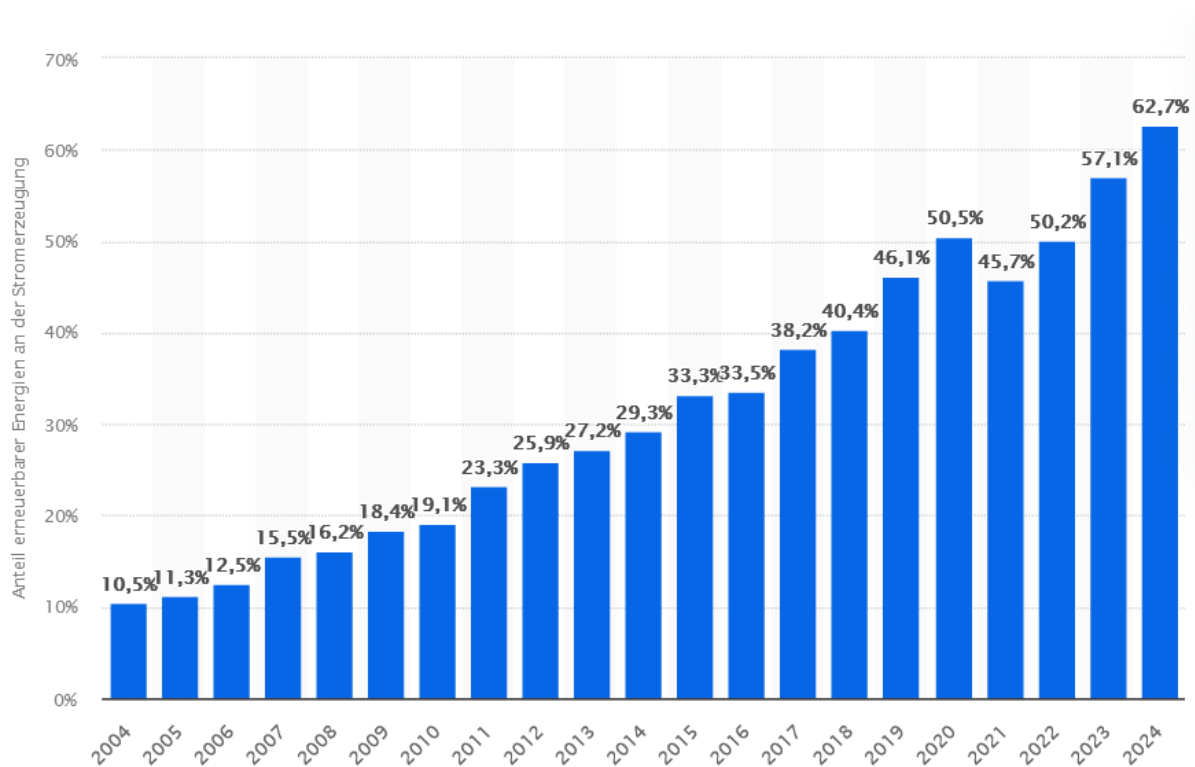


Abbildung 1 Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Deutschland bis 2024. Über die Hälfte des in Deutschland im Jahr 2024 erzeugten Nettostroms wurde durch erneuerbare Energien erzeugt. Seit dem Jahr 2004 hat sich der Anteil somit um etwa das Sechsfache erhöht.<sup>4</sup>

## 2. Wirtschaftliche und politische Aspekte und die unwahren Aussagen über die Energiewende

Die Energiewende ist aus vielen Gründen notwendig, aber trotzdem heiß umstritten, weil die Umverteilung der mit dem Umbau verbundenen Kosten die verschiedenen Gruppen in der Gesellschaft sehr unterschiedlich belastet. Vor diesem Hintergrund haben Mythen über die Energiewende und die regenerativen Energietechniken einen fruchtbaren Boden, die einem Faktencheck nicht standhalten<sup>5</sup>. Es gibt regelrechte Kampagnen gegen die Energiewende, z.B. durch die Bildzeitung. Sie titelt etwa „Die Lüge vom billigen Öko-Strom“<sup>6</sup>. Wenn das eine Lüge ist, wer setzt sie dann in die Welt? Wer behauptet also, dass die regenerativen Energien billig sind? Diese Behauptung wird z.B. vom Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme aufgestellt und lässt sich in dieser Grafik ablesen:

<sup>4</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1058899/umfrage/erneuerbare-energien-anteil-an-der-stromerzeugung-in-deutschland/>

<sup>5</sup> Ein Beispiel für einen solchen Faktencheck liefert z.B. die promovierte Chemikerin Mai Thi Nguyen-Kim: <https://www.zdf.de/show/mai-think-x-die-show/maithink-x---die-show-158.html>

<sup>6</sup> <https://www.bild.de/politik/meinung-kommentare-kolumnen/kommentar-zur-energie-wende-die-luege-vom-billigen-oeko-strom-6631109514cba164d4c1ec06>

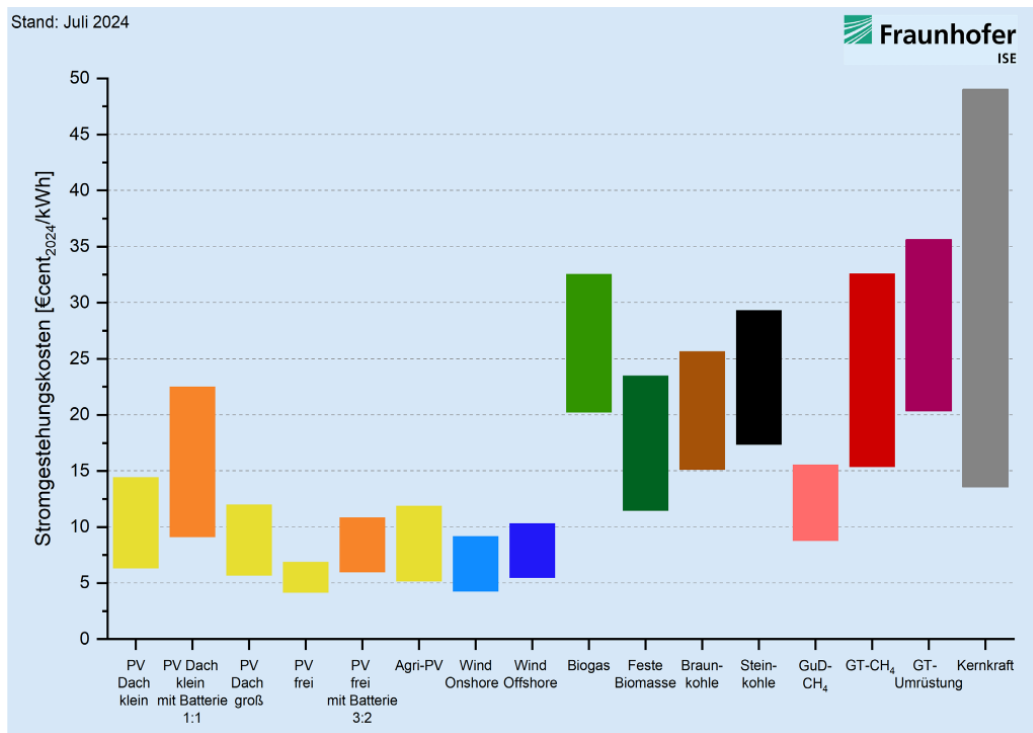


Abbildung 2 Stromgestehungskosten für Erneuerbare Energien und konventionelle Kraftwerke in Deutschland 2024.<sup>5</sup>

