

FWU – Schule und Unterricht

VHS 42 02775 16 min, Farbe



Strom und Wärme aus Steinkohle

FWU –
das Medieninstitut
der Länder



Lernziele

Die Bedeutung der Kohle für die Stromerzeugung erfahren; Aufbau und Funktion eines Steinkohlenkraftwerkes sowie die Maßnahmen zur Rauchgasreinigung kennen lernen; einen Einblick in neue Kraftwerkstechniken gewinnen, mit denen die Energieausbeute gesteigert und die Kohleverstromung umweltfreundlich gestaltet werden kann; Erfahren, dass durch die Steigerung des Wirkungsgrades die Kohlevorräte ressourcensparend genutzt werden; Forschungen und Entwicklungen für das CO₂-freie Kohlekraftwerk der Zukunft kennen lernen

Vorkenntnisse

Die Filme „Steinkohle - Entstehung und Gewinnung“ (32/42 10362 / 46 01060) sowie „Steinkohlenbergwerk - Technik unter und über Tage“ (42 02478) stellen die Grundlagen der Entstehung und Gewinnung des Energieträgers Steinkohle ausführlich dar und können zur Einführung ins Thema eingesetzt werden.

Zum Inhalt

Der Weg der Kohle von der Entstehung bis ins Kraftwerk wird skizziert. Mit Trick- und Realbildern werden die Funktionsweise eines konventionellen Steinkohlenkraftwerks, die einzelnen Energie-Umwandlungsschritte und die Rauchgasreinigung gezeigt. Besonders wird auf die Erhöhung des Wirkungsgrades - auch im Hinblick auf die Klimadiskussion - hingewiesen. Neue Kraftwerkstechniken, die bereits erprobt oder noch in der Entwicklung sind, zeigen, dass Steinkohle ein zukunftsfähiger, nachhaltiger Energieträger ist. Im Detail werden vorgestellt: die Wirbelschichttechnik, die Druckkohlenstaubfeuerung als Beispiel der GuD-Technik, das CO₂-freie Kraftwerk nach dem ZECA-Verfahren und die Kraft-Wärme-Kopplung.

Ergänzende Informationen

Strom und Wärme aus Steinkohle

Strom ist eine universell einsetzbare Energieform. Elektrische Energie wird in Dampfkraftwerken aus Kohle, Erdöl, Erdgas oder Kernenergie gewonnen. Außerdem kann Strom aus der Kraft des fließenden Wassers, des Windes, aus Sonnenenergie oder anderen regenerativen Energieträgern gewonnen werden. Die **Kohle** spielt bei der Stromerzeugung eine besonders bedeutende Rolle: 38 % der Weltstromerzeugung und über 50% des Stroms in Deutschland basieren auf Kohle. Über 70% der in Deutschland geförderten Steinkohle werden verstromt. Weltweit ist Kohle der fossile Energieträger mit den größten Reserven und Ressourcen. (siehe Tabelle 1)

Die **Energieerzeugung** aus Kohle hat bereits heute einen technisch und wirtschaftlich hohen Stand erreicht. Bestehende Techniken werden ständig verbessert und die Entwicklung neuer Verfahren zur emissionsarmen Verstromung von Kohle ist in vollem Gange. Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes werden dabei auch Verfahren zur Abscheidung und Deponierung von CO₂ entwickelt. Der Film zeigt die Standard-Technik eines Dampfkraftwerkes sowie einige Techniken, die es ermöglichen, Wirkungsgrade zu erhöhen und Emissionen zu verringern oder zu vermeiden.

So wird die Stromerzeugung aus Kohle in Großkraftwerken zur sicheren Versorgung insbesondere von Ballungsräumen und Industriegebieten auch zukünftig eine große Rolle spielen. Noch für lange Zeit wird die Kohle einer der wichtigsten Energieträger zur Stromerzeugung bleiben.

Ziel ist es, mit den vorhandenen **Kohlevorräten** verantwortungsbewusst und ressourcensparend umzugehen. Demzufolge muss

Tabelle 1: Strom weltweit und in Deutschland

in TWh	Weltstromerzeugung		Stromverbrauch in Deutschland	
	2000	2020*	2000	2020*
Kohle	5759	9763	291,4	339,8
Steinkohle			143,1	174,9
Braunkohle			148,3	164,9
Kernenergie	2407	2369	169,6	53,6
Öl	1402	1498	3,6	4,2
Gas	2664	7745	49,2	121,9
Wasserkraft etc.	2968	4507	52,5	92
Insgesamt	15200	25882	566,3	611,5

Quellen: *IEA 2000; **Prognos/EWI 1999

der Wirkungsgrad bei der Umwandlung der chemisch gebundenen Energie in Strom und Wärme weiter optimiert werden. Hierdurch und mit Hilfe moderner Umweltschutztechnik wird die Kohleverstromung umweltfreundlich gestaltet.

Die Kohleverstromung ist auch unter den Gesichtspunkten der **Nachhaltigkeit** der weltweiten Stromversorgung und der Wirtschaftlichkeit zu sehen. Dies bedeutet neben der Wirkungsgradverbesserung auch, Technologien der CO₂-Abscheidung und -Ablagerung zu entwickeln.

Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Erdgas, Erdöl und Kohle entstehen **Emissionen**. Während die Staubemissionen in Deutschland bereits seit vielen Jahrzehnten immer weiter reduziert wurden (über 99,9% werden aus dem Rauchgas gefiltert), wurden die SO₂- und NO_x-Emissionen seit 1980 um 90% bzw. 75% verringert.

Der Dampfkraftwerksprozess

Brennstoff Steinkohle

Die übliche Bezeichnung „Steinkohleneinheit“ (SKE) besagt, dass 1 kg Steinkohle 7000 kcal entsprechend 29,3 MJ Energie ent-

hält. Diese Energie ist in der Kohle chemisch gespeichert. Bei der Verbrennung wird sie in Form von Wärme frei. Will man Strom erzeugen, sind weitere Schritte erforderlich. Dabei wird die Energie lediglich umgewandelt, da Energie im physikalischen Sinne nicht erzeugt werden kann. In einem herkömmlichen Kraftwerksprozess muss die in der Kohle befindliche Energie also über Zwischenstufen in Strom umgewandelt werden.

Von der Kohle zum Strom

Die gemahlene, staubförmige Kohle wird mit vorgewärmerter Luft in den **Heizkessel** eingeblasen und verbrennt dort. Die entstehende Wärme überträgt sich auf ein geschlossenes Rohrsystem, in dem Wasser fließt, das dabei verdampft. Der Dampf wird in eine **Turbine** geleitet, die in einen Hoch-, Mittel- und Niederdruckteil gegliedert ist. Die Turbinenschaufeln rotieren auf einer gemeinsamen Achse, an die ein **Generator** gekoppelt ist. Im Generator wird die Rotationsenergie nach dem Dynamoprinzip in elektrischen Strom umgewandelt.

Zusammenfassend finden folgende Umwandlungen statt:

chemisch gebundene Energie > Wärmeenergie	Heizkessel	mechanische Energie > elektrische Energie	Turbine	Generator
---	------------	---	---------	-----------

Kühlkreislauf

Bevor der Dampf, der in der Turbine seine Arbeit abgeleistet hat, wieder in den Kessel geleitet wird, muss er zu Wasser kondensiert werden. Hierzu wird in einem Wärmetauscher die Restwärme entzogen und auf das Wasser eines separaten Kreislaufs, den Kühlwasserkreislauf übertragen. Das Kühlwasser rieselt im Kühlturm herab und wird durch die Verdunstung abgekühlt. Die aus dem Kühlturm entweichenden Schwaden bestehen also aus reinem Wasser. In einem anderen Verfahren werden auch die gereinigten Rauchgase über den Kühlturm abgeleitet. Hier kann dann auf einen Schornstein verzichtet werden.

Rauchgasreinigung

Die Rauchgase müssen, bevor sie in die Atmosphäre gelangen, gereinigt werden (siehe Tabelle 2: Chemische Reaktionsgleichungen der einzelnen Stufen):

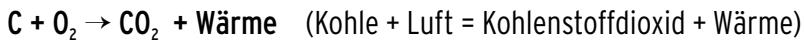
Durch die hohen Verbrennungstemperaturen bilden sich aus dem in der Kohle und in der Verbrennungsluft vorhandenen Stickstoff Stickstoffoxide. Diese werden in der **DeNO_x-Anlage** durch Ammoniak mit Hilfe eines Katalysators wieder zu Stickstoff reduziert - Stickstoff, wie er in der Luft ohnehin zu 78% enthalten ist.

Die im Rauchgas vorhandene Asche wird in einem **Elektrofilter** abgeschieden. Die Aschepartikel haften an elektrisch geladenen Platten, werden abgeklopft und so aus dem Rauchgasstrom entfernt. Aus der Asche werden, ebenso wie aus der Schlacke, wertvolle Baustoffe hergestellt.

Die Schwefelgehalte werden mit Kalkmilch aus dem Rauchgas gewaschen, wobei Gips entsteht, der in der Bauindustrie Verwendung findet. Die durch die Verbrennung der Kohle entstehenden Rauchgase werden, bevor sie in die Atmosphäre gegeben werden, gereinigt.

Tabelle 2: Chemische Reaktionen in den Kraftwerksprozessen (vereinfacht)

1) Verbrennungsprozess



Daneben laufen folgende Prozesse ab, durch die Schadstoffe entstehen:



2) Chemische Rauchgasreinigung



3) ZECA-Verfahren (Kohlenstoffdioxid-freie Stromproduktion aus Kohle)

Das ZECA-Verfahren besteht aus mehreren miteinander verknüpften Prozessen, in denen einige Stoffe im Kreislauf geführt werden:

a) **Kohlehydrierung:** Ein Kohle-Wasser-Gemisch wird hydriert, wobei Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid entstehen. Das Kohlenstoffdioxid reagiert mit zugeführtem Kalziumoxid zu Kalziumkarbonat.

b) **Brennstoffzelle:** Der Wasserstoff wird in einer Brennstoffzelle zu Wasser oxidiert; dabei entstehen Strom und Wärme. Die Wärme wird zur Kalzinierung benötigt.

c) **Kalzinierung:** Aus dem Kalziumkarbonat wird das Kohlenstoffdioxid abgetrennt. Das verbleibende Kalziumoxid wird der Hydrierung wieder zugeführt.

d) **Karbonatisierung:** Das Kohlenstoffdioxid wird nun mit dem Mineral Serpentin in Reaktion gebracht. Es entsteht Magnesiumkarbonat, das umweltneutral deponiert werden kann.

Übrig bleibt ein Rauchgas, das i.W. noch aus Kohlenstoffdioxid besteht.

Klima und Wirkungsgrad

Klimarelevanz von Kohlenstoffdioxid

CO_2 ist ein natürlicher ungiftiger Bestandteil der Erdatmosphäre und nimmt dort eine zentrale Rolle in vielen biochemischen Kreisläufen ein. Es entsteht bei der Verbrennung (Oxidation) von Kohlenstoff, wie er in allen organischen Materialien (fossile Brennstoffe, wie Kohle, Erdöl, Erdgas, oder Holz etc.) vorhanden ist. CO_2 ist aber auch eines der klimabeeinflussenden Gase, die die Temperatur der unteren Erdatmosphäre einerseits notwendigerweise erhöhen, um verträgliche Lebensbedingungen zu ermöglichen. Andererseits erhöhen sich mit einer verstärkten Nutzung der fossilen Energieträger die CO_2 -Emissionen und damit auch die CO_2 -Konzentrationen in der Atmosphäre weiter. Deswegen ist nicht auszuschließen, dass sich auch der natürliche Klimaeffekt verstärkt und eine Erwärmung der unteren Atmosphäre nicht ausgeschlossen ist. Zwar sprechen Beobachtungsdaten dafür, dass die globale Erwärmung deutlich moderater abläuft als theoretisch vermutet, dennoch werden aus Vorsorge die Kraftwerkskonzepte auf eine geringere CO_2 -Emission hin ausgerichtet - bis hin zum CO_2 -freien Kraftwerk. Um die CO_2 -Emission nachhaltig zu senken, muss also entweder die Effizienz der Energieumwandlungsanlagen erhöht und/oder ein wirtschaftliches Konzept zur CO_2 -Abscheidung gefunden werden.

Wirkungsgrade von Steinkohlenkraftwerken
Eine Tonne Steinkohleneinheiten (1 t SKE) entspricht der Energiemenge von 8,14 MWh Strom. Allerdings kann bei der Umwandlung der Energie aus physikalischen Gründen nur ein Teil der eingesetzten Energie genutzt werden. Dieses Verhältnis wird Wirkungsgrad

genannt. In Dampfkraftwerken wird der Dampf im sog. Carnotprozess geführt. Die Höhe des Wirkungsgrades ist entscheidend von Temperatur und Druck abhängig, kann aber aus thermodynamischen Gründen nie 100% betragen: Bei einer Prozesstemperatur von 500°C könnten theoretisch höchstens 60% und bei 1200°C nur maximal 80% erreicht werden. Die technisch tatsächlich erreichbaren Werte liegen noch deutlich darunter.

Durch verbesserte Techniken, optimierte und neue Werkstoffe lassen sich höhere Temperaturen und Drücke erzielen und damit die technischen Wirkungsgrade verbessern; ebenso durch die Kombination von verschiedenen Techniken (z.B. GuD-Technik). Die Verbesserung der Wirkungsgrade hat direkten Einfluss auf die CO_2 -Emissionen: Kann der Wirkungsgrad von 42 auf 46% erhöht werden, sinken die spezifischen CO_2 -Emissionen um über 10%.

Tafel: Wirkungsgrade in Steinkohlenkraftwerken

Durchschnitt in China / Russland	ca. 23 %
Durchschnitt weltweit	ca. 32 %
Durchschnitt in Deutschland	ca. 40 %
Heute vorhandene Spitzentechnologie	ca. 42 %
Bei heutigem Baubeginn erreichbar	45-47 %
Planungen künftiger Techniken	über 50 %

Weitere Kraftwerkstechniken

Wirbelschichttechnik

Über einen Düsenboden wird die Verbrennungsluft in eine Schüttung aus Kohle, Asche und Kalk geblasen. Dabei verwirbelt das Gemisch. Die Kohle verbrennt. Der darin enthaltene Schwefel reagiert mit dem Kalk zu Gips. Die Asche, vermischt mit dem Gips, wird im Kreislauf gefahren und sukzessive abgezogen. Die freiwerdende Wärme wird auf Rohrschlangen übertragen, die in die

Wirbelbettschicht eintauchen; das darin zirkulierende Wasser verdampft und kann dann wie im konventionellen Dampfkraftwerk genutzt werden.

GuD-Technik

Bei der **Gas- und Dampf-Turbinen-Technik** wird nicht nur der erzeugte Wasserdampf in eine Turbine geleitet, zusätzlich werden die heißen Verbrennungsgase durch eine Gasturbine geleitet. Dadurch kann ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden. Die bei der Verbrennung von Kohle anfallenden heißen Rauchgase müssen jedoch vor der Einleitung in die Turbine gereinigt werden (ohne groß abzukühlen), da sonst die Ascheteilchen oder chemische Bestandteile die Turbinenschaufeln korrodieren würden.

ZECA-Projekt

Das ZECA-Projekt (Zero Emission Coal Alliance) wird von einer Reihe internationaler Konzerne unter Mitwirkung der RAG betrieben, um ein Kraftwerk zu entwickeln, das ohne CO₂-Emissionen aus Kohle Strom produziert. Das Verfahren verbindet mehrere Verfahrensschritte, die in den nächsten Jahren erprobt, optimiert und zu einer Versuchsanlage zusammengeführt werden sollen. Der vereinfachte Ablauf ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Kraft-Wärme-Kopplung

Beim herkömmlichen Kraftwerksprozess wird ein großer Teil der gewonnenen Energie über den Kühlurm ohne Nutzen abgeleitet. Ein Teil dieser Energie kann genutzt werden, wenn sie vorher, d.h. bei ca. 100°C, ausgekoppelt und direkt als Wärme oder Prozessdampf genutzt wird. Da im herkömmlichen Kraftwerk der Druck am Ende der Turbinen aber auf unter 1 bar absinkt, ist es erforderlich, die Turbine als Gegendruckturbine auszulegen, wenn Prozessdampf ausgekoppelt werden soll.

Zwar wird bei der KWK weniger Strom erzeugt, durch die zusätzliche gekoppelte Wärmegewinnung liegt der gesamte Wirkungsgrad jedoch deutlich höher. Er kann unter günstigen Umständen bis zu 80% betragen. Die Technik bietet sich in erster Linie für Ballungsräume an, wo ein gleichzeitiger Strom- und Wärmebedarf über das ganze Jahr vorhanden ist.

Nachhaltigkeit

1987 wurde von den Vereinten Nationen definiert: Nachhaltigkeit heißt, „Entwicklungen so zu gestalten, dass heutige Generationen ihre Bedürfnisse befriedigen können, ohne dabei die Möglichkeiten kommender Generationen zu beschneiden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“. Heute besteht Einvernehmen darüber, dass Nachhaltigkeit außer der Ökologie in gleicher Wichtigkeit ökonomische und soziale Aspekte betrifft. Die Entwicklung, der Vertrieb und Bau von neuen, umweltfreundlichen, hocheffizienten Kohlekraftwerken dient gleichermaßen dem wirtschaftlichen Umfeld, der sozialen Entwicklung einer Region und der Umwelt und ist damit ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Energieversorgung.

Zur Verwendung

Der Film eignet sich für den Einsatz im **Erdkunde-Unterricht** der Sekundarstufe I. In Ergänzung der FWU-Filme „Steinkohle - Entstehung und Gewinnung“ (32/42 10362 / 46 01060) sowie „Steinkohlenbergwerk - Technik unter und über Tage“ (42 02478) geht „Strom und Wärme aus Steinkohle“ auf den Haupteinsatzbereich der Steinkohle ein. Die heutigen und künftigen Techniken bei der Strom- und Wärmegewinnung aus Steinkohle werden erläutert.

Außerdem bieten sich Einsatzmöglichkeiten im **Physik- und Technik-Unterricht** (Energieumwandlung, Wirkungsgrad) sowie im **Chemie-Unterricht** (Verbrennung = Oxidation, Rauchgasreinigung, CO₂-freies Kraftwerk).

Der Film ist klar strukturiert und kann - je nach Jahrgangsstufe - auch in Teilen und abschnittsweise vorgeführt und erarbeitet werden.

Mehr Informationen im Internet

www.gvst.de Homepage des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus (GVSt); u.a. aktuelle Daten zum Thema Steinkohle und Energie

www.steag.de Homepage des Steinkohlenstromerzeugers STEAG AG mit „virtuellem Kraftwerk“

www.deutsche-Steinkohle