

Thema 1: Funktionsweise eines Kohlekraftwerks

Leitfragen:

Wie funktioniert ein Kohlekraftwerk prinzipiell? Welche Energieumwandlungen finden statt?

Was sind die wichtigsten Bestandteile eines Kraftwerks und wie funktionieren sie?

Wie verhält sich das Kraftwerk beim Starten?

Lohnt es sich, das Kraftwerk immer zu starten, wenn Energie benötigt wird?

Was sind Vor- und Nachteile eines Kohlekraftwerks?

Kohlekraftwerke (KKW)

Es gibt sowohl Braun-, als auch Steinkohlekraftwerke. Im KKW wird in einem großen Ofen Kohle verbrannt, um Strom zu erzeugen. Dabei wird chemische in Wärme-, dann in mechanische und zuletzt in elektrische Energie gewandelt.

Funktionsweise / Arbeitsweise

Die im Tagebau geschürfte Rohkohle wird getrocknet und zerkleinert, um anschließend in der Brennkammer verbrannt zu werden. Die in Form von Wärme freiwerdende Energie wird über Wärmeübertrager an einen Wasserkreislauf abgegeben. Das Wasser beginnt zu siedend und geht vom flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand über. Der so entstehende Wasserdampf wird überhitzt und somit auf ein hohes Druckniveau gebracht. Jetzt gelangt dieser über Rohrleitungen zu einer Turbine, welche er antreibt und sich dabei auf ein niedriges Druckniveau entspannt.

Die Drehbewegung der Turbine erzeugt in einem Generator Strom. Es wird also an dieser Stelle mechanische in elektrische Energie gewandelt. Das entstandene Abgas wird gereinigt und über einen Schornstein an die Umgebung abgegeben. Der die Dampfturbine verlassende Wasserdampf wird in einem Kondensator kondensiert (Übergang von Dampf zu flüssigem Wasser). Anschließend wird das entstandene Wasser zurück in die Brennkammer geleitet.¹

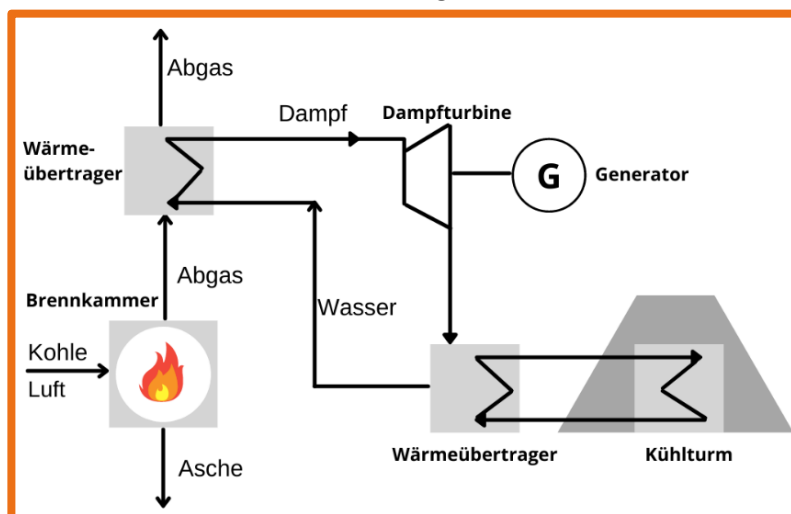


Abbildung 1 Fließschema eines Kohlekraftwerks

¹ energie-strom (o.J.): Kohlekraftwerke (KKW). URL: <http://energie-strom.com/energie/kraftwerke/kohlekraftwerk.html>, letzter Zugriff: 30.07.2022

Das im Brennerraum durch Verbrennung entstandene Rauchgas wird einer Entstaubung, einer Rauchgasentschwefelung und einer Rauchgasentstickung unterzogen, bevor es das Kraftwerk über den Schornstein bzw. über den Kühlturm (bei Bauweise ohne Schornstein) verlässt. Dieses Verfahren wird im Ganzen Rauchgasreinigung genannt. Das im Kondensator erwärmte Kühlwasser wird im Kühlturm auf die ursprüngliche Temperatur gekühlt, bevor es entweder erneut verwendet oder aber in ein vorhandenes Fließgewässer abgegeben wird. Die Asche des Brennstoffes wird als Schlacke aus dem Brennerraum abgezogen und für die Weiterverwendung als Baustoff vorbereitet. Das Gleiche gilt für den in der Rauchgasentschwefelung erzeugten Kraftwerksgips.

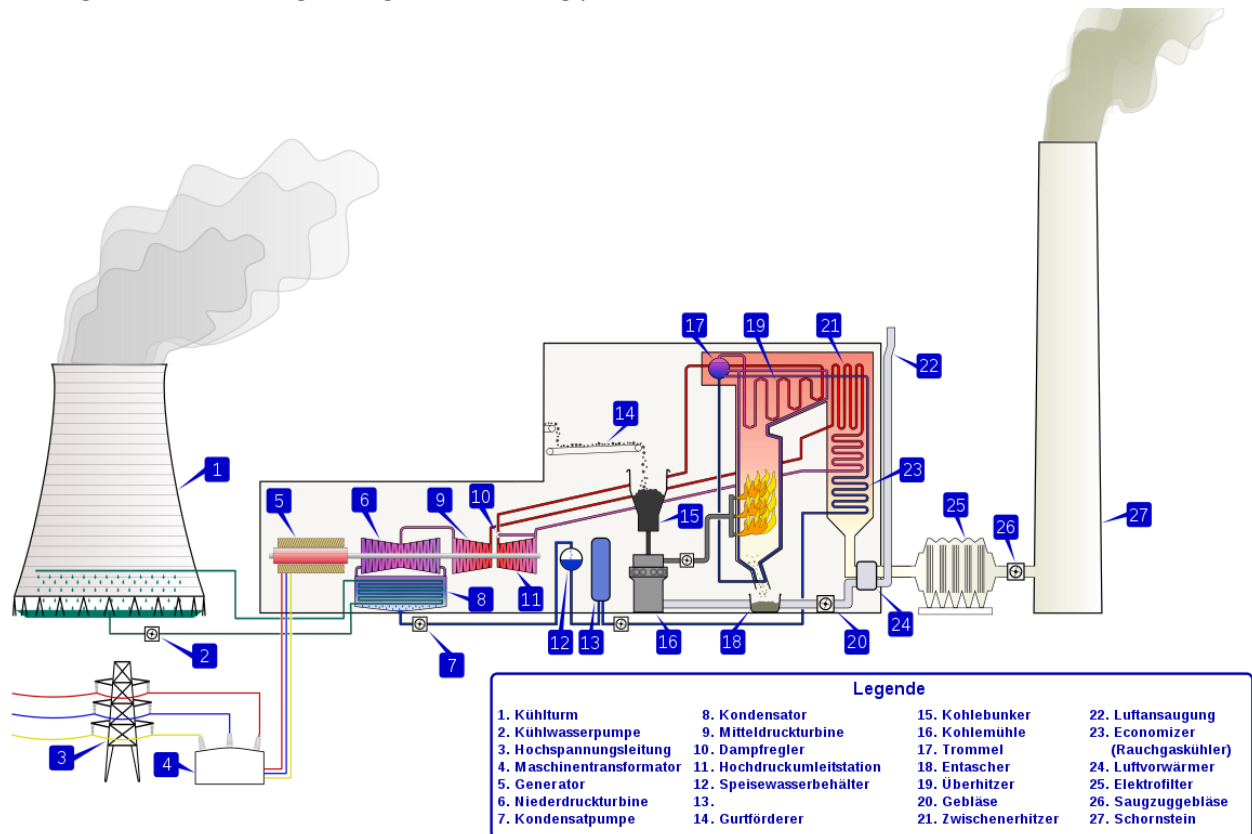


Abbildung 2 Vereinfachte Darstellung eines Kohlekraftwerks © Kopiersperre²

Steuerung der Abläufe

Sämtliche im Kohlekraftwerk anfallenden Informationen, wie beispielsweise die Messwerte, werden in der Leitwarte angezeigt und ausgewertet. Die Leitwarte ist ein geschlossener Raum mit Messinstrumenten zur Anzeige der Betriebszustände der einzelnen Kraftwerkskomponenten. Mit Schaltern und anderen Steuerorganen kann das Kraftwerkspersonal in den Betriebsablauf eingreifen. Die Eingriffe werden über digitale Datenübertragung an die zugehörigen Hilfsantriebe übermittelt und bewirken in teilweise großer Entfernung von der Leitwarte beispielsweise das Öffnen oder Schließen einer Armatur oder eine Veränderung der zugeführten Brennstoffmenge.

² © CC BY-SA 3.0 Kopiersperre, (https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:PowerStation_de.svg#/media/Datei:PowerStation_de.svg)

Anfahrverhalten

Im Unterschied zu den meisten Wasserkraftwerken, bei denen die Leistung bei Bedarf im Sekundenbereich abgerufen werden kann, sowie den ebenfalls vergleichsweise schnell regelbaren Gaskraftwerken, dauert das Anfahren eines Kohlekraftwerks wesentlich länger. Die angegebenen Zeiten decken das Zünden des ersten Brenners bis zum Erreichen der Volllast ab. Beim Anfahren eines Kohlekraftwerks wird zwischen Heißstart, Warmstart und Kaltstart unterschieden. Heißstart bezeichnet ein Anfahren nach einem Stillstand von weniger als 8 Stunden, ein Warmstart den Zeitraum von 8 bis 48 Stunden und ein Kaltstart ein Wiederauffahren nach einem Stillstand von mehr als 48 Stunden.

Steinkohlekraftwerke benötigen für einen Heißstart 2 bis 4 Stunden, ein Kaltstart nach längerem Stillstand dauert 5 bis 10 Stunden. Braunkohlekraftwerke weisen Kaltstartzeiten von 9 bis 15 Stunden auf und sind deutlich schlechter regelbar. Zudem können heutige Braunkohlekraftwerke nicht unter 50 % Leistung gedrosselt werden, da sonst die Kesseltemperatur zu stark absinken würde.

Werden Kohlekraftwerke im Teillastbetrieb gefahren, sinkt der Wirkungsgrad etwas ab. Bei den modernsten Steinkohlekraftwerken liegt der Wirkungsgrad im Volllastbetrieb bei ca. 45–47 %. Werden diese Kraftwerke auf 50 % Leistung gedrosselt, sinkt der Wirkungsgrad auf 42–44 % ab.³



Für weitere Infos kommt ihr mit diesem QR-Code auf die Website

Übersicht zu Vorteilen und Nachteilen

Vorteile:

- ✓ günstiger Brennstoff
- ✓ gute Verfügbarkeit des Brennstoffs

Nachteile:

- ☹ bei der Verbrennung entsteht viel CO₂
- ☹ sehr lange Anfahrzeiten

Aufgrund der großen Kohlevorräte können Kohlekraftwerke noch lange betrieben werden. Im Vergleich zu anderen Techniken und Brennstoffen stellt Kohle eine relativ günstige Möglichkeit der Stromerzeugung dar. Allerdings zieht die Verbrennung fossiler Brennstoffe immer eine Erzeugung von CO₂ (Kohlenstoffdioxid) nach sich. Da CO₂ ein Treibhausgas ist, wirkt es sich nachteilig auf das Klima aus. Aufgrund hoher Anfahrzeiten von Kohlekraftwerken sollten längere Betriebspausen vermieden werden. Ein Kaltstart dauert mehrere Stunden.¹

Für Physik-Expert*innen: Wie funktioniert eine Turbine?

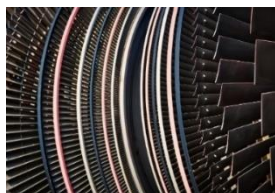


Abbildung 3 Dampfturbinenschaufeln

Wenn ihr genauer wissen wollt, wie eine Dampfturbine in einem Kohlekraftwerk funktioniert, dann scannt den QR-Code ein.⁴



³ VDI-Gesellschaft (2013): Fossil befeuerte Großkraftwerke in Deutschland. Stand, Tendenzen, Schlussfolgerungen. URL: https://web.archive.org/web/20140730025014/http://m.vdi.de/uploads/media/3544_BRO_TW_GEU_Statusreport_Fossil_befeuerte_Grosskraftwerke.pdf#page=6, letzter Zugriff: 10.10.2022.

⁴ LEIFiPhysik (o.J.): Fossile Energieversorgung. Kohlekraftwerk. URL: <https://www.leifiphysik.de/uebergreifend/fossile-energieversorgung/grundwissen/kohlekraftwerk>, letzter Zugriff: 30.07.2022.

Thema 2: Energiebedarf – Bedeutung von Kohle in Deutschland

Leitfragen:

- Wie hat sich die Bedeutung der Kohle seit dem 19. Jahrhundert entwickelt?
- Wie viel Braun- und Steinkohle wird heute in Deutschland noch abgebaut und verarbeitet?
- Wie und warum entwickelt sich der Stromverbrauch in Deutschland in den letzten 10 Jahren?
- Aus welchen Energiequellen hat sich der Strom 2021 zusammengesetzt?
- Welche Bedeutungen haben erneuerbare Energien?

Kohlenutzung in Deutschland

Am 3. Juli 2020 hat der Deutsche Bundestag das „Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung“ verabschiedet, auch „Kohleausstiegsgesetz“ genannt. Damit ist nun gesetzlich festgelegt, dass spätestens im Jahr 2038 die letzten Kohlekraftwerke in Deutschland keine Kohle mehr verfeuern dürfen. So wird die Zeit eines Energieträgers ablaufen, der die wirtschaftliche und damit auch die soziale Struktur seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland sehr wesentlich geprägt hat.

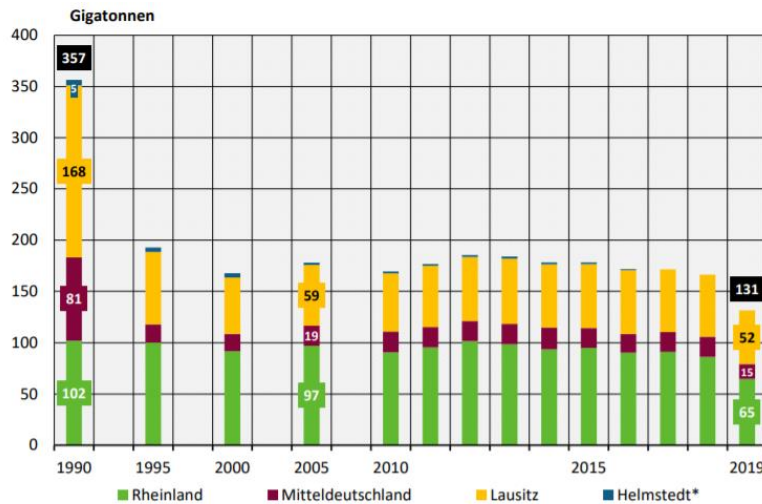
Dem Kohleausstiegsgesetz gingen lange Diskussionen in der deutschen Wirtschaft und Zivilgesellschaft voraus. Am 6. Juni 2018 wurde von der Bundesregierung die „Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ eingesetzt („Kohlekommission“). Ihre Aufgabe war es, in einem breiten Diskussions- und Beteiligungsprozess Empfehlungen zu erarbeiten, auf welchem Weg Deutschland in absehbarer Zeit aus der energetischen Nutzung der Kohle aussteigen kann. Dabei sollten konkrete Vorschläge für eine in die Zukunft gerichtete, nachhaltige Strukturentwicklung und damit für zukunftssichere Arbeitsplätze in den vom Strukturwandel betroffenen Braunkohleregionen erarbeitet werden.⁵

Bedeutung der Kohle in der Vergangenheit

Bis zu den aktuellen Diskussionen über den Ausstieg aus der Nutzung von Braun- und Steinkohlen hat dieser Rohstoff in Deutschland viele Jahrzehnte lang eine treibende Rolle gespielt. Braun- und Steinkohlen wurden in Deutschland mindestens seit dem Mittelalter verwendet. Wurde in früheren Zeiten noch an der Erdoberfläche geschürft, konnte später fortgeschrittene Bergtechnik eingesetzt werden, um den Energieträger zutage zu fördern. Erst großtechnische Förder- und Produktionsverfahren ermöglichten die Industrialisierung Anfang des 19. Jahrhunderts. Zur Herstellung von Stahl wurde Steinkohle benötigt, die im Ruhrgebiet und an der Saar in ausreichender Menge gefördert werden konnte. Braunkohle setzte sich als Energieträger zum Heizen durch und war der wichtigste Energieträger zur Erzeugung von Elektrizität. Im Zweiten Weltkrieg wurde verflüssigte Braunkohle zudem auch als Treibstoff eingesetzt.

Auch nach dem Zweiten Weltkrieg war Kohle zunächst mit Abstand wichtigster Energieträger – bis in den 1950er Jahren der Aufstieg des Erdöls und des Erdgases begann. Damit ging der Verbrauch von Braun- und Steinkohlen in privaten Haushalten vor allem in der Bundesrepublik stark zurück. Gleichzeitig stieg der wirtschaftliche Druck bei der Steinkohlenförderung durch günstige Importsteinkohlen. Dies führte zu hohen Subventionierungen der Steinkohlenförderung und letztlich zum Auslaufen der Förderung im Jahr 2018.

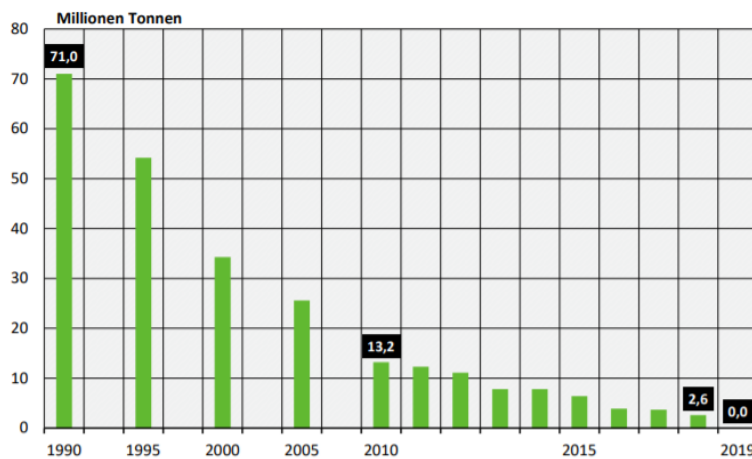
⁵ Umweltbundesamt (2021): Daten und Fakten zu Braun- und Steinkohlen. Stand und Perspektiven 2021. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-18_texte_28-2021_daten_fakten_braun-_und_steinkohle.pdf, letzter Zugriff: 31.07.2022



Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft (2020d)

Die folgenden drei Abbildungen zeigen einen Überblick, ob und wie viel Braun- und Steinkohle in Deutschland noch abgebaut wird.

Abbildung 4: Förderung von Braunkohle 1990 -2019
©Umweltbundesamt⁵



Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft (2019b)

Abbildung 5: Förderung von Steinkohle 1990 – 2019
©Umweltbundesamt⁵

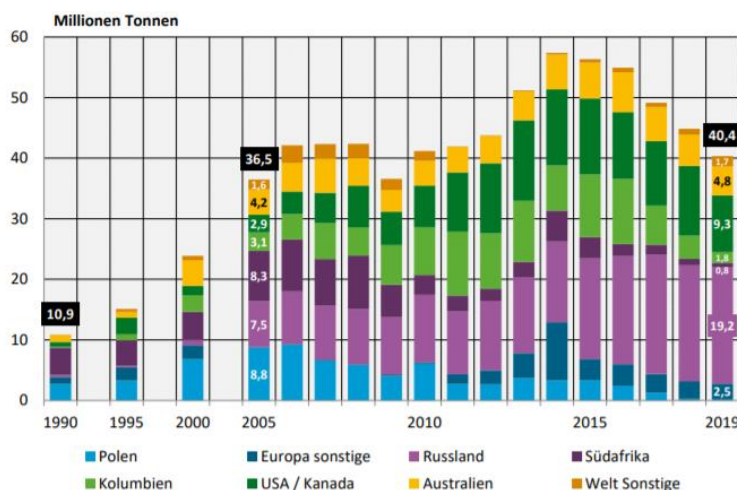
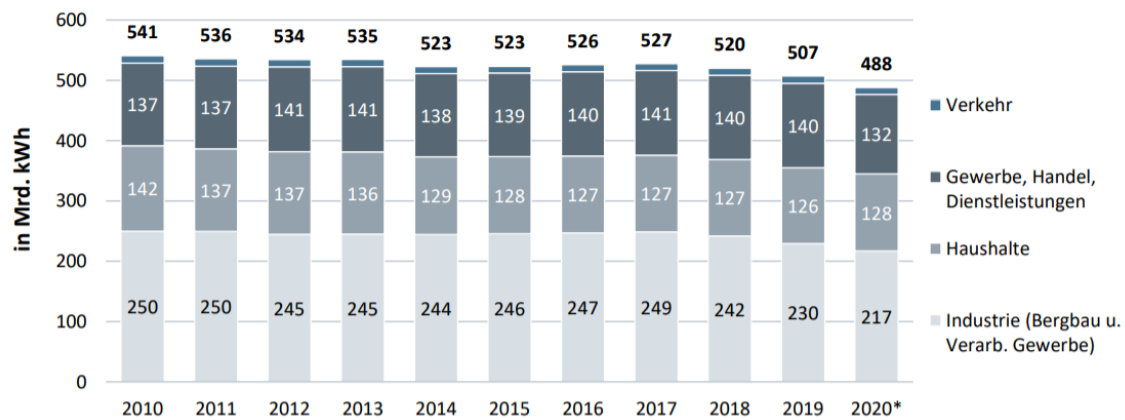


Abbildung 6: Einfuhr von Steinkohle nach Deutschland aus Herkunftsländern
©Umweltbundesamt⁵

Betrachtet Abbildung 6 und bewertet, ob es umweltverträglich ist, Steinkohle zu importieren. Aus welchen Gebieten wird die meiste Steinkohle nach Deutschland transportiert?

Wichtig ist auch, den Stromverbrauch in Deutschland zu betrachten: Ob dieser jährlich steigt oder sinkt, erkennt ihr in der nächsten Übersicht. Überlegt euch eine Erklärung für den Trend! Welcher Bereich verbraucht am meisten Energie?



Quellen: Destatis, BDEW; Stand 04/2021

* vorläufig

Abbildung 7: Entwicklung des Stromverbrauchs in Deutschland 2010 – 2020 ©BDEW⁶

Stromerzeugung im 1. Halbjahr 2021: Kohle wichtigster Energieträger

Der in Deutschland erzeugte und in das Stromnetz eingespeiste Strom stammte im 1. Halbjahr 2021 mehrheitlich aus konventionellen Energieträgern. Wie das Statistische Bundesamt (Destatis) mitteilt, stieg die Stromerzeugung aus konventioneller Energie gegenüber dem 1. Halbjahr 2020 um 20,9 % und machte einen Anteil von 56,0 % an der gesamten Stromerzeugung aus. Die Kohle war wichtigster Energieträger aufgrund des windarmen Frühjahrs, nachdem im 1. Halbjahr 2020 die Windkraft der wichtigste Energieträger gewesen war. Insgesamt wurden im 1. Halbjahr 2021 nach vorläufigen Ergebnissen 258,9 Mrd. Kilowattstunden Strom erzeugt (zur Einordnung: Ein Ein-Personen-Haushalt in Deutschland verbraucht durchschnittlich rund 2.000 Kilowattstunden Strom pro Jahr). Das waren 10,0 Mrd. Kilowattstunden oder 4,0 % mehr als im 1. Halbjahr 2020.⁷

⁶ © Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (2021): Entwicklung des Stromverbrauchs nach Verbrauchern. Letztverbrauch Strom nach Verbrauchergruppen in Deutschland. URL: https://www.bdew.de/media/documents/Nettostromverbrauch_nach_Verbrauchergruppen_Entw_10J_online_o_jaehrlich_Ki_03052021.pdf, letzter Zugriff: 31.07.2022.

⁷ Statistisches Bundesamt (o.J.): Energie. Energieverbrauch Deutschland. URL: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Verwendung/_inhalt.html, letzter Zugriff: 30.07.2022.

Stromeinspeisung durch konventionelle und erneuerbare Energieträger 2020/2021

in %

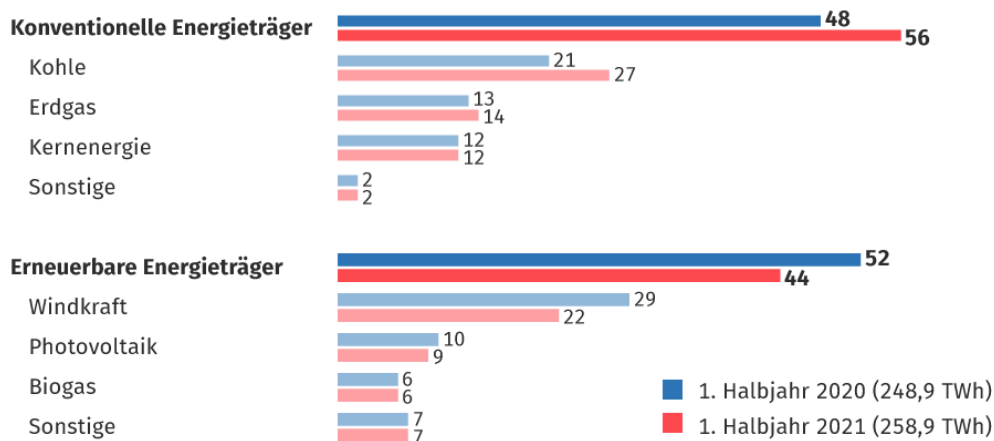


Abbildung 8: Anteil konventioneller und erneuerbarer Energien 2020/21 ©Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021⁸

Bedeutung erneuerbare Energien

Die erneuerbaren Energien haben deutlich zugelegt: Ihr Anteil am Bruttostromverbrauch liegt inzwischen bei rund 46 %. Seinerzeit wurde beschlossen, dass bis 2025 40 – 45 % der Energiequellen für die Verstromung aus erneuerbaren Energien bestehen sollen. Mit dem zügigen Ausbau vereinbarten die regierenden Koalitionär*innen eine Steigerung dieses Anteils auf 65 % bis 2030. Dafür bedarf es weiterer Anstrengungen, weil sich die erneuerbaren Energien noch nicht alle selbst tragen, bürokratische Hürden noch zu überwinden sind und das Netz noch nicht optimal für diese dezentrale Energiegewinnung ausgelegt ist.

Der Ausbau liegt im Plan! Bereits heute zählen Wind, Sonne, Wasser und Biomasse zu den wichtigsten Quellen bei der Stromversorgung. Der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Bruttostromverbrauch liegt inzwischen bei rund 46 % (Stand: Ende 2020). Zum Vergleich: Noch im Jahr 2010 war der Erneuerbare-Energien-Anteil mit 16,9 % deutlich weniger als halb so hoch.⁹

⁸ © Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021): Stromerzeugung im 1. Halbjahr 2021: Kohle wichtigster Energieträger. URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/09/PD21_429_43312.html, letzter Zugriff: 31.07.2022

⁹ Umweltbundesamt (2022): Erneuerbare Energie in Zahlen. URL: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#uberblick>, letzter Zugriff: 04.08.2022.

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Thema 3: Woher kommt die Kohle? Kohleabbau - Tagebau in Deutschland

Leitfragen:

Wie ist Braunkohle entstanden und wie kann diese abgebaut werden?

Was wird unter einem Strukturwandel verstanden?

Was sind die Folgen eines Tagebaus und welche Konsequenzen hat ein Tagebau für die Umwelt?

Warum kommt es zu Protesten gegen Tagebaue?

Beschreibt die Perspektive eines Kindes, was in einem Ort lebt, an dem Braunkohle abgebaut werden soll.

Die Braunkohle

Die den fossilen Energierohstoffen zuzuordnende Braunkohle entstand im Tertiär in einem sogenannten Inkohlungsprozess, in dessen Verlauf über erdgeschichtliche Zeiträume Druck, erhöhte Temperaturen und Luftabschluss auf abgestorbenes organisches Material einwirkten. Dieser Prozess steigerte den Kohlenstoffanteil und damit gleichzeitig den Brennwert der Substanz, wobei die heute als Brennstoff verwendete Braunkohle im Vergleich zur älteren Steinkohle weitaus energieärmer ist und einen höheren Wasseranteil aufweist.

Da großräumige Braunkohlevorkommen in relativ geringen Tiefen lagern und deren lockere Deckschichten aus Sand, Kies, Ton und Löss in der Regel eine geringe Mächtigkeit aufweisen, besteht die Möglichkeit, den Rohstoff im Tagebau direkt von der Erdoberfläche her abzubauen.¹⁰



Abbildung 9: Schaufelradbagger im Braunkohletagebau ©Dorothe¹¹

Braunkohle in der Lausitz

Die Lausitz ist eine Region, die sich über zwei Bundesländer – Sachsen, Brandenburg –, zwei beziehungsweise je nach Definition drei Staaten – Deutschland, Polen, Tschechien – und zwei Woiwodschaften – Niederschlesien, Lebus – erstreckt. Mit dem Kohleausstieg bis spätestens 2038 steht ihr ein tiefer Einschnitt in ihre Wirtschafts-, aber auch Kulturgeschichte bevor. Es kommt zu einem Strukturwandel!¹²

¹⁰ Brockmann, Torsten / Hebold, Wiebke (2007): Infoblatt Braunkohlentagebau. Vorkommen, Abbaumethoden, Kontroverse. URL: https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium&artikel_id=175498&inhalt=klett71prod_1.c.139995.de, letzter Zugriff: 30.07.2022.

¹¹ © Pixabay Dorothe (<https://pixabay.com/de/photos/bagger-schaufelradbagger-1050501/>)

¹² Bundeszentrale für politische Bildung (2020): Aus Politik und Zeitgeschichte. Lausitz. URL: <https://www.bpb.de/apuz/304322/lausitz>, letzter Zugriff: 30.07.2022.

Definition:

Unter einem **Strukturwandel** wird die Veränderung der relativen Anteile eines Sektors im Zeitverlauf verstanden. In der Wirtschaft wird in drei Sektoren unterschieden: dem primären, sekundären und tertiären Sektor. Während des Strukturwandels kommt es zu Veränderungen der Tätigkeits- und Berufsstrukturen in und zwischen den Sektoren – während neue Sektoren aufsteigen, kommt es zum Bedeutungsverlust älterer Branchen. Beschleunigt wird der Strukturwandel durch den technischen Fortschritt und den verschärften internationalen Wettbewerb.

Willst du dich mit dem Thema Lausitz (Kohle, Strukturwandel, Politik) weiter beschäftigen, dann scanne den QR-Code:



Folgen des Braunkohlenabbaus

Die intensive Ausbeutung der Braunkohlevorräte im Lausitzer Revier hat zu enormen Umweltbelastungen und -zerstörungen geführt. Im Vorfeld der Kohleförderung müssen weite Kiefernwälder gerodet und ganze Dörfer umgesiedelt werden. Dabei entstehen neben der Zerstörung der ursprünglichen Biosphäre auch soziale Konflikte mit der angestammten Bevölkerung. Sobald das Gebiet für die Kohlenförderung geräumt worden ist, kann mit der Entwässerung des Deckgebirges begonnen werden, damit der spätere Tagebau nicht wieder vom Grundwasser zerstört wird. Die Grundwasserreduzierung führte im Lausitzer Revier dazu, dass sich die Erdoberfläche über einen Zeitraum von 100 Jahren um ca. 30 cm absenkte. Auch die umliegende Vegetation und landwirtschaftliche Nutzung wird beeinträchtigt, da ein weitreichendes Grundwasserdefizit entsteht, welches sich nicht nur auf das Gebiet der Kohlenförderung beschränkt. Ist der Grundwasserspiegel des Deckgebirges abgesenkt, erfolgt die Freilegung der Kohlenschichten.

Resultate des Kohlenabbaus sind riesige ausgekohlte Flächen, Abraumkippen und eine Vielzahl an Tagebaurestlöchern.



Abbildung 10: Blick auf die Lausitzer Seenlandschaft. ©LMBV

Die ehemaligen Braunkohletagebauflächen wurden in den letzten 70 Jahren zu einer Seenlandschaft umgestaltet.

Ressourcen, Reserven, Fördermengen

Hinsichtlich der weltweiten Ressourcen an primären Energierohstoffen sind mit der Braunkohle besonders reichhaltige Vorräte verfügbar. Kohle weist unter den nicht erneuerbaren Energien global mit einem Anteil an Reserven (53,9 %) und Ressourcen (80,7 %) das größte Potenzial auf und gilt nach Erdöl als zweitwichtigster Energieträger (Stand 2011). Bei der Stromerzeugung war Kohle 2009 mit einem Anteil von rund 40 % weltweit der wichtigste Energierohstoff. Da alternativ zur Braunkohle jedoch häufig energetisch höherwertige Rohstoffe, wie z. B. Steinkohle und Erdöl, bevorzugt werden, wird das Potenzial der Braunkohle in vielen Ländern bislang kaum genutzt.

Für das Ende des Jahres 2010 wurde die Reserve an Kohle auf 1.004 Gt (Gigatonnen) beziffert, davon sind 728 Gt Hartkohle (u. a. Steinkohle und Hartbraunkohle) und 276 Gt Weichbraunkohle. Die Welt-Kohleförderung steigerte sich 2010 um fast 5 % auf rund 7.342 Mt (Megatonnen) (davon 1.000,6 Mt Weichbraunkohle). Aus nur 11 von 36 Förderländern wurden 2010 rund 81 % der Welt-Weichbraunkohleförderung in Höhe von 1.005,7 Mt erbracht. Dabei steht Deutschland mit einem Anteil von 17 % (169,4 Mt) am weltweiten Abbauvolumen mit großem Abstand an erster Stelle. Diese Führungsposition im internationalen Vergleich wird auf dem Gebiet des heutigen Deutschlands ununterbrochen bereits seit 1920 behauptet. Weitere förderungsstarke Länder sind die Volksrepublik China mit einem Anteil von 13 % und die Russische Föderation (7,6 %).

Ausgehend vom globalen Braunkohleverbrauch im Jahr 2011 reichen die Reserven ab 2012 rechnerisch noch für mehr als 250 Jahre. Da die globale Wirtschaft jedoch einer sehr dynamischen Entwicklung unterliegt, wird dieser statistisch ermittelte Wert von der tatsächlichen Reichweite abweichen.¹⁰

Kontroverse

Da der Braunkohletagebau mit einer außergewöhnlichen Landschaftsveränderung einhergeht, steht er häufig in vielerlei Hinsicht in der öffentlichen Diskussion. Der Abbau von Braunkohle im Tagebau ist mit einem immensen Flächenverbrauch verbunden. So wurden z. B. allein im Rheinischen Braunkohlerevier bis ins Jahr 2006 296 km² Fläche abgebaggert. Insgesamt beträgt der Flächenverbrauch aller deutschen Braunkohletagebaue ca. 2.400 km², was rund der vierfachen Fläche des Bodensees bzw. nahezu der Fläche des Saarlandes entspricht. Damit gingen und gehen großflächige Umsiedlungen für die Bevölkerung einher. Nach Schätzungen des BUND-NRW werden allein im Zeitraum 1950–2045 45.000 Menschen im Rheinischen Braunkohlerevier umgesiedelt werden, falls die bisher genehmigten Tagebaue vollständig ausgekohlt werden. Braunkohletagebaue stoßen innerhalb der Bevölkerung auf starke Kritik, u. a. aufgrund der sozialen Komponenten, die mit einer Umsiedlung einhergehen, z. B. dem Auseinanderreißen von Ortsgemeinschaften, dem Verlust der Heimat usw. Diese Kritik äußert sich beispielsweise in der Gründung von Bürgerinitiativen gegen die Neuausweisung von Braunkohletagebauen.

Des Weiteren steht häufig die künstliche Absenkung des Grundwasserspiegels im Mittelpunkt der Kritik, die weitflächig nachhaltige Veränderungen bzw. Wechselwirkungen im Landschaftsökosystem hervorruft. Außerdem ist der Wert der Rekultivierungsmaßnahmen umstritten, z. B. im Hinblick auf die Umwandlung der großräumigen Gruben zu Seen. Ferner werden die bei der Verbrennung von Braunkohle freigesetzten großen Mengen Schadstoff bemängelt, wie z. B. Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie Stäube.

Zusätzlich wird bezüglich der Stromerzeugung durch Braunkohle das im Vergleich zu anderen fossilen Brennstoffen ungünstige Verhältnis zwischen erzeugter nutzbarer Energie und der Kohlendioxidemission kritisiert.¹¹

Wie funktioniert die Umsiedelung eines vom Tagebau betroffenen Dorfes?



Abbildung 11: Abriss von Immerath, Nordrhein-Westfalen © Bert Kaufmann¹³



Proteste

Regelmäßig in den letzten Jahren in den Schlagzeilen stand der **Hambacher Forst**. Diese Waldfläche sollte von 2.000 ha auf 200 ha gerodet werden, um Braunkohle in einem riesigen Tagebau abzubauen. Deutschlandweit gab es Proteste, Besetzungen und Auseinandersetzungen zwischen Polizei und Waldschützer*innen. Informationen über diesen Konflikt findet ihr unter: <https://www.dw.com/de/hambacher-forst-demonstration-proteste-rwe-braunkohleabbau/a-45780093>



Abbildung 12: Baumhäuser im Hambacher Forst © MaricaVitt¹⁴

¹³ © CC BY-NC 2.0 Bert Kaufmann, (<https://bit.ly/311yIT1>)

¹⁴ © CC BY-SA 4.0 MaricaVitt, (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gemeinsam_stark,Hambacher_Forst,NRW.jpg)

Thema 4: Wasserbedarf eines Kohlekraftwerks

Leitfragen:

Wofür wird bei der Erzeugung von Kohlestrom Wasser benötigt?

Charakterisiert die Bedeutung von Wasser auf der Welt!

Wie werden sich die Wasserressourcen in den nächsten Jahren entwickeln? Welche Regionen haben besonders hohen Wassermangel?

Vergleicht den Wasserverbrauch von konventionellen und erneuerbaren Energien!

Kohlekraftwerke verbrauchen wertvolles Trinkwasser

Mit dem Wasserverbrauch aller 8.400 Kohlekraftwerke weltweit könnten eine Milliarde Menschen mit Trinkwasser versorgt werden, deckt ein Greenpeace-Report auf. Demnach ist Kohlestrom für 7 % des globalen Wasserverbrauchs verantwortlich.

„Kohlekraftwerke befeuern nicht nur den Klimawandel, sie rauben uns auch die wertvollste Ressource – das Wasser“, fasst Greenpeace-Energieexperte Karsten Smid die Ergebnisse der Studie *„The Great Water Grab“* zusammen. Auf 60 Seiten dokumentieren die Umweltschützer*innen den massenhaften Verbrauch der kostbaren Ressource und die düstere Perspektive für die Zukunft. Denn während heutzutage rund 7 % der weltweiten Wasserentnahme zur Herstellung von Kohlestrom genutzt werden, könnte sich der Wert in 20 Jahren nahezu verdoppeln.

Neben der Wasserentnahme zur Kühlung von Kohlekraftwerken werden vor allem enorme Wassermengen in Kohleminen, sowie zum Waschen der Kohle verbraucht. Zudem werden Kohleaschedeponien mit Wasser besprüht, damit sich kein gesundheitsschädlicher Kohlestaub ausbreitet. In den Kohleminen und beim Waschen der Kohle wird das Wasser teilweise stark belastet und mit giftigen Substanzen vermengt. Kohlekraftwerke, die Flusswasser zur Kühlung verwenden und wieder zurückleiten, benötigen ungefähr alle drei Minuten die Menge an frischem Nass, mit der ein olympisches Schwimmbecken gefüllt werden könnte.

Den Greenpeace-Berechnungen zufolge verbraucht die Kohleindustrie weltweit pro Jahr etwa 22,7 Mrd. m³ Süßwasser, davon entfällt mit 19 Mrd. m³ Süßwasser der größte Teil auf Kohlekraftwerke. Damit könnten laut Studie gut eine Milliarde Menschen ihre Grundbedürfnisse für ein Jahr lang decken. In den Zahlen ist die Wasserentnahme von etwa 281 Mrd. m³ pro Jahr noch gar nicht eingerechnet.

Für die Zukunft sieht es noch düsterer aus. Zusätzlich zu den in 2013 installierten 8.359 Kohlekraftwerken weltweit sind weitere 2.668 in Bau oder Planung. Die Studie geht von einer Erhöhung des Wasserverbrauchs durch Kohlekraftwerke von 19 auf 36 Mrd. m³ Süßwasser aus. Zudem sind ein Viertel der Kraftwerke in Regionen geplant, die schon heute unter Wasserknappheit und schrumpfenden Trinkwasserreserven leiden, in China betrifft es sogar die Hälfte aller Neubau-Projekte. Die Konkurrenz mit Trinkwasser für die Bevölkerung wird weiter zunehmen.¹⁵

¹⁵ [energiezukunft \(2016\): Kohlekraftwerke verbrauchen wertvolles Trinkwasser. URL: https://www.energiezukunft.eu/wirtschaft/kohlekraftwerke-verbrauchen-wertvolles-trinkwasser/](https://www.energiezukunft.eu/wirtschaft/kohlekraftwerke-verbrauchen-wertvolles-trinkwasser/), letzter Zugriff: 31.07.2022.
TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de
© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“
Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück



Abbildung 13:

Zwei Kinder versorgen ihre Familie mit einem begrenzten Gut – dem Wasser

© Ursula¹⁶

Exkurs China: Reich an Kohle, Arm an Wasser

China etwa will seinen steigenden Energiehunger auch künftig mit vielen weiteren

Kohlekraftwerken decken. Gewaltige 237 Gigawatt an zusätzlichen Kohlekapazitäten sollen dort gebaut werden. Der Plan zeigt das Dilemma: Zusätzliche Kohlekraftwerke sollen oft in Regionen entstehen, die schon jetzt unter Wassermangel leiden, beispielsweise im oberen und mittleren Einzugsbereich des Jangtse-Flusses. Ein Nebenfluss des Jangtse ist der Kuye. An seinem Oberlauf, in den Provinzen von Shanxi und der Inneren Mongolei, liegt das größte Kohlevorkommen Chinas, das Shenfu-Dongsheng-Feld.

Zwischen 1997 und 2006 wurden im Shenfu-Dongsheng jährlich rund 55 Mio. Tonnen Kohle abgebaut. 2011 waren es 173 Mio. Tonnen. Gleichzeitig wird das Wasser immer knapper. Bis 2030, so die Schätzungen, kann die Region nur noch knapp die Hälfte ihres prognostizierten Bedarfs an Wasser und Trinkwasser decken.¹⁷

Die Staaten der Erde sind unterschiedlich stark von Wasserknappheit betroffen: **Eine Prognose für 2030!**

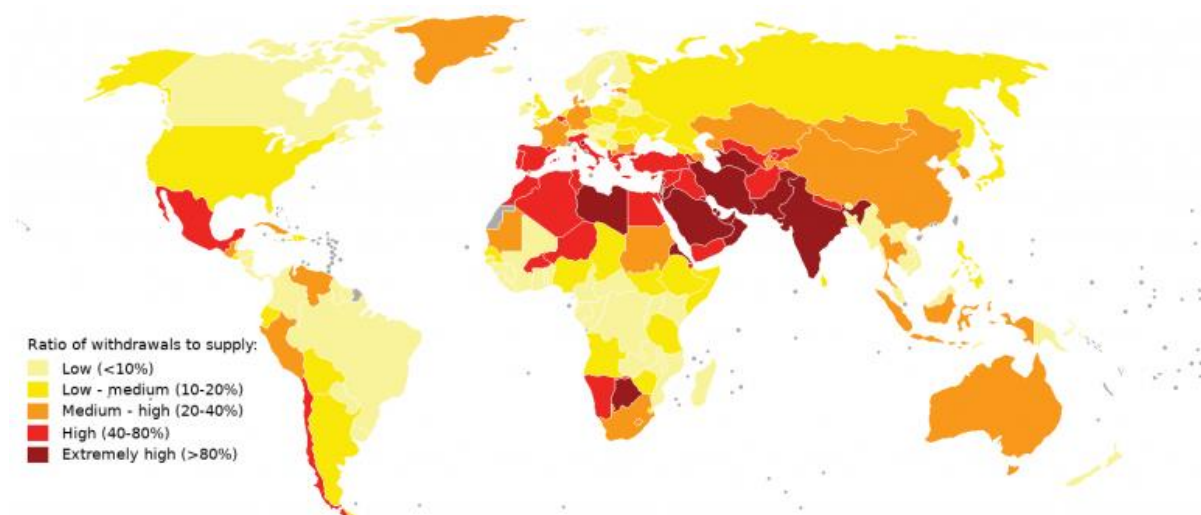


Abbildung 14: Wasserknappheit im Jahr 2030 nach Ländern ©World Resources Institute¹⁸

¹⁶ © Pixabay Ursula (<https://pixabay.com/de/photos/kinder-wasser-beh%C3%A4lter-kanister-4970919/>)

¹⁷ Greenpeace (2016): Greenpeace-Report zeigt den enormen Wasserverbrauch der Kohleindustrie. URL: <https://www.greenpeace.de/themen/energiewende/wasser-zu-kostbar-fuer-kohle>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

¹⁸ © CC BY 4.0, World Resources Institute (<https://wfi.de/die-erde-trocknet-aus>)

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Wofür wird beim Abbau und der Verstromung von Kohle Wasser verbraucht?



Abbildung 15: Wassernutzung beim Erzeugen von Kohlestrom ©Greenpeace¹⁹

Wasserverbrauch in Europa

Jede*r Europäer*in verbraucht im Jahr 4.815 Liter Wasser. Mit 44 % hat die Stromerzeugung in fossilen und Atomkraftwerken den größten Anteil am Wasserverbrauch, gefolgt von der Landwirtschaft mit 24 %, den Haushalten mit 21 % und der Industrie mit 11 %. Die fossilen Kraftwerke und Atomkraftwerke brauchen Unmengen an Wasser zur Kühlung. Der Wasserverbrauch ist von der Stromerzeugungstechnologie abhängig. Pro Jahr benötigen Gaskraftwerke 530 Mio. m³, Kohlekraftwerke 1,54 Mrd. m³ und Atomkraftwerke 2,44 Mrd. m³ Wasser. In Summe sind diese 4,5 Mrd. m³ Wasser so viel, wie 82 Mio. Europäer*innen im Haushalt oder alle Haushalte Deutschlands in einem Jahr verbrauchen. Wegen des hohen Kühlbedarfs von Fossil- und Atomkraftwerken kommt es bei sommerlicher Wasserknappheit auch immer wieder zu Einschränkungen der Stromproduktion.

Im Gegensatz zu Kohle-, Gas- oder Atomkraftwerken bedarf es für die Windstromerzeugung so gut wie kein Wasser. 2012 sparte die Windstromerzeugung damit 1,2 Mrd. m³ Wasser ein. Dies entspricht dem jährlichen Wasserverbrauch von 22 Mio. Einwohner*innen in Europa. „Damit hilft die Windenergie gleich

¹⁹ Greenpeace (2016): Greenpeace-Report zeigt den enormen Wasserverbrauch der Kohleindustrie. URL: <https://www.greenpeace.de/klimaschutz/energiewende/erneuerbare-energien/wasser-kostbar-kohle>, letzter Zugriff: 19.01.2023.
TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de
© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“
Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

zwei Mal die Wasserressourcen zu schonen“, freut sich Moidl und ergänzt: „Auf der einen Seite verbraucht die Windenergie bei der Stromerzeugung kein Wasser und spart damit das kostbare Nass. Auf der anderen Seite helfen die Windräder das Klima zu schützen, was die Wüstenbildung hintanhält und die Dürreereignisse nicht ausufern lässt.“

Ambitionierte Ziele für 2030 für den Ausbau erneuerbarer Energie und für Klimaschutz in Europa helfen nicht nur die Energiewende voranzubringen, sondern helfen das Klima zu schützen, schaffen Arbeitsplätze und etablieren eine neue grüne Wirtschaft in Europa. „Darüber hinaus kann die Energiewende aber auch mehr als 40% des europäischen Wasserverbrauchs reduzieren“, erklärt Moidl und ergänzt abschließend: „In einer Welt, in der die Wasserressourcen immer knapper werden, sollten wir unser Energiesystem nicht auch noch von der Verfügbarkeit von Wasser abhängen lassen!“²⁰

Wasserverbrauch nach Stromproduktion

Bei der Erzeugung von Strom werden unterschiedliche Mengen an Wasser verbraucht. Da Wasser eine endliche Ressource ist, sollte bei der Frage nach einer nachhaltigen Energiequelle auch der Wasserverbrauch betrachtet werden. Vor allen in Regionen, die bereits jetzt unter Wassermangel leiden, ist das kühle Nass von größter Bedeutung.

Stromerzeugungstechnologie	Wasserverbrauch (in Liter pro Kilowattstunde)
Kohlekraftwerk	2,6
Öl- oder Gaskraftwerk	2,6
Atomkraftwerk	3,2
Photovoltaik: Einzelsystem	0
Photovoltaisches Kraftwerk	0,1
Windkraft	0

21

Überlegt selbst! Wie viel Wasser könnte jedes Jahr gespart werden, wenn eine 4-köpfige Familie ihren gesamten Stromverbrauch von 5000 kWh pro Jahr über eigene Photovoltaikzellen decken würde, anstelle Kohlestrom zu nutzen? (1 Badewanne ~ 150 Liter)

²⁰ Windkraft-Journal (2014): Fossil- und Atomkraftwerke sind die größten Wasserverbraucher – Windenergie hilft Wassersparen. URL: <https://www.windkraft-journal.de/2014/03/21/fossil-und-atomkraftwerke-sind-die-groessten-wasserverbraucher-windenergie-hilft-wassersparen/50211>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

²¹ Bund der Energie Verbraucher (2004): Stromerzeugung und Wasserverbrauch. Stromerzeugung, Wasser und erneuerbare Energien. URL: https://www.energieverbraucher.de/de/site__894/, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Thema 5: Schadstoffausstoß eines Kohlekraftwerks

Leitfragen:

Welche und wie viele schädliche Stoffe stoßen Kohlekraftwerke aus?

Gibt es schädliche und weniger schädliche Kraftwerke und warum?

Welche gesundheitlichen Auswirkungen hat die Kohlekraft?

Sind Kohlekraftwerke mit modernen Technologien die Lösung der Zukunft? Begründet eure Antwort!

Umweltauswirkungen von Kohlekraftwerken in Deutschland

Die Kohlekraftwerke in Deutschland gehören zu den größten Kohlendioxidemittenten. Neben Kohlendioxid stoßen sie aber noch eine Menge anderer umwelt- und gesundheitsschädlicher Abgase wie Arsen oder Quecksilber aus. Kohlekraftwerke zählen zu den größten Verursachern von Umweltschäden in Deutschland. Bei der Stromerzeugung betrugen die Kohlendioxidemissionen im Jahr 2018 insgesamt 269 Mt. Das entspricht rund 30 % der deutschen Treibhausgasemissionen. Der überwiegende Anteil (77 %) davon stammte von den deutschen Braun- und Steinkohlekraftwerken, wobei nur 36 % des deutschen Strombedarfs aus Kohlekraft gedeckt wurde.

Neben klimaschädlichem Kohlendioxid emittieren Kohlekraftwerke auch eine ganze Palette anderer Schadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Quecksilber oder Arsen. Kohlekraftwerke sind dabei für einen Großteil aller Quecksilberemissionen in Deutschland verantwortlich. Im Jahr 2018 wurden in Deutschland 8.250 kg Quecksilber emittiert. Alleine das Braunkohlekraftwerk Jänschwalde in der Nähe von Cottbus in Brandenburg emittierte davon 672 kg. Die Schadstoffe sind für eine Vielzahl an Erkrankungen und auch Todesfälle verantwortlich. Nach einer Greenpeace-Studie aus dem Jahr 2013 gingen rund 3.100 frühzeitige Todesfälle in Europa auf das Konto der deutschen Kohlekraftwerke.

Das Kraftwerk Jänschwalde ist dabei das deutsche Braunkohlekraftwerk mit den höchsten Emissionen. 373 Todesfälle sollen laut Greenpeace-Studie allein durch den Schadstoffausstoß dieses Kraftwerks entstehen. Exemplarisch werden daher im Folgenden Umweltdaten des Kraftwerks Jänschwalde näher vorgestellt.²²

Interessante Informationen zu den Umweltbelastungen des Kohlekraftwerk Jänschwalde:

- Eine Energiesparlampe darf maximal 2,5 mg Quecksilber enthalten. Das Braunkohlekraftwerk Jänschwalde emittiert pro Jahr so viel Quecksilber in die Luft, wie maximal in 268 Mio. Energiesparlampen enthalten ist.
- Die jährlichen Kohlendioxidemissionen des Braunkohlekraftwerks Jänschwalde würden ausreichen, um Berlin 13 m tief im Kohlendioxid versinken zu lassen.
- Das Kraftwerk Jänschwalde erzeugte im Jahr 2017 mehr als 3 % aller Kohlendioxidemissionen Deutschlands.
- Das Kraftwerk Jänschwalde erzeugte im Jahr 2017 1,5-mal so viel Kohlendioxid wie ganz Kenia mit seinen 47 Mio. Einwohnern.
- 300 mg Quecksilber gelten als tödliche Dosis. Das Kraftwerk Jänschwalde emittiert pro Jahr weit mehr als 2 Mio. mal so viel²²

²² Quaschnig, Volker (2020): Umweltauswirkungen von Kohlekraftwerken in Deutschland. URL: <https://www.volker-quaschnig.de/datserv/Kohle-in-D/index.php>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Welche Schadstoffe werden vom Kraftwerk Jänschwalde freigesetzt?

Schadstoffe	Freigesetzte Menge pro Jahr
Kohlendioxid	24 000 000 000 kg
Schwefeloxide	19 000 000 kg
Kohlenmonoxid	15 100 000 kg
Blei	1 780 kg
Quecksilber	672 kg
Kupfer	658 kg
Arsen	208 kg

22

Der Schadstoffausstoß der Kraftwerke hängt von den Kraftwerken ab.



Abbildung 16: Ranking der 30 Kohlekraftwerke mit größtem CO₂-Ausstoß ©WWF Deutschland²³

Betrachtet die Abbildung einmal näher. Haben alle Kraftwerke gleich starke Schadstoffausstöße? Worin sind die Unterschiede begründet?

²³ © WWF Deutschland (o.J.): Die 30 klimaschädlichsten Kohlekraftwerke Deutschlands. URL: https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Karte_dreckigste_Kraftwerke.pdf, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Luftverschmutzung durch Kohlekraftwerke

Luftverschmutzung aus Kohlekraftwerken verursacht laut einer Analyse jedes Jahr 23.000 vorzeitige Todesfälle in Europa und belastet die Gesundheitssysteme mit Mehrkosten von rund 60 Mrd. Euro. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie, die unter anderem die Organisationen WWF Deutschland und "Health and Environment Alliance" (HEAL) erarbeitet haben. Demnach sind allein die Kohlekraftwerke, die in Deutschland stehen, für 4.350 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verantwortlich, davon 2.500 im europäischen Ausland. Noch gravierender für die Gesundheit der EU-Bürger*innen seien nur die Anlagen in Polen. Der Feinstaub aus polnischen Schloten verursache jährlich 5.830 vorzeitige Todesfälle, davon 4.700 in Nachbarländern.

Die Autor*innen stützen sich auf die bislang aktuellsten europaweiten Emissionsdaten aus dem Jahr 2013, welche die Schadstoffe von mehr als 90 % aller 280 Kohlekraftwerke in der EU verzeichnen. Feinstaub aus der Kohleverbrennung kann im Umkreis von hunderten Kilometern die Luftqualität beeinflussen, daher sitzen die Leidtragenden der Energiegewinnung häufig im Nachbarland. So hat etwa Frankreich zwar kaum eigene Kohlekraftwerke, dennoch sterben laut den Berechnungen jährlich rund 1.300 Französischen und Franzosen vorzeitig aufgrund der Kohleverstromung in den Nachbarländern. Um die Auswirkungen in den einzelnen Staaten zu berechnen, nutzten die Autor*innen Wetterdaten. Anhand von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag lässt sich abschätzen, wie sich die Schadstoffe einer Quelle in der Atmosphäre verteilen.²⁴

Sind neue, modernere Kohlekraftwerke die Lösung für die Zukunft?



In folgendem Beitrag wird das neue Kohlekraftwerk Datteln 4 vorgestellt, was 2020 in Betrieb genommen wurde. Dieses soll umweltschonend sein. Geht dies überhaupt und empfiehlt es sich, neue Kohlekraftwerke zu bauen?²⁵



²⁴ Behrens, Christoph (2016): Luftverschmutzung. Tödliche Kohle-Glocke über Europa. URL: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/luftverschmutzung-toedliche-kohle-glocke-ueber-europa-1.3063507>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

²⁵ Tertilt, Mathias (2021): Kohleausstieg. Datteln 4: Spart das neue Kohlekraftwerk wirklich CO₂? URL: <https://www.quarks.de/technik/energie/datteln-4-darum-ist-das-kraftwerk-so-umstritten/>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Thema 6: Energiegewinn und Effizienz: Wie viel Energie wird gewonnen und ist ein Kohlekraftwerk effizient?

Leitfragen:

Vergleiche die produzierten Strommengen 2020 mit 2021! Was wurde mehr, was weniger genutzt?

Was ist der Wirkungsgrad und wie hoch ist dieser bei Kohlekraftwerken?

Wie kann die nicht verwertbare Energie in einem Kohlekraftwerk genutzt werden?

Erkläre die Entwicklung des Wirkungsgrads eines Kohlekraftwerks!

Übersicht über die im ersten Halbjahr 2021 produzierten Strommengen

Im Inland produzierte und ins Netz eingespeiste Strommenge

Netzeinspeisung	1. Halbjahr 2020 (in Mrd. kWh)	Anteile (in %)	1. Halbjahr 2021 (in Mrd. kWh)	Anteile (in %)	Veränderung zum 1. Halbjahr 2020 (in %)
Netzeinspeisung insgesamt	248,9	100	258,9	100	4,0
Konventionelle Energieträger	119,8	48,1	144,9	56,0	20,9
darunter:					
Kohle	51,8	20,8	70,2	27,1	35,5
Kernenergie	30,0	12,1	32,2	12,4	7,1
Erdgas	31,9	12,8	37,3	14,4	16,9
Erneuerbare Energieträger	129,1	51,9	114,0	44,0	-11,7
darunter:					
Windkraft	72,3	29,1	57,1	22,1	-21,0
Biogas	15,3	6,1	15,2	5,9	-0,8
Photovoltaik	24,8	10,0	24,4	9,4	-1,5

Abbildung 17: Anteil produzierter Kohleenergie im 1. Halbjahr 2021 und absolute Menge ©Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021²⁶

Was ist eigentlich der "Wirkungsgrad"?

Der Wirkungsgrad gibt Aufschluss darüber, welcher Anteil der Energie, die einer technischen Anlage zugeführt wird, am Ende tatsächlich genutzt wird. Je höher der Wirkungsgrad, umso effizienter arbeitet die Anlage. Der Wirkungsgrad lässt sich mit Werten zwischen 0 und 1 angeben oder – wie im Beispiel oben – in Prozenten. Er kann aber nie den Wert 1 beziehungsweise 100 % erreichen, weil ein Teil der zugeführten Energie immer als Wärme verloren geht.

Auch bei Kraftwerken spielt der Wirkungsgrad eine große Rolle. Zu den Spitzenreitern zählen die sogenannten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen). In diesen Anlagen wird – wie im Auto – ein Brennstoff eingesetzt, um mechanische Energie zu erzeugen. Diese wird anschließend in Strom

²⁶ © Statistisches Bundesamt (Destatis) (2021): Stromerzeugung im 1. Halbjahr 2021: Kohle wichtigster Energieträger. URL: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/09/PD21_429_43312.html, letzter Zugriff: 31.07.2022.

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

umgewandelt. Dabei entsteht ebenfalls wie beim Auto auch Wärme. In KWK-Anlagen verpufft diese Wärme jedoch nicht, sondern wird zum Heizen genutzt. Der eingesetzte Brennstoff liefert also Strom und Wärme – und sorgt so für einen hohen Wirkungsgrad von bis zu 90 %.

Im Vergleich zu Anlagen, die entweder Strom oder Wärme produzieren, sparen KWK-Anlagen Brennstoff und erzeugen somit weniger Treibhausgase (CO_2). Moderne Anlagen nutzen als Brennstoff neben Erdgas auch erneuerbare Energien wie Biogas, Bioethanol oder Holz, wodurch sich die CO_2 -Bilanz zusätzlich verbessert.²⁷

Wirkungsgrad eines Kohlekraftwerks:

Moderne Kohlekraftwerke bewegen sich in einem Leistungsbereich von ca. 800 - 1000 MW. Mit Hilfe stetiger Verbesserungen erreichen Kohlekraftwerke heutzutage Wirkungsgrade von ca. 45 %. Die Kohlereserven in deutschen Lagerstätten würden bei gleichbleibendem Abbau noch etwa 200 Jahre reichen. Deutsche Kohle ist aufgrund der, im Vergleich zu anderen Ländern, schlechten Abbaubarkeit sehr teuer. Deshalb werden in naher Zukunft die meisten deutschen Kohlezechen schließen.¹

Vergleicht doch die Leistung eines Kohlekraftwerks mit der Leistung einer Mikrowelle oder einem Auto! (Hinweis: 1 MW = 1.000.000 W)



Wirkungsgrad fossiler Kraftwerke

Der Brutto-Wirkungsgrad bezieht sich auf die Stromerzeugung eines Kraftwerkes. Er wird bei Abnahme eines Kraftwerks im Bestpunkt gemessen und als durchschnittlicher Wirkungsgrad innerhalb eines Jahres errechnet. Beim Netto-Wirkungsgrad hingegen ist im Vergleich zum Brutto-Wirkungsgrad der Eigenverbrauch der Kraftwerke schon abgezogen.

Insgesamt verbesserte sich der durchschnittliche Brutto-Wirkungsgrad im deutschen Kraftwerkspark im Zeitraum seit 1990 um einige Prozentpunkte (Abbildung 18). Diese Entwicklung spiegelt die kontinuierliche Modernisierung des Kraftwerksparks und die damit verbundene Außerbetriebnahme alter Kraftwerke wider. Vor allem bei Gaskraftwerken kann durch den Trend zu effizienten Gas- und Dampfkraftwerken (GuD) eine sehr positive Effizienzentwicklung verzeichnet werden, wobei die Betriebsstunden aufgrund der höheren Grenzkosten gegenüber Kohlekraftwerken zwischenzeitlich teils deutlich zurückgegangen sind.

Der Brennstoffausnutzungsgrad von Kraftwerken kann durch eine gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung) gesteigert werden. Dies kann bei Großkraftwerken zur Wärmebereitstellung in Industrie und Fernwärme, aber auch bei dezentralen kleinen Kraftwerken wie Blockheizkraftwerken lokal erfolgen. Dabei müssen neue Kraftwerke allerdings auch den geänderten Flexibilitätsanforderungen an die Strombereitstellung genügen, dies kann beispielsweise über die Kombination mit einem thermischen Speicher erfolgen.

²⁷ Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2017): Was ist eigentlich der "Wirkungsgrad"? URL: <https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2017/09/Meldung/direkt-erklart.html>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Obwohl bei konventionellen Kraftwerken in den letzten Jahren technisch eine Steigerung der Wirkungsgrade erreicht werden konnte, werden die dadurch erzielbaren Brennstoffeinsparungen **nicht** ausreichen, um die erforderliche Treibhausgasreduktion im Kraftwerkssektor für die Einhaltung der Klimaschutzziele zu erreichen. Dafür ist ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung notwendig.

Durchschnittlicher Brutto-Wirkungsgrad des fossilen Kraftwerksparks¹

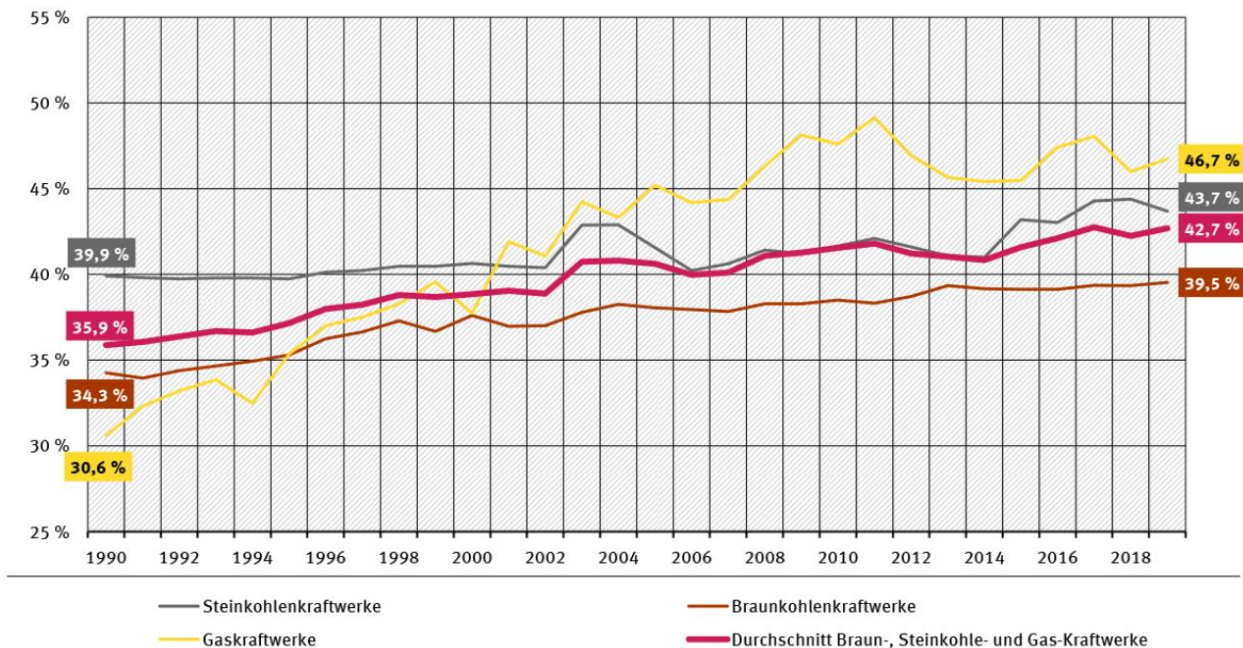


Abbildung 18: Entwicklung des Wirkungsgrades fossiler Brennstoffe ©Umweltbundesamt²⁸

Größenordnungen für energetische Wirkungsgrade

- Geothermiekraftwerk: ca. 10%
- Solarzelle: ca. 15%
- Brennstoffzelle: ca. 30%
- Atomkraftwerk: ca. 30 - 40%
- Windkraftanlage: ca. 45%
- Kohlekraftwerk: ca. 45%
- Wasserkraftwerk: ca. 80%
- Blockheizkraftwerk: ca. 90% ²⁹

²⁸ ©Umweltbundesamt (2022): Kraftwerke: konventionelle und erneuerbare Energieträger. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/kraftwerke-konventionelle-erneuerbare#wirkungsgrad-fossiler-kraftwerke>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

²⁹ energie-strom (o.J.): Wirkungsgrad. URL: <http://energie-strom.com/energie/wirkungsgrad.html>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Thema 7: Ausstieg aus Kohle – wie ist das möglich? Wer ist dafür- wer dagegen?

Leitfragen:

Was ist der Kohleausstieg und welches Gremium hat dazu beraten?

Welche Festlegung hat die Bundesregierung zum Kohleausstieg getroffen?

Nennt drei verschiedene Interessensgruppen und erklärt deren Position zum Kohleausstieg!

Welche Ziele haben die Interessensverbände?

Kohlenutzung in Deutschland

Am 3. Juli 2020 hat der Deutsche Bundestag das „Gesetz zur Reduzierung und zur Beendigung der Kohleverstromung“ verabschiedet, auch „Kohleausstiegsgesetz“ genannt. Damit ist nun gesetzlich festgelegt, dass spätestens im Jahr 2038 die letzten Kohlekraftwerke in Deutschland keine Kohle mehr verfeuern dürfen. So wird die Zeit eines Energieträgers ablaufen, der die wirtschaftliche und damit auch die soziale Struktur seit dem 19. Jahrhundert in Deutschland sehr wesentlich geprägt hat.

Dem Kohleausstiegsgesetz gingen lange Diskussionen in der deutschen Wirtschaft und Zivilgesellschaft voraus. Am 6. Juni 2018 wurde von der Bundesregierung die „Kommission für Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ eingesetzt („Kohlekommission“). Ihre Aufgabe war es, in einem breiten Diskussions- und Beteiligungsprozess Empfehlungen zu erarbeiten, auf welchem Weg Deutschland in absehbarer Zeit aus der energetischen Nutzung der Kohle aussteigen kann. Dabei sollten konkrete Vorschläge für eine in die Zukunft gerichtete, nachhaltige Strukturentwicklung und damit für zukunftssichere Arbeitsplätze in den vom Strukturwandel betroffenen Braunkohleregionen erarbeitet werden.⁵

Akteur*innen in der Diskussion um Kohle:

Im Streit um einen Kohleausstieg stehen viele verschiedene Interessensverbände sich gegenüber. Diese streiten nicht nur, ob der Ausstieg erfolgen soll, sondern auch wann. Im Folgenden werden drei wichtige Interessensgruppen näher beleuchtet. Überlegt euch mit dem vorliegenden Material, welche Positionen die Interessensgruppe im Streitpunkt Kohleausstieg einnehmen.

Position 1: Umweltschützer*innen und -verbände:

Eine gemeinsame Erklärung von Umweltverbänden:



Will Deutschland seine Verpflichtungen im Klimaschutz wissenschaftsbasiert umsetzen, muss die Kohleverstromung bis 2020 halbiert werden. Bis 2030 muss der Ausstieg aus der Kohle weitestgehend abgeschlossen sein. Dabei gilt: Wir reden nicht über abstrakte Zieldaten, sondern über reale Emissionsbudgets. Je entschlossener mit dem Ausstieg begonnen wird, desto moderater gestaltet sich deshalb das Enddatum.

Wir stehen für Verbindlichkeit. Einerseits für einen sozial gerechten, strukturpolitisch begleiteten Kohleausstieg, andererseits für die wissenschaftsbasierte Umsetzung der Temperaturlimits des Pariser Klimaabkommens. Dafür braucht es die ambitionierte zusätzliche Abschaltung von Kapazitäten. Was nun öffentlich als ‚Kompromisslinie‘ skizziert worden ist, wäre klimapolitisch ein

Schlag ins Wasser. Ein solcher Ausstiegspfad, der lediglich einen vorhersehbaren, marktgetriebenen Prozess beschreibt, ist für uns inakzeptabel. Die Kohlekommission muss dem Anspruch gerecht werden, den Klimazielen und Verpflichtungen Deutschlands gerecht zu werden.

Versuche, die Umweltbewegung zu spalten, werden scheitern. Wir lassen uns weder von der unverantwortlichen Provokation im Hambacher Wald auseinanderdividieren, noch werden wir uns durch angebliche Kompromisse irritieren lassen. Geschlossen fordern wir weiterhin ein Moratorium für die Zeit der Kommissionsarbeit und eine Rückkehr zum Diskurs. ‚Reden statt roden‘ muss die Leitschnur sein.³⁰

Forderungen der Umwelt-Bewegung „Fridays for Future“:

Fridays for Future fordert die Einhaltung der Ziele des Pariser Abkommens und des 1,5°C-Ziels. Explizit fordern wir für Deutschland:

- **Nettonull 2035 erreichen**
- **Kohleausstieg bis 2030**
- **100% erneuerbare Energieversorgung bis 2035**

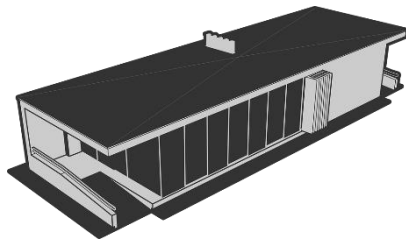
Entscheidend für die Einhaltung des 1,5°C-Ziels ist, die Treibhausgasemissionen so schnell wie möglich stark zu reduzieren. Deshalb fordern wir ab sofort:

- **Das Ende der Subventionen für fossile Energieträger**
- **1/4 der Kohlekraft abschalten**
- **Eine CO₂-Steuer auf alle Treibhausgasemissionen. Der Preis für den Ausstoß von Treibhausgasen muss schnell so hoch werden wie die Kosten, die dadurch uns und zukünftigen Generationen entstehen. Laut UBA sind das 180€ pro Tonne CO₂³¹**

³⁰ NABU (2018): Wir stehen geschlossen für einen Kohleausstieg, der seinen Namen verdient. URL: <https://www.nabu.de/news/2018/09/25151.html>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

³¹ Fridays for Future (o.J.): Unsere Forderungen an die Politik. URL: <https://fridaysforfuture.de/forderungen/>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Position 2: Energieunternehmen



Dieter Kempf – Präsident des Bundesverbands der Deutschen Industrie

„Um führend zu bleiben, dürfen die Energiekosten nicht noch weiter steigen. Sonst wäre das Ende für wesentliche Teile der energieintensiven Industrie in Deutschland ausgemacht. Dann gäbe es bald weder Aluminium- noch Zinkhütten in Deutschland. Dem Klima geholfen wäre damit jedoch kein bisschen. Die Produktion würde verlagert in Länder, die nicht annähernd so hohe Umweltstandards pflegen wie wir.“

Eric Schweitzer – Präsident des Deutschen Industrie- und Handelskammertags

„Deutschland ist das einzige Industrieland weltweit, das politisch entschieden hat, binnen eines Jahrzehnts aus der Kernenergie auszusteigen. Da gehen 2022 noch einmal zehn Gigawatt Strom raus. Deutschland habe bereits die höchsten Stromkosten in Europa. Wenn wir nun auch noch aus der Kohle aussteigen, müssen wir dafür sorgen, dass die Energiekosten dadurch nicht noch einmal steigen. Hinzu kommt die Frage, wie wir die Firmen zu jeder Zeit sicher mit Strom versorgen können. Wir haben einen erheblichen Rückstand beim Bau neuer Stromleitungen.“³²

Zeitungsartikel aus dem Jahr 2019: Position vom größten Stromerzeuger Deutschlands RWE



Der Konzern fordert fürs Abschalten von Kraftwerken Milliarden vom Steuerzahler.

Wenige Wochen nach den Empfehlungen der Kohlekommission für einen Ausstieg aus der Verstromung bis 2038 geht der größte deutsche Erzeuger RWE in die Offensive.

Der Versorger sei bereit, für den ersten großen Schritt bis 2023 weitere Braunkohlekraftwerke vom Netz zu nehmen, sagte Konzernchef Rolf Martin Schmitz am Donnerstag bei der Vorstellung der Jahresbilanz in Essen. „Uns ist klar, dass RWE den Löwenanteil der rund drei Gigawatt, die allein in der Braunkohle vom Netz gehen sollen, schultern soll.“

RWE könne das aber nicht alleine stemmen, sondern benötige Unterstützung durch die Politik. Als Entschädigung seien 1,2 bis 1,5 Milliarden Euro pro Gigawatt angemessen. Auch der umkämpfte Hambacher Forst könne erhalten werden – wenn genügend Geld fließe.³³

³² WirtschaftsWoche (2019): Warnung vor steigenden Strompreisen. Wirtschaft will Kohleausstieg an Bedingungen knüpfen. URL: <https://www.wiwo.de/politik/deutschland/warnung-vor-steigenden-strompreisen-wirtschaft-will-kohleausstieg-an-bedingungen-knuepfen/23828690.html>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

³³ taz (o.J.): Klimaschutz in Deutschland. RWE will Kohle sehen. URL: <https://taz.de/Klimaschutz-in-Deutschland/I5580670/>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

Position 3: Regionen, die Kohle abbauen („Kohleregionen“)



Zeitungsartikel aus 2018:



Tausende protestieren bei Braunkohle-Demo gegen Kohleausstieg

Im rheinischen Revier machen tausende Befürworter der Braunkohle ihrem Ärger Luft. Sie werben für ihre Jobs – und gegen einen schnellen Ausstieg.

Zur Tagung der Kohlekommission im rheinischen Revier haben mindestens mehr als 16.000 Beschäftigte aus Energiewirtschaft und Industrie für ihre umstrittene Branche demonstriert. Sie protestierten am Mittwoch in Bergheim und bei der anschließenden Kundgebung in Elsdorf gegen einen schnellen Ausstieg aus der Braunkohle und warben für den Erhalt ihrer Jobs.³⁴

Zeitungsartikel aus 2019:



Kohleregionen erhalten langfristige Unterstützung vom Bund

Länder mit Kohleindustrie haben mehr Mittel für den Strukturwandel gefordert. Laut Sachsen-Anhalts Regierungschef Reiner Haseloff wurde ihnen das Geld nun zugesichert.

Die Bundesregierung hat den vom Kohleausstieg besonders betroffenen Regionen langfristige Finanzhilfen zugesagt. Dies teilte Sachsen-Anhalts Ministerpräsident Reiner Haseloff (CDU) nach einem Treffen der betroffenen Bundesländer mit Bundeskanzlerin Angela Merkel (CDU) und mehreren ihrer Kabinettsmitglieder mit. Nach Angaben von Haseloff habe Bundesfinanzminister Olaf Scholz (SPD) entsprechende Zusagen gemacht.

Der Ministerpräsident äußerte sich optimistisch, dass es zu einer Einigung kommt. "Wir haben alle ein Interesse daran, dass es einen Kompromiss gibt, weil das zur gesellschaftlichen Befriedung beitragen würde", sagte er in Berlin. Es gehe bei Strukturhilfen um die gesamte Energiewende, etwa auch um die Entwicklung der Strompreise für die Wirtschaft. Auch deshalb müsse es sich bei den Strukturhilfen um "erhebliche Mittel" handeln.³⁵

³⁴ Handelsblatt (2018): Kohleausstieg. Tausende protestieren bei Braunkohle-Demo gegen Kohleausstieg. URL: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/kohleausstieg-tausende-protestieren-bei-braunkohle-demo-gegen-kohleausstieg/23225466.html?ticket=ST-11613496-HoiM9iXfcg9Y6aF7M6Tt-ap3>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

³⁵ ZEIT ONLINE (2019): Kohleregionen erhalten langfristige Unterstützung vom Bund. URL: <https://www.zeit.de/wirtschaft/2019-01/energiewende-kohleausstieg-bund-finanzhilfen-strukturwandel>, letzter Zugriff: 31.07.2022.

TU Dresden | Juniorprofessur für Didaktik der Geographie und Umweltkommunikation | sensor@tu-dresden.de

© CC BY-SA 3.0 Projekt „SENSOR – Smart Energy Smart Schools“, „Kohlekraftwerk_Quellen_SuS“

Dieses Projekt wird gefördert durch: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück

Hinweis zur Quellenangabe:

Die im Schüler*innenmaterial befindlichen Texte und Textpassagen sind teilweise wörtlich dem aufgeführten Quellenverzeichnis entnommen. Zur Wahrung des Textflusses und der Übersichtlichkeit wurde auf einen Verweis der Quellen jeweils nach den Textpassagen verzichtet.