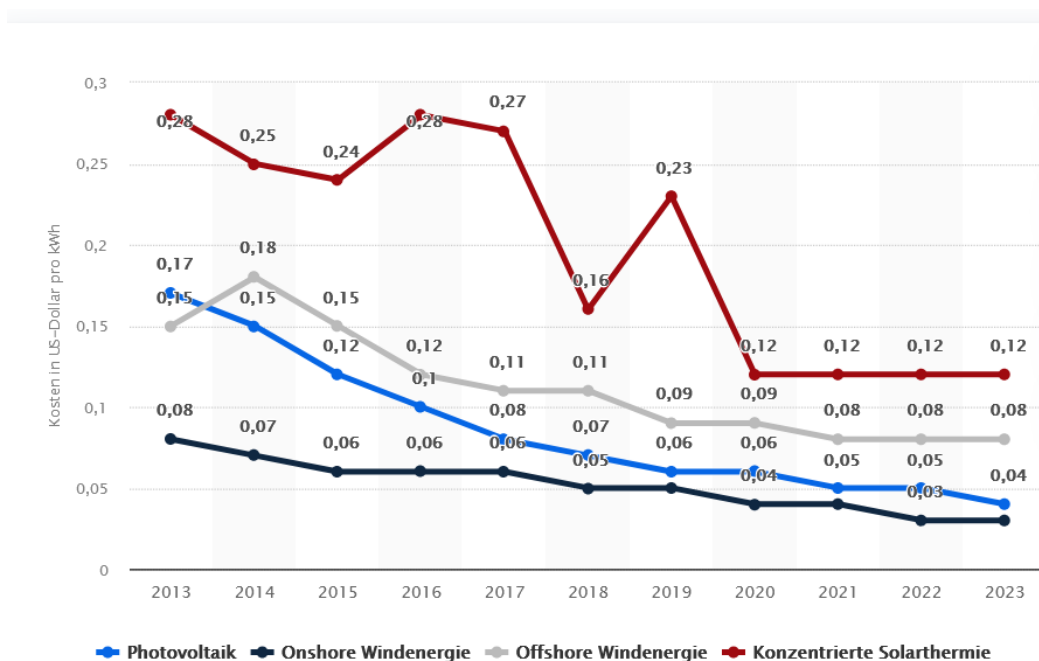


Abbildung 3 Globale Stromgestehungskosten (LCOE) für Erneuerbare Energien von 2013 bis 2023. Die Stromgestehungskosten oder LCOE (Levelized Cost of Electricity) zeigen an zu welchem Preis eine Technologie durchschnittlich eine Kilowattstunde Strom erzeugt. Diese Kosten sind vor allem bei den erneuerbaren Energien in den letzten 10 Jahren drastisch zurückgegangen. Der stärkste Kostenrückgang lässt sich in der Photovoltaik beobachten, wo die Kosten von 0,17 US-Dollar in 2013 auf 0,04 US-Dollar pro Kilowattstunde in 2023 sanken, ein Rückgang um etwa 76 Prozent. Durchschnittlich sind die Kosten dieser vier Energieträger um ca. 70 Prozent in den letzten 10 Jahren gesunken.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1303804/umfrage/stromgestehungskosten-lcoe-fuer-erneuerbare-energien/>

Die aktuellen Kosten sind die Folge einer kontinuierlichen Verbilligung der Erneuerbaren. Dieser Trend zeigt sich auch weltweit (Abbildung 3). An der billigen Energie aus erneuerbaren Energien kann es daher keinen Zweifel geben. Eigentlich ein Umstand, den man bejubeln sollte und eine Erfolgsgeschichte, die ihres Gleichen sucht. Waren die Kosten doch noch vor gar nicht langer Zeit sehr hoch.

Der Gestehungspreis des Stroms hängt davon ab, wie er erzeugt wird. Deswegen sind Bandbreiten in der Grafik des Fraunhofer-Instituts dargestellt. Strom aus Photovoltaik ist aus großen Anlagen billiger als aus kleinen und deswegen liegen die Preise zwischen 4,1 und 14,4 €Cent pro kWh<sup>8</sup>. In Bezug auf den Gestehungspreis gibt es eine klare Rolle der Technik: Die Gestehungskosten lassen sich durch die Produktion auf großen Skalen kräftig senken. Aber eine Erklärung für die Verwirrung ist das nicht.

Denn selbst der höhere Wert der Bandbreiten ist attraktiv und liegt deutlich unter den Verkaufspreisen der Energieversorger. Der Boom der Balkonkraftwerke wäre – folgt man der Bildzeitung - also nichts als ein Reinfall auf eine Lüge? Doch die Bildzeitung lässt im Verlauf ihres Artikels erkennen, dass sie trotz der suggestiven Verwendung des Wortes „Strompreislüge“ gar nicht den Gestehungspreis meint, sondern den Verkaufspreis für die Konsumenten. Dieser wird allerdings durch die Gestehungspreise nur zum Teil bestimmt. Der Strompreis ist ähnlich wie der Benzin- oder Dieselpreis ein politischer Preis und kein normaler Marktpreis. Jeder Kunde an der Tankstelle wird mit Aufklebern darüber aufgeklärt, dass auch diese klassische Energie durch allerlei Aufschläge, Abgaben und Steuern zu einem Preis verkauft wird, der durch den Gestehungspreis (hier: Rohöl + Raffinerie + Transport etc.) mit einem Anteil von ca. 45 % nicht in erster Linie bestimmt wird. Doch auch der hier weiß man, dass auch der Gestehungspreis keine Konstante ist, sondern durch die Ausschläge an der Ölbörse zu bestimmten Zeiten erheblich schwanken kann.

Wenn man erklären will, wie der Strompreis, den der Stromkunde zahlen muss, entsteht, muss man sogar noch weiter ausholen als beim Benzinpreis, weil es einen weiteren Bestimmungsfaktor für den Strompreis gibt, den man vom Ölpreis nicht kennt.

Dieser zusätzliche Faktor hängt mit einer Besonderheit des elektrischen Netzes zusammen, nämlich die zwingende Ausgewogenheit von Stromangebot und -nachfrage. Bei der Preisermittlung an der Strombörse kommt ein besonderes Verfahren zur Ermittlung des jeweils aktuellen Strompreises zur Anwendung, das sog. Merit-Order-Verfahren. Am Tag vor der Lieferung des Stroms werden an der Day-ahead-Strombörse die Angebote der Lieferanten und die Nachfragen z.B. der Stadtwerke und

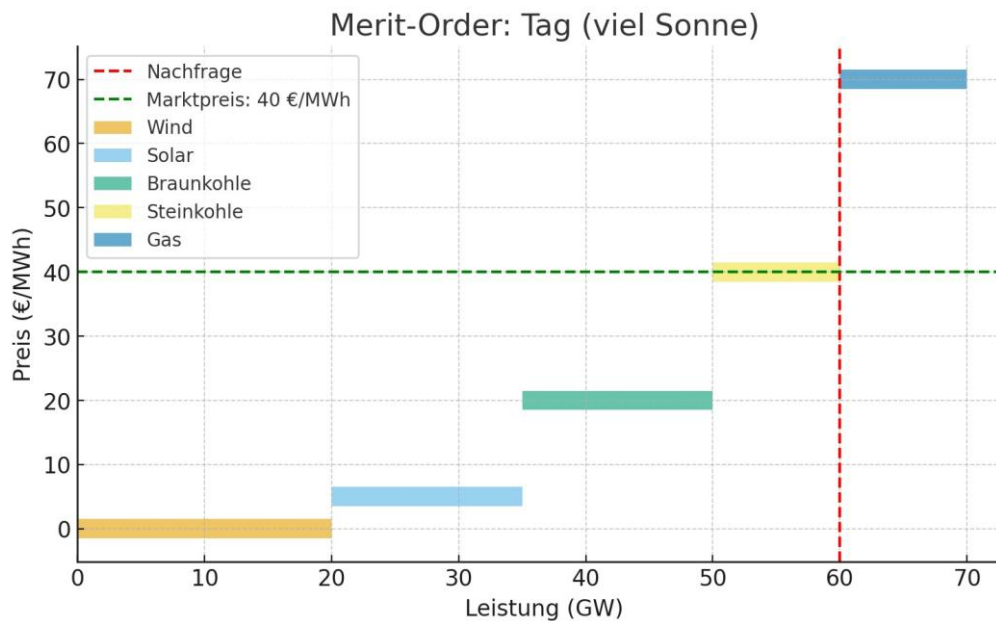
---

<sup>8</sup> Kost, Christoph; Müller, Paul; Schweiger, Jael Sepúlveda; Fluri, Verena; Thomson, Jessica (2024): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. Freiburg, S.2f. Online verfügbar unter [https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024\\_ISE\\_Studie\\_Stromgestehungskosten\\_Erneuerbare\\_Energien.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2024_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf)

Stromversorger abgegeben. Dieses Verfahren wurde eingeführt, um den Strompreis niedrig zu halten. Deswegen werden die Angebote nach den Gestehungskosten (eigentlich Grenzkosten, d.h. nur die zusätzlichen Kosten für den Anbieter werden akzeptiert) sortiert, die billigsten zuerst, dann die teureren, bis die Deckung der Nachfrage erreicht ist. Die darüberliegenden Erzeuger haben das Nachsehen. Aber der Strompreis wird durch die teuerste noch berücksichtigte Energie bestimmt, z.B. der Strom aus teuren Kohlekraftwerken. Das ist für die Einspeiser mit geringen Grenzkosten natürlich sehr vorteilhaft, für die Stromkonsumenten nicht.

Auch durch die Vorrangregel, durch die die erneuerbaren Energien bevorzugt werden, kann es auch zum Effekt der Preiserhöhung kommen. Wie kann das sein? Dies geschieht in Zeiten eines „Überangebots“ von Solar- und Windstroms (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5).

Wie dies konkret in zwei unterschiedlichen Situationen aussehen kann, zeigt Abbildung 4.



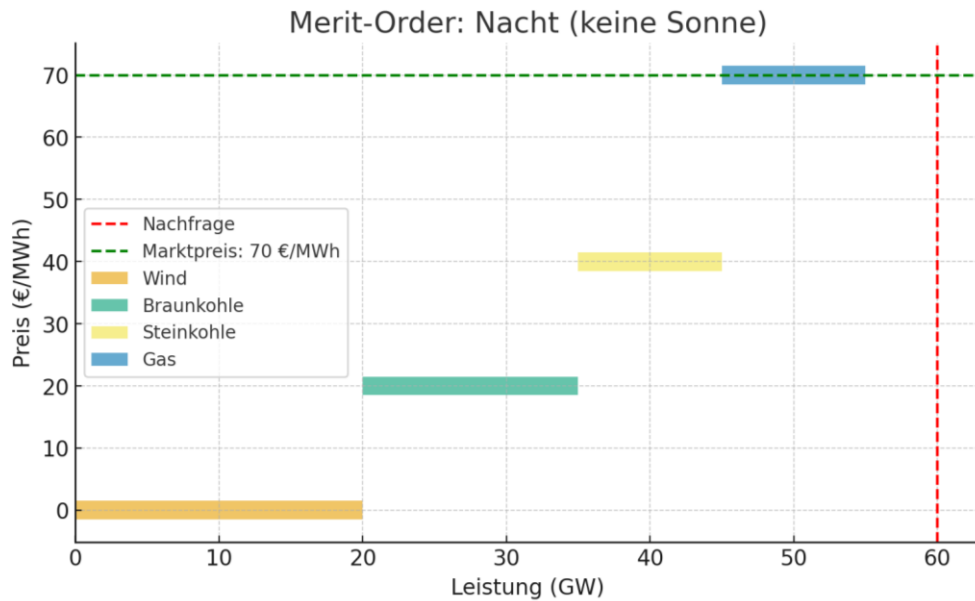


Abbildung 4 Der Zusammenhang zwischen Gestehungskosten und der Preisbildung auf dem Strommarkt: Oben ist die Situation am Tag dargestellt. Die Windenergie ist am günstigsten und taucht daher ganz links auf der x-Achse auf. Sie kann eine Nachfrage bis 20 GW decken. Ist die Nachfrage höher, dann muss die nächstteuere Energie hinzugefügt werden, das ist die Solarenergie mit ca. 5€/MWh. Sie kann zusätzliche 15 GW zu Verfügung stellen. Steigt aber der Bedarf auf über 35 GW, muss die Braunkohle mit einem Preis von 20 €/MWh hinzugenommen werden. Wenn der Bedarf 60 GW erreicht, dann muss auch die Steinkohle hinzugenommen werden und der Preis steigt auf 40 €/MWh. Dieser Preis gilt dann für alle, die Strom einspeisen. Die Gestehungskosten werden als Grenzkosten berücksichtigt, d.h. es zählt nur der Preis, der den Anbietern für die **zusätzliche** Einspeisung entsteht, die Fixkosten werden dabei nicht berücksichtigt. In der Nacht fällt die Sonnenenergie weg, es werden die sehr teuren Gaskraftwerke hinzugenommen und der Preis steigt auf 70 €/MWh<sup>9</sup>.

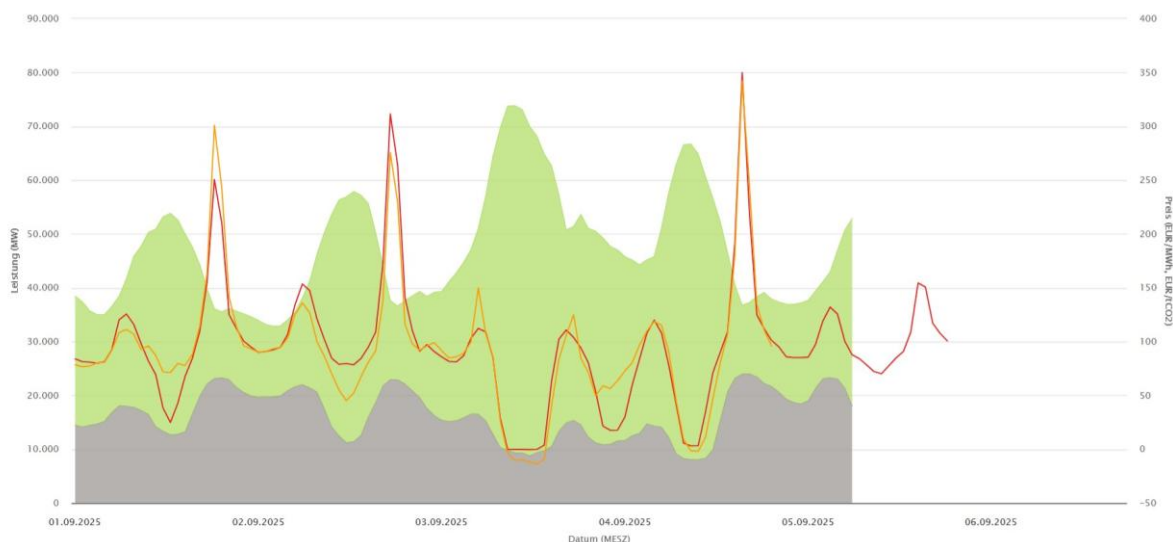


Abbildung 5 Stromproduktion und Börsenstrompreis Deutschland in KW 36<sup>10</sup>. In dieser Grafik kann man die Auswirkungen der Schwankungen der erneuerbaren Energien und die Wirkung auf den Börsenpreis gut erkennen. Grün stellt den Anteil der Erneuerbaren und grau den der klassischen Energien an der Stromproduktion dar. Die rote

<sup>9</sup> Wem in der Grafik aufgefallen ist, dass bei Windenergie die Grenzkosten 0 € betragen und bei Solarenergie 5€ und das als Widerspruch zu der Tatsache ansieht, dass doch für beide Energiearten keine Brennstoffkosten anfallen („Die Sonne schickt keine Rechnung“), der ist sehr aufmerksam. Der Unterschied liegt in der Definition der Grenzkosten und bei der Solarenergie zählen manche Autorinnen und Autoren, wie z.B. die von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. in München, Transaktionskosten dazu.

<sup>10</sup> [https://www.energy-charts.info/charts/price\\_spot\\_market/chart.htm?c=DE&interval=year&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.energy-charts.info/charts/price_spot_market/chart.htm?c=DE&interval=year&utm_source=chatgpt.com)

*Linie den Marktpreis. Mittags kommt es regelmäßig zu dem Tiefpunkt der Preiskurve verursacht durch den großen Anteil regenerativer Energien und der Preis geht am 4. und 5.9. sogar gegen 0. Aber sobald ihr Anteil geringer wird und die Nachfrage immer noch hoch ist, schießt der Preis in die Höhe. Das ist die Wirkung des Merit-Order-Verfahrens, das den Strompreis für alle durch die teuerste Energieform festlegt. Diese Preisschwankungen sind hoch und sehr volatil: Allerdings muss man wissen, dass nur ein Teil (20-40%) der Strommenge an diesem sog. Spotmarkt verkauft wird, der andere Teil wird langfristig am Terminmarkt gehandelt.*

Der am Ende des Verfahrens ermittelte höchste Preis wird für alle eingespeisten Strommengen gezahlt und da treffen wir auf eine Erklärung für den hohen Strompreis der Konsumenten. Dieses Verfahren ist eine willkürliche Festlegung, die nicht aus technischen Notwendigkeiten herrührt. In der Folge führt das Verfahren zu Gewinnen bei den Anbietern von Solar- und Windstrom, da die geringen Gestehungskosten weit unter dem Verkaufspreis liegen. Das Merit-Order-Verfahren wurde schon im Zuge der Liberalisierung der Strommärkte in den neunziger Jahren eingeführt und war damals nicht auf die Erneuerbaren Energien zugeschnitten worden, weil diese erst im einstelligen Prozentbereich zur Elektrizitätserzeugung beitrugen. Wind- und Sonnenenergie lagen bei 0,4 %<sup>11</sup>. Die dominierenden Energien waren Braunkohle, Steinkohle und Kernenergie, während die führende regenerative Energie mit 92 % die Wasserkraft war.

Die Preisermittlung durch das Merit-Order-Verfahren wurde erst mit der Preisreduktion und der Zunahme der Einspeisemengen der Erneuerbaren Energien zu einem Kostentreiber, zusammen mit der Vorrangregel aus dem EEG. Die Absicht, den Strom zu verbilligen, führt auch ohne Vorrang dazu, dass die Erneuerbaren immer die ersten bei der Aufstellung der Merit-Order sind, aber bei Netzengpässen, z.B. bei Starkwind, greift die Vorrangregel und die klassischen Energieerzeuger müssen heruntergeregelt werden. Da ca. 95% der entgangenen Einnahmen als Kompensation gezahlt werden, wird der Strom teurer, weil die Kosten für die Kompensation auf alle Netzkunden verteilt werden. Bei den Ausfällen der regenerativen Energien dagegen springen die teuren Gaskraftwerke ein. Durch den Speicherausbau wird sich das schon in diesem Jahr deutlich ändern. Denn dann wird nicht mehr kompensiert, sondern der „überschüssige“ Strom wird gespeichert und bei nächster Gelegenheit zu günstigem Preis wieder eingespeist. Man muss verstehen, dass das augenblickliche Stromnetz noch in einer Übergangsphase ist und der neue Zustand noch nicht erreicht ist. Erst wenn die teuren alten Energieträger verschwunden und die Speicher so weit aufgebaut sind, dass sie in der Zeit von Windflauten und Dunkelphasen als Puffer dienen und den dadurch verursachten Ausfall der Leistung auffangen, ist das Energienetz in einem neuen stationären Zustand.

Doch damit noch nicht genug. In den Komponenten des Strompreises finden sich auch noch andere Preistreiber. Die Bundesregierung weist selbst darauf hin, dass im Mittel

---

<sup>11</sup> [https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/zeitreihen-zur-entwicklung-der-erneuerbaren-energien-in-deutschland-1990-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=6)



staatlich veranlasste Preisbestandteile etwa 40 % des Strompreises ausmachen<sup>12</sup>. Man erkennt: die hohen Kosten des Stroms sind durch die noch zu geringen Kapazitäten der preiswerten Stromerzeuger begründet. Aber der Ausbau der erneuerbaren Energien erhält durch die Merit-Order-Preisbildung einen Anreiz und dadurch werden die Kapazitäten vergrößert.

Aber das Merit-Order-Verfahren allein bestimmt nicht den ganzen Strompreis. Die Vorrangregel für die erneuerbaren Energien führt in Zeiten großer Einspeiseangebote dazu, dass mehr angeboten wird als gebraucht wird. Da Angebot und Nachfrage im Stromnetz aber identisch sein müssen, führt das Verfahren allerdings bei hohen Einspeisemengen von regenerativen Energien zu negativen Preisen, was Gewinne nach dem Merit-Order-Prinzip auch wieder zunichtemachen kann.

Das ganze Verfahren ist also nicht mehr zeitgemäß und überarbeitungsbedürftig. Die Diskussion darüber ist im vollen Gange. Themen, die hier diskutiert werden, sind: EU-Strommarktreform – Contracts for Difference (CfDs). Die Erneuerbaren erhalten einen garantierten Preis, die Differenz zum darunterliegenden Marktpreis wird vom Staat erstattet, wenn er darüberliegt, wird die Differenz an den Staat gezahlt. Es werden auch alternative Preisbildungsmethoden erwogen (z.B. „pay as bid“, bezahlt wird, was geboten wurde). Weitere Themen sind Kapazitätsmärkte, Eigenvermarktungspflicht für die Erneuerbaren und eine Reform des Netzentgelts.

Die Energiewende wird durch die aktuelle politische Situation beeinflusst: Das kann man z.B. an den Auktionen für Offshore-Flächen zeigen. Nach Auskunft der Bundesnetzagentur zeigte sich 2023 ein sehr großer Wettbewerb um Flächen für Offshore-Windenergieparks. Es wurde eine Leistung von 8,8 GW ausgeschrieben, ohne staatliche Förderung. Der Staat hat dafür Zusagen von insgesamt 12,6 Mrd. Euro erhalten<sup>13</sup>. Das zeigt, dass Offshore-Windparks für Investoren attraktiv sein können, selbst ohne staatliche Förderungen. 2025 ist für die ausgeschriebenen 2,5 GW kein einziges Gebot eingegangen<sup>14</sup>. Die Gründe sind vielschichtig: Das konkret ausgeschriebene Gebiet des Offshore-Parks liegt in Nachbarschaft von bereits bestehenden Parks und durch Abschattungseffekte wird eine geringere Windernte erwartet. Dann kommt hinzu, dass die 2023 ausgeschriebenen Gebiete bereits untersucht waren und dies von den Investoren nicht mehr selbst gemacht werden musste. 2025 war das nicht der Fall. Weiterhin haben sich die Finanzierungskosten deutlich erhöht und die Lieferketten sind durch die Turbulenzen am Weltmarkt weniger

---

<sup>12</sup> <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/strompreise-bestandteile.html>

<sup>13</sup> Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt (Hg.) (2025): Monitoringbericht 2024. S. 17. Online verfügbar unter

<https://data.bundesnetzagentur.de/Bundesnetzagentur/SharedDocs/Mediathek/Monitoringberichte/MonitoringberichtEnergie2024.pdf>, zuletzt aktualisiert am 27.01.2025, zuletzt geprüft am 08.02.2025.

<sup>14</sup> [https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/windenergie/keine-bieter-fuer-windparks-in-der-nordsee?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.energiezukunft.eu/erneuerbare-energien/windenergie/keine-bieter-fuer-windparks-in-der-nordsee?utm_source=chatgpt.com)

zuverlässig und damit steigen die Risiken. Dazu kommt, dass die Gebiete 2025 auch weiter draußen liegen und die Bodenverhältnisse schwieriger sind.

Schauen wir uns nun aber die Zusammensetzung des Strompreises genauer an. Der Strompreis für die Endkunden setzt sich aus drei Hauptbestandteilen zusammen:

1. Beschaffung & Vertrieb (ca. 40–45 %)
  - Einkauf an Börse und über langfristige Verträge
  - Kosten für Stromvertrieb, Service, Marge des Versorgers
2. Netzentgelte (ca. 20–25 %)
  - Gebühren für Transport und Verteilung (Übertragungsnetz + Verteilnetz)
  - Enthalten auch Kosten für Netzausbau, -erhalt und Messstellenbetrieb
3. Steuern, Abgaben & Umlagen (ca. 30–35 %)
  - Mehrwertsteuer (19 %)
  - Stromsteuer (2,05 ct/kWh)
  - Konzessionsabgabe (je nach Gemeinde, ca. 1,3–2,4 ct/kWh)
  - Umlagen für Netzstabilität, Offshore-Haftung, §19 StromNEV (Stromnetzentgeltverordnung<sup>15</sup>) usw.
  - Die frühere EEG-Umlage (zur Finanzierung der Energiewende) wurde 2022 abgeschafft – die Kosten trägt jetzt der Bundeshaushalt.

Tatsächlich ist der Börsenpreis für Strom gesunken. Insofern waren die Versprechen der Bundesregierung nicht völlig daher geholt. Aber durch die Erhöhungen in den anderen Kostenbestandteilen wurden insbesondere die privaten Konsumenten getroffen. Der Stromkonsument zahlt über den Strompreis also nicht nur den Erzeugungspreis oder den Börsenpreis, sondern z.B. auch Kosten für den Bau und die Erweiterung neuer Trassen und Kompensationen für die Energieerzeuger, die nicht einspeisen konnten.

Die Bildzeitung zielt mit ihrem Titel auf ein Gefühl bei ihren Leserinnen und Lesern, die die steigenden Energiepreise empfindlich in ihrem Portemonnaie treffen und die den Eindruck haben, dass sie durch die steigenden Preise immer mehr ausgenommen werden. Tatsächlich stiegen die Preise der Verbraucher auch drastisch an. Aber als Argument gegen die Energiewende taugt das Gefühl nicht. In der Geschichte der Energieversorgung wurden und werden dieselben Menschen und ihre Geldbeutel z.B. auch für die Kosten und Folgekosten der Kernenergie herangezogen. Die Kosten für den vorgezogenen Ausstieg auf Seiten der Unternehmen wurde durch Atomfonds finanziert, die aus dem Bundeshaushalt bezahlt wurden. Mit dem Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung (2017) übernimmt der Staat (Bund) die langfristige Zwischen- und Endlagerung des Atom Mülls. Die Unternehmen zahlen

---

<sup>15</sup> Hier wird u.a. geregelt, dass energieintensive Unternehmen oder Verbraucher mit atypischem Lastprofil (z. B. nachts sehr hoher Verbrauch, wenn das Netz sonst schwach ausgelastet ist) geringere oder sogar keine Netzentgelte zahlen müssen. Diese Kosten werden dann auf alle übrigen Netzteilnehmer umverteilt.

nur in einen Fond ein und sind von der Verantwortung befreit. Was das bedeutet, kann man an den Meldungen z.B. zum Atomlager Asse sehen, von dem selbst der zuständige Minister gesagt hat, dass es das größte Atommüllproblem Europas sei<sup>16</sup>. Die dort eingelagerten Abfälle müssen alle wieder aus dem Bergwerk herausgeholt werden. Damit fängt man voraussichtlich 2033 an. Das verursacht voraussichtlich Kosten in Milliardenhöhe. Doch auch die klassischen Energien wie Stein- und Braunkohle wurden in einem riesigen Umfang staatlich finanziert und finanziell entlastet

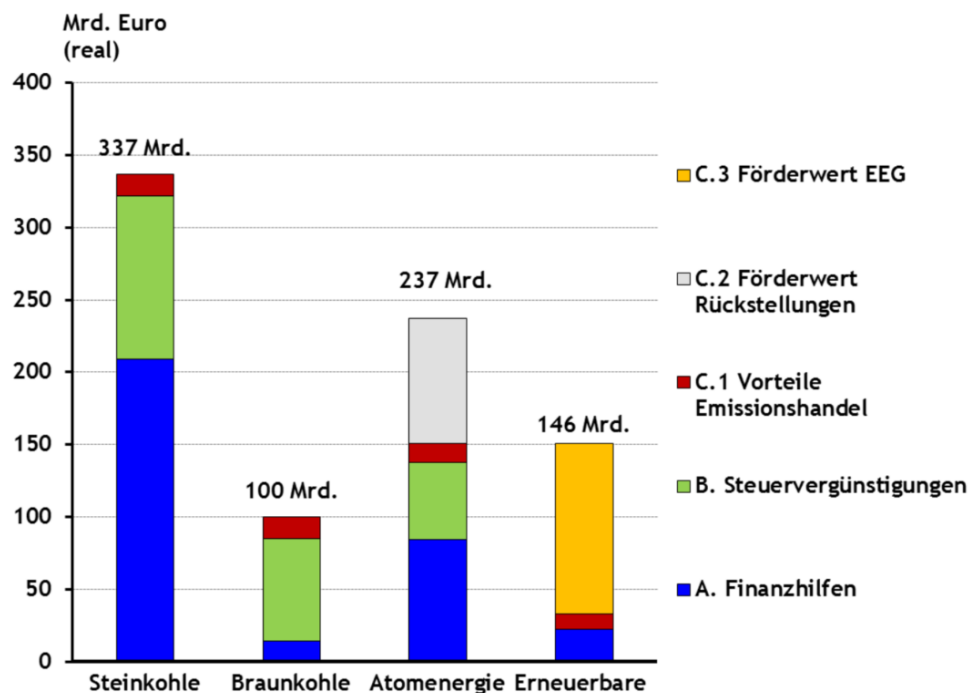


Abbildung 6 „Für den systematischen Vergleich von staatlichen Förderungen unterschiedlicher Energieträger wird ein weit gefasster Subventionsbegriff zugrunde gelegt, der neben direkten Finanzhilfen (A) und Steuervergünstigungen (B) auch weitere vom Staatshaushalt unabhängige Regelungen (C) wie den Förderwert des Emissionshandels, der Atomrückstellungen und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes erfasst. Anhand dieser umfassenden Perspektive kann ein annähernd vollständiges Bild der staatlich veranlassten Begünstigungen und der damit verbundenen gesamtgesellschaftlichen Kosten der Energieträger erreicht werden.“<sup>17</sup>

Die Mär vom teuren Wind- und Solarstrom ist nur ein Beispiel aus der Sammlung von 7 Mythen, die Mai Thi Nguyen-Kim in ihrer Sendung kritisch hinterfragt<sup>5</sup>. Andere sind das Vogelsterben, der Infraschall, nachhaltige Holzheizungen, teure und ineffiziente Wärmepumpen, Wasserstoff als Lösung für alles in der Energiewende und Erneuerbare Energie sei schlecht für die Umwelt. Da einige diese Mythen auch den Schülerinnen und

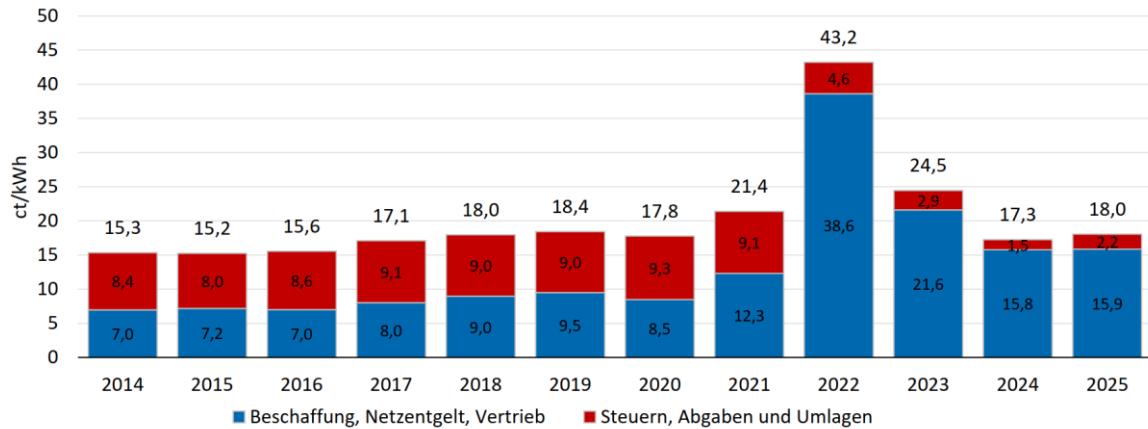
<sup>16</sup> Das war Sigmar Gabriel 2008: [https://www.spiegel.de/international/germany/the-world-from-berlin-the-most-problematic-nuclear-facility-in-europe-a-576027.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.spiegel.de/international/germany/the-world-from-berlin-the-most-problematic-nuclear-facility-in-europe-a-576027.html?utm_source=chatgpt.com)

<sup>17</sup> Wronski, Rupert; Fiedler, Swantje (2017): Was Strom wirklich kostet. Vergleich der staatlichen Förderungen und gesamtgesellschaftlichen Kosten von konventionellen und erneuerbaren Energien. Hg. v. Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft. Berlin. Online verfügbar unter [https://foes.de/pdf/2012-08-Was\\_Strom\\_wirklich\\_kostet\\_lang.pdf](https://foes.de/pdf/2012-08-Was_Strom_wirklich_kostet_lang.pdf), zuletzt geprüft am 11.09.2025.

Schülern bekannt sind, ist ein Aufgreifen im Unterricht sicherlich richtig, zumindest sollte man sich als Lehrkraft mit den Argumenten vertraut machen.

## Strompreis Industrie als Jahreswerte

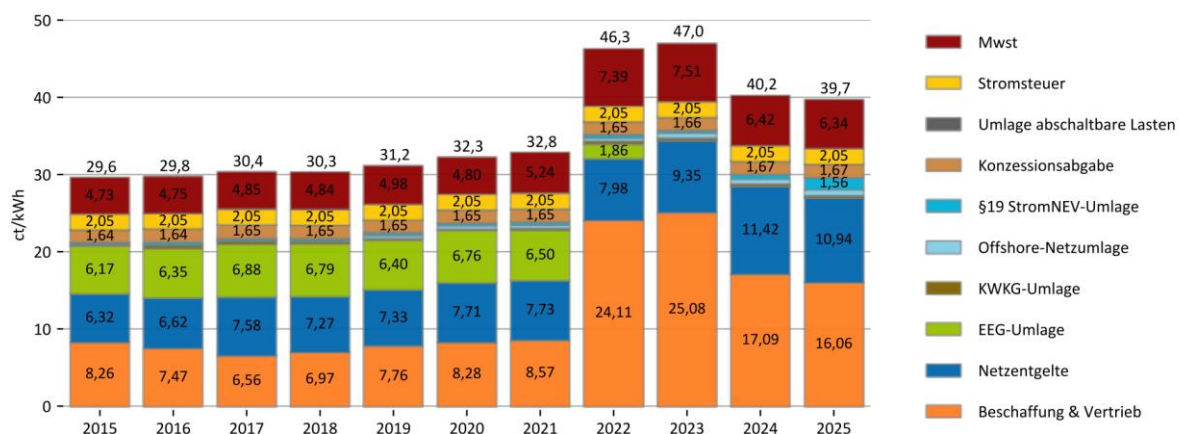
Durchschnittlicher Strompreis für Neuabschlüsse in der Industrie inkl. reduzierter Stromsteuer, Jahresverbrauch 160.000 bis 20 Mio. kWh, mittelspannungsseitige Versorgung, Belieferung im Frontjahr



Quelle: VEA, Datenstand 07/2025

## Strompreiskomponenten für Haushalte

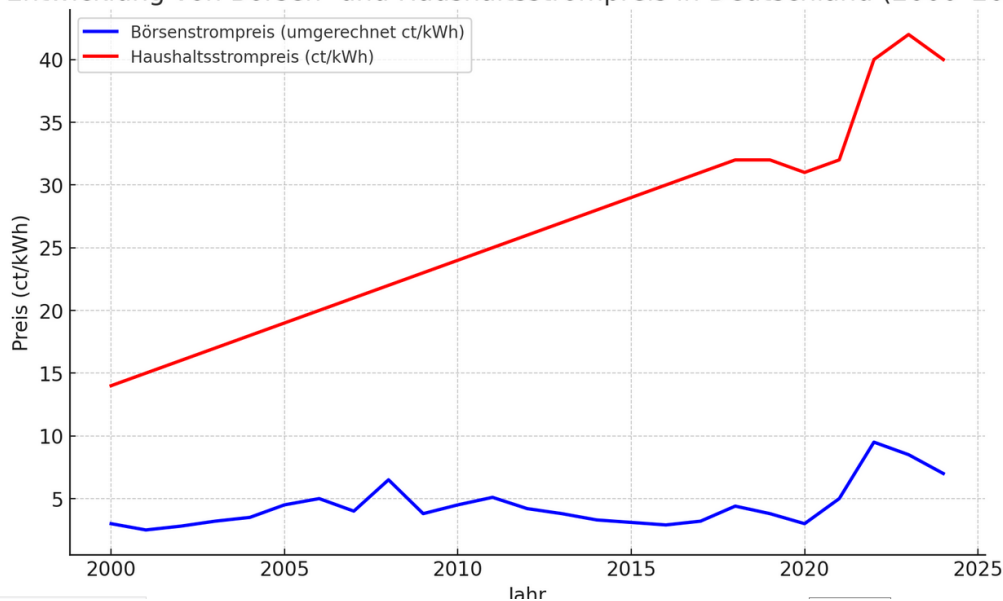
Durchschnittlicher Strompreis für Haushalte mit einem Jahresverbrauch von 3.500 kWh



Quelle: BDEW, Datenstand 07/2025

Abbildung 7 Strompreis für Industrie und Haushalte. Im Jahr 2022 gingen für beide Gruppen die Strompreise hoch, aber davor und danach ist der Strompreis für die Industrie deutlich niedriger. Auch die viel geringeren Abgaben und Umlagen für die Industrie sind mit einem Blick zu erkennen. Der Grund dafür ist der produktive Gebrauch des Stroms in der Industrie. Steigt der Strompreis hier an, wird alles, was produziert wird, teurer, weil die Energiekosten auf den Verkaufspreis aufgeschlagen werden. Der Konsument hingegen verwendet den Strom konsumtiv. Steigt der Strompreis an, kann er die Kosten nicht weitergeben. Er muss er sich im Stromverbrauch einschränken oder tiefer in die Tasche greifen.

Entwicklung von Börsen- und Haushaltsstrompreis in Deutschland (2000–2024)



### 3. Technologische Entwicklungen und ihre Dynamik

Die Energiewende ist mehr als nur die Behandlung der technischen Seite von Anlagen für regenerative Energien. Energiewende bedeutet einen Umbau des ganzen Energiesystems und teilweise auch die Schaffung von neuen Energiesystemen. Damit sind nicht nur neue Anlagen gemeint. Bereiche der Energietechnik, die bisher getrennt waren, werden nun zusammengedacht und gekoppelt. In der Energietechnik wird dieser Trend durch die sog. Sektorenkopplung beschrieben. Damit ist gemeint, dass der Stromsektor zum Zentrum der Energiewende in den Sektoren Wärme und Mobilität wird, aber zwischen den Sektoren Energie in beide Richtungen geschickt werden kann. Aus Strom, der in den großen Windparks der Nordsee zu bestimmten Zeiten im Überfluss entsteht, soll in Elektrolyseuren, wie sie in der Metropolregion z.B. in Bremen, Wilhelmshaven und Brake gebaut werden, Wasserstoff erzeugt werden, der gespeichert wird und anschließend nicht nur zur Stromproduktion, sondern auch im Wärmesektor oder Verkehrssektor genutzt werden soll. Das ergibt allerdings erst dann Sinn, wenn Wasserstoff in großen Mengen anfällt und billig wird. Bis dahin ist noch ein langer Weg zu gehen. Die Erzeugung von Wasserstoff auf großer Stufenleiter ist aber der Plan der Bundesregierung und ist für die Energiewende ein so wichtiger Baustein, dass man sich eine Energiewende bislang kaum ohne Wasserstoff vorstellen kann. Windräder produzieren nun mal nur Strom, wenn der Wind bläst. Es ist zwingend, dass die Nennleistung<sup>18</sup> der installierten Windkraftanlagen viel größer ist als die maximale abgenommene Leistung, sonst würde bei schwachem Wind nicht genug Strom produziert werden. Die riesigen Windparks produzieren bei hohen Windgeschwindigkeiten gigantische Mengen an Elektrizität, viel mehr als das

<sup>18</sup> Die Leistung, die maximal abgegeben werden kann.

Energiesystem dann aktuell verbrauchen kann. Schon jetzt kommt es in solchen Fällen zu Abschaltungen von Solar- und Windanlagen. Doch in Wasserstoff umgewandelt wird dieser „überschüssige“ Strom speicherbar. Man kann Elektrizität natürlich auch direkt speichern und mit diesen sog. Batterie-Speichern entsteht der Wasserstofftechnik ein Konkurrent. Geht man allerdings davon aus, dass 10 % bis 24 % der erzeugten jährlichen elektrischen Energie gespeichert werden muss, sind die zu speichernden Mengen so groß, dass die aktuellen Batteriespeicher dafür nicht reichen werden. Geht man von der unteren Grenze aus, wären das nach den Planungen für 2030 ca. 60 TWh<sup>19</sup>. Die theoretische Kapazität nach der Umrüstung der Kavernen für die Nutzung von Wasserstoff beträgt 33 TWh<sup>20</sup>. Doch das sind Schätzungen und diese Werte werden in den nächsten 5 Jahren wohl kaum realisiert werden können.

Wenn man elektrischen Speicher dafür nutzen wollte, müsste die Speicherkapazität von 2024 (19GWh, also 0,019 TWh) um mehr als den Faktor 3000 vergrößert werden. Schon das macht deutlich, dass an Wasserstoff wohl kein Weg vorbeiführt. Hinzu kommt, dass die elektrischen Speicher nicht als Langzeitspeicher geeignet sind. Allerdings sind die Entwicklungen in diesem Gebiet stürmisch und es zeichnet sich eine Revolution der Energiespeicher ab, die die Speicherkapazitäten enorm in die Höhe treiben kann.

Manchmal wird die Rechnung ohne den technischen Fortschritt erstellt. Ein Phänomen, das man in der Energietechnik bereits mehrfach beobachten konnte. Die Einschätzung des Beitrags der Photovoltaik an der Stromerzeugung wurde in der Vergangenheit drastisch unterschätzt. Hans-Peter Villis, der ehemalige Vorstandsvorsitzenden der EnBW schätzt 2009: „Für eine effiziente, großtechnische Nutzung der Solarenergie scheint in Deutschland zu selten die Sonne. Der Solaranteil an der Energieerzeugung wird auch 2020 noch bei gerade mal einem Prozent liegen.“<sup>21</sup>. Dieser Anteil wurde schon im selben Jahr, also 2009, übertroffen, damals 1,1%<sup>22</sup>. Kann man im Fall von Villis unterstellen, dass er in der Nutzung der Solarenergie eher eine Bedrohung seines Geschäftsmodells sah und seine Aussagen daher weniger von Sachkenntnis geleitet waren denn vom Wunsch eine unliebsame Konkurrenz niederzuhalten, hätte man im Fall der Prognos AG, einem der ältesten Wirtschaftsforschungs- und Beratungsunternehmen, mehr erwarten können: Eine Prognos-Studie von 1998 schätzte die Stromerzeugung aus Solaranlagen mit einem Wert von 0,44 Terawattstunde (TWh) für 2020 ein. Dieser Wert wurde schon 2008 um das Zehnfache übertroffen<sup>23</sup> und 2020 wurden stattliche 49,5TWh<sup>22</sup> erreicht, also das über Hundertfache des Schätzwerts.

---

<sup>19</sup> <https://www.bmwk.de/https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>

<sup>20</sup> <https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publikationen/industrie-und-produktion/factsheet-kavernenspeicher-cr-energy4climate.pdf>

<sup>21</sup> Janzing, Bernward (2011): Solare Zeiten. Die Karriere der Sonnenenergie. Eine Geschichte von Menschen mit Visionen und Fortschritten der Technik. Freiburg: Picea-Verl. S. 162

<sup>22</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Stromerzeugung\\_in\\_Deutschland](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromerzeugung_in_Deutschland) Prozentuale Anteile der Bruttostromerzeugung in Deutschland

<sup>23</sup> Pieprzyk, B.; Rojas Hilje, P. (2009): Vergleich von Prognosen und Szenarien mit der tatsächlichen

Aber es gibt auch die umgekehrte Seite: Noch vor wenigen Jahren waren solarthermische Kraftwerke als Arbeitspferd der Energiewende vorgesehen. Sie verwandeln die Sonneneinstrahlung in Dampf, der dann zur Stromproduktion verwendet werden kann. Die thermische Energie kann auch in Salzspeichern gespeichert werden, so dass in entsprechend ausgestatteten solartechnischen Kraftwerken auch nach Sonnenuntergang weiter Strom produziert werden kann, wenn die Wärme für den Dampf aus den Speichern herausgeholt wird.

Die Planungen sahen daher vor, dass man Photovoltaik und Solarthermie kombiniert. Durch den Preisverfall der Solarzellen sind die photovoltaischen Kraftwerke aber so günstige Stromlieferanten geworden, dass weltweit inzwischen 1600 GW (2024) installiert sind, im Vergleich zu 6,4 GW bei den solarthermischen Kraftwerken. Die Zuwachsraten lagen für die Solarthermie zwischen 2021 und 2023 bei 7,3 % und bei Photovoltaik 60 %<sup>24</sup>. Das bedeutet, dass man für die Zukunft des Energiesystems nur sehr vage Prognosen machen kann, weil der technische Fortschritt manchmal viel schneller ist als viele erwartet haben.

#### **4. Bedeutung der Sektorenkopplung und Speichertechnologien**

Die Energiewirtschaft ist in mehrere **Sektoren** unterteilt, die jeweils unterschiedliche Energieformen nutzen und bereitstellen. Die wichtigsten Sektoren sind:

##### **1. Stromsektor**

- Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie
- Hauptquellen: Kohle, Gas, Kernkraft, erneuerbare Energien (Wind, Sonne, Wasser)
- Hauptverbraucher: Haushalte, Industrie, Gewerbe

##### **2. Wärmesektor**

- Bereitstellung von Wärme für Heizung und Industrieprozesse
- Hauptquellen: Erdgas, Heizöl, Kohle, Fernwärme, Biomasse, Wärmepumpen
- Hauptverbraucher: Haushalte, Gewerbe, Industrie

##### **3. Verkehrssektor**

- Bereitstellung von Energie für den Personen- und Gütertransport
- Hauptquellen: Benzin, Diesel, Kerosin, Erdgas, zunehmend Strom und Wasserstoff
- Hauptverbraucher: PKW, LKW, Lokomotiven, Schiffe, Flugzeuge

##### **4. Industriesektor**

- Energie für industrielle Prozesse (z. B. Stahl-, Chemie-, Zementindustrie)
- Hauptquellen: Kohle, Erdgas, Öl, Strom, Wasserstoff

---

Entwicklung Erneuerbarer Energien. Deutschland – Europa – Welt. Agentur für erneuerbare Energie e.V. Berlin. Online verfügbar unter [http://opus.kobv.de/zb/volltexte/2013/20597/pdf/Prognose\\_Analyse\\_aktualisierte\\_Fassung.pdf](http://opus.kobv.de/zb/volltexte/2013/20597/pdf/Prognose_Analyse_aktualisierte_Fassung.pdf); zuletzt geprüft am 6.2.2024

<sup>24</sup> [https://www.volker-quaschning.de/datserv/pv-welt/index.php?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.volker-quaschning.de/datserv/pv-welt/index.php?utm_source=chatgpt.com) und <https://p.dw.com/p/4pWM7>



## UMWANDLUNGSTECHNIKEN – WELCHE WAS ERLEDIGEN SOLL

Schema der gekoppelten Sektoren und der sie verbindenden, von der Elektrifizierung ausgehenden „Power-to-X“-Technologien

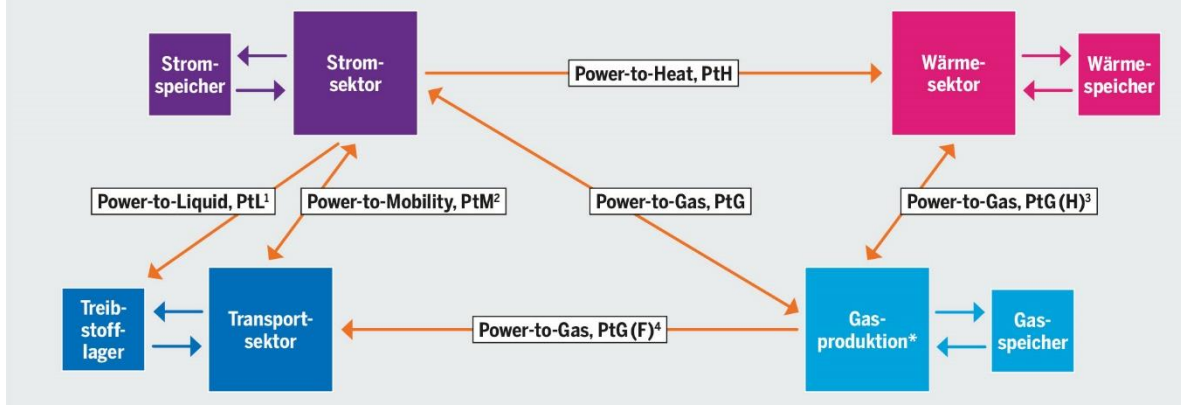


Abbildung 8 Sektorenkopplung<sup>25</sup> 1 als Treibstoff, 2 für Elektroautos, 3 als Wärmespeicher, 4 als Kraftstoff zur Stromerzeugung, \* Gas: Produktion aus erneuerbaren Energien, Umwandlungsprozesse ohne Emission von Treibhausgasen. PtL: synthetische Kraftstoffe

### Warum waren die Sektoren früher nicht gekoppelt?

Traditionell arbeiteten diese Sektoren getrennt voneinander, weil unterschiedliche Energieträger in voneinander unabhängigen Energieumwandlungstechniken eingesetzt wurden:

- Der Stromsektor nutzte vor allem Kohle, Gas und Kernkraft: Die in Feuerungen und Brennkammern entstehende Wärme in den Verbrennungsanlagen wurde im Kesselhaus unmittelbar zur Dampferzeugung eingesetzt.
- Der Wärmesektor setzte auf Erdgas, Heizöl oder Kohle. Hier wird Wasser in Wärmetauschern erwärmt und zum Ort der Heizung transportiert.
- Der Verkehrssektor basierte fast ausschließlich auf fossilen Kraftstoffen (Benzin, Diesel). Hier findet die Verbrennung in den Motoren statt, die Wärme (der größte Energieanteil) wird an die Umgebung abgegeben.
- Zudem bestanden nur geringe technische Verbindungsmöglichkeiten zwischen den Sektoren: Heizungen waren direkt an Gas- oder Ölleitungen angeschlossen, unabhängig vom Stromnetz.
- Fahrzeuge hatten keinen Zugang zu Strom (Elektromobilität war kaum entwickelt).
- Industrielle Prozesse waren auf fossile Energien ausgelegt.
- Neben den technischen Gründen gab es zudem kaum wirtschaftliche oder politische Anreize: Es gab keine starke Notwendigkeit, die Sektoren zu verbinden, solange fossile Energieträger günstig und verfügbar waren.
- Gesetzliche Regelungen und Märkte waren auf einzelne Sektoren spezialisiert.

<sup>25</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Sektorenkopplung#/media/Datei:Sektorkopplung\\_mit\\_Power-to-X.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Sektorenkopplung#/media/Datei:Sektorkopplung_mit_Power-to-X.jpg)



Durch die Sektorenkopplung werden die Barrieren zwischen den Sektoren teilweise aufgehoben, was allerdings nur mit einer Weiterentwicklung der verwendeten Technologien geht.

### **Sektorenkopplung – Bedeutung und technische Realisierung**

Die Energiewende verfolgt das Ziel, den Ausstoß von Treibhausgasen deutlich zu senken und eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen. Während der Stromsektor in Deutschland und Europa zunehmend durch erneuerbare Energien wie Wind- und Solarenergie geprägt wird, bestehen in den Bereichen Wärme, Verkehr und Industrie noch erhebliche Abhängigkeiten von fossilen Energieträgern. Genau hier setzt das Konzept der Sektorenkopplung an: Es beschreibt die systematische Verknüpfung der einzelnen Energiesektoren, um Effizienzpotenziale zu nutzen, erneuerbaren Strom flexibler einzusetzen und die Dekarbonisierung insgesamt voranzubringen.

Die Bedeutung der Sektorenkopplung liegt in drei zentralen Aspekten:

1. **Klimaschutz:** Strom aus erneuerbaren Quellen kann fossile Brennstoffe in Wärme- und Mobilitätsanwendungen ersetzen.
2. **Systemintegration:** Überschüssiger erneuerbarer Strom wird sinnvoll genutzt, statt abgeregelt zu werden.
3. **Versorgungssicherheit:** Durch die Kopplung entstehen neue Speicher- und Flexibilitätsoptionen, die das Energiesystem stabilisieren.

Eine besondere Rolle spielen dabei Strom und Wasserstoff:

- Strom ist die zentrale Leitenergie der Energiewende, da er direkt aus erneuerbaren Quellen erzeugt und in vielen Anwendungen effizient genutzt werden kann – etwa durch Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge. Zudem ermöglicht er eine intelligente Steuerung über digitale Netze.
- Wasserstoff fungiert als Bindeglied zwischen den Sektoren, da er vielseitig einsetzbar und speicherbar ist. Er wird mittels Elektrolyse aus erneuerbarem Strom hergestellt und kann sowohl in der Industrie (z. B. Stahlproduktion), im Verkehr (Brennstoffzellen) als auch im Wärmesektor genutzt werden. Darüber hinaus bietet er die Möglichkeit, Energie langfristig zu speichern und so Schwankungen von Wind- und Solarstrom auszugleichen.

Technisch wird Sektorenkopplung durch eine Vielzahl von Technologien realisiert. Temporäre Stromüberschüsse sollen in speicherbare Energieformen umgewandelt und dann bei Bedarf wieder zur Verfügung gestellt werden.

- **Power-to-Heat (PtH):** Strom wird direkt oder über Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung genutzt.

- Power-to-Mobility (PtM): Elektrofahrzeuge ersetzen Verbrennungsmotoren und können perspektivisch auch als flexible Speicher dienen.
- Power-to-Gas (PtG): Elektrolyse spaltet Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff kann direkt genutzt oder zu synthetischem Methan weiterverarbeitet werden.
- Power-to-Liquid (PtL): Herstellung synthetischer Kraftstoffe für Luft- und Schifffahrt.

Diese Technologien ermöglichen es, erneuerbare Energien sektorenübergreifend einzusetzen und so die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu verringern. Damit wird die Sektorenkopplung zu einem Schlüssel für das Gelingen der Energiewende: Sie verbindet Strom, Wärme, Verkehr und Industrie zu einem integrierten Energiesystem der Zukunft.

Das Ziel ist es, die Freisetzung von CO<sub>2</sub> immer weiter zu verringern, also die Verbrennung immer weiter aus dem Energiesystem zu verdrängen, solange es nicht Verbrennung von Wasserstoff ist<sup>26</sup>.

Da Wasserstoff nicht in den benötigten Mengen in Deutschland hergestellt wird, muss er herangeschafft werden. Die Antwort auf die Frage, wie der Transport geschehen soll, hängt stark von den technischen, wirtschaftlichen und infrastrukturellen Rahmenbedingungen ab. Grundsätzlich gilt: Strom wird über Leitungen transportiert, Wasserstoff über Pipelines, Schiffe oder LKW. Ob Wasserstoff über große Strecken „besser“ zu transportieren ist, hängt von mehreren Faktoren ab:

#### 1. Transport über Stromleitungen (AC/DC)

- Wechselstrom (AC): Verluste von ca. 5–7 % pro 1.000 km. In Europa üblich für mittlere Entfernungen (z. B. Hochspannungsnetze).
- Gleichstrom (HGÜ<sup>27</sup>): Verluste nur ca. 2–3 % pro 1.000 km, technisch erprobt bis 3.000–4.000 km. Vorteilhaft für Punkt-zu-Punkt-Übertragung großer Mengen.
- Grenze: Ab ca. 3.000–4.000 km wird der Bau neuer HGÜ-Leitungen extrem teuer und oft politisch schwierig (Flächenbedarf, Akzeptanz, Genehmigungen).

#### 2. Transport von Wasserstoff

- Pipeline: Verluste fast vernachlässigbar (< 1 %), transportiert kontinuierlich große Mengen. Investition in Infrastruktur nötig.

---

<sup>26</sup> Es gibt noch andere Substanzen, die CO<sub>2</sub>-los verbrannt werden können, z.B. Eisen. Dies wird z.Z. in dem Projekt Clean Circle erforscht: [https://www.tu-darmstadt.de/clean-circles/about\\_cc/index.de.jsp](https://www.tu-darmstadt.de/clean-circles/about_cc/index.de.jsp).

<sup>27</sup> HGÜ: Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung

- Verflüssigt (LH<sub>2</sub>): Hohe Energiedichte, aber großer Energieaufwand (ca. 30–40 % des Energiegehalts gehen bei Verflüssigung und Wiederverdampfung verloren). Lohnt sich bei Schiffs-Transport über sehr weite Strecken (> 3.000 km).
- Ammoniak oder andere Derivate (LOHC<sup>28</sup>): Wasserstoff wird chemisch gebunden transportiert. Das erleichtert Lagerung und Transport, aber es entstehen zusätzliche Umwandlungsverluste bei Synthese und Rückgewinnung.
- LKW/Schiene: Eher für regionale Verteilung, nicht für interkontinentale Distanzen.

### 3. Voraussetzungen, unter denen Wasserstoff überlegen ist

- Sehr große Entfernungen (z. B. Solarstrom aus Nordafrika nach Europa, Windstrom aus Australien nach Japan).
- Keine oder geringe Leitungsinfrastruktur vorhanden (Neubau einer Pipeline kann attraktiver sein als HGÜ-Leitung).
- Notwendigkeit von Speicherbarkeit und Vielseitigkeit (Industrie, Verkehr, Stromerzeugung).
- Akzeptanzprobleme für Stromtrassen (politische und gesellschaftliche Widerstände gegen HGÜ-Leitungen).
- Interkontinentaler Transport per Schiff, wo Kabel technisch und finanziell nicht mehr sinnvoll sind.

Bis ca. 3.000 km ist Stromtransport per HGÜ in der Regel effizienter. Jenseits davon, oder wenn flexible Speicherung und sektorübergreifende Nutzung wichtig sind, ist Wasserstoff (oder seine Derivate) überlegen.

Da Wasserstoff über große Strecken besser zu transportieren ist als Strom, liegt es nahe, dass die derzeitigen Wasserstoff-Projekte in Afrika (Algerien, Tunesien, Marokko und Namibia) und Südamerika (Chile, Argentinien und Brasilien) ihn per Schiff nach Deutschland bringen werden. Die Wasserstoffprojekte in Europa (Norwegen, Schottland, Dänemark, Irland) werden eher über das europäische Stromnetz oder über Pipelines vernetzt werden.

Es ist sehr sicher, dass beide Technologien zur Speicherung von Strom, also Wasserstoff und Batteriespeicher, im großen Stil verwendet werden, wobei letztere aktuell die Nase vorn haben, so stieg deren Gesamtkapazität zwischen 2023 und 2024 um knapp 64 %<sup>29</sup>, aber die Großspeicher legten um 100 % zu und deren Speicherkapazität wird sich nach

---

<sup>28</sup> LOHC = Liquid Organic Hydrogen Carrier, Flüssige organische Wasserstoffträger. Wasserstoff wird chemisch an eine organische Flüssigkeit gebunden (z. B. an ein Öl-ähnliches Molekül). Diese Flüssigkeit bleibt auch nach der Beladung bei Umgebungsdruck und Raumtemperatur flüssig, ähnlich wie Diesel oder Heizöl. Am Zielort kann der Wasserstoff durch einen katalytischen Prozess wieder freigesetzt werden.

<sup>29</sup> [https://www.solarserver.de/2025/01/31/markt-fuer-stromspeicher-2024-mehr-grossbatterien-kapazitaet-kleiner-pv-speicher-ruecklaeufig/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.solarserver.de/2025/01/31/markt-fuer-stromspeicher-2024-mehr-grossbatterien-kapazitaet-kleiner-pv-speicher-ruecklaeufig/?utm_source=chatgpt.com)

Prognosen in den nächsten zwei Jahren verfünffachen, aber eben nicht in solche Größenordnungen kommen, wie die Planungen beim Wasserstoff es notwendig machen.

## 5. Regionale Bedeutung der Energiewende

Die Energiewende ist für die Metropolregion von erheblicher Bedeutung, nicht nur, weil natürlich auch hier CO<sub>2</sub> eingespart werden muss, sondern weil die Bedeutung der Region für ganz Deutschland zunehmen wird. Aus der ehemaligen Energiedrehscheibe soll nun ein Energyhub<sup>30</sup> werden. Was ist damit gemeint? In der Metropolregion soll z.B. der Wasserstoff für Deutschland in Wilhelmshaven angelandet und in Kavernen gespeichert werden. Er wird dann auch direkt in das Wasserstoff-Kernnetz eingespeist werden. Der Aus- und Umbau des bereits vorhandenen Erdgasnetzes geschieht aktuell. Die Metropolregion soll großer Umschlagspunkt für Wasserstoff werden. Die Häfen Wilhelmshaven, Cuxhaven, Bremerhaven, Bremen, Nordenham spielen schon jetzt eine große Rolle für den Ausbau der Windenergie in der Nordsee. Der Umschlag und die Speicherung von Wasserstoff sollen noch hinzukommen.



Abbildung 9 Röhren für Wasserstoff, die in der Nähe von Oldenburg (Gemeinde Wardenburg) für die Verlegung gelagert werden. Das Bild ist von 2025. OGE steht für Open Grid Europe GmbH. Das ist der größte Fernleitungsnetzbetreiber für Erdgas in Deutschland mit einer Länge von rund 12.000 km. Das Unternehmen ist auf Gebieten der ingenieur- und betriebstechnischen Planung, Beratung, Überwachung und Instandhaltung tätig.

## Schlussfolgerungen für den Unterricht zur Energiewende und Berufsorientierung

Was sollte ein Unterricht beinhalten, der seinen Beitrag zur Energiewende und einer auf sie bezogenen Berufsorientierung leisten will?

### 1. Faktenbasierte Aufklärung:

- Kritische Auseinandersetzung mit Mythen zur Energiewende
- Analyse von Medienberichten und deren Einfluss auf die Meinungsbildung
- Vergleich von realen Kostenstrukturen fossiler und erneuerbarer Energien

---

<sup>30</sup> <https://www.metropolregion-nordwest.de/portal/seiten/wasserstoffregion-nordwest-900000215-10018.html>

## **2. Technologische Einblicke und Experimente:**

- Praktische Versuche mit Photovoltaik, Wasserstoff und Wind
- Simulationen zur Netzstabilität und Speicherung erneuerbarer Energien
- Analyse der Wirtschaftlichkeit von Speichermethoden

## **3. Berufsorientierung in der Energiewende:**

- Vorstellung relevanter Berufe in der Energiewirtschaft (z.B. Verfahrensmechaniker, Elektroniker, Energieberater, Elektrotechniker, Ingenieure etc.)
- Exkursionen zu Windparks, Solarparks oder Unternehmen der Energiewirtschaft
- Projektarbeit zu innovativen Energielösungen

## **4. Politische und gesellschaftliche Aspekte:**

- Diskussion über Energiepolitik, Subventionen und Emissionshandel
- Rollenspiele zu energiepolitischen Entscheidungsprozessen
- Erörterung der sozialen Auswirkungen steigender Energiepreise

## **5. Zukunftsszenarien und Innovationspotenzial:**

- Analyse von Prognosen zur Energiewende
- Reflexion über den Einfluss technischer Entwicklungen auf die Energieversorgung
- Entwickeln eigener Energiekonzepte im Rahmen von Schülerprojekten

Durch eine Kombination aus theoretischer Aufarbeitung, praktischen Experimenten und Berufsorientierung kann der Unterricht zur Energiewende sowohl Wissen vermitteln als auch Interesse für technische Berufe wecken, die in diesem Transformationsprozess eine zentrale Rolle spielen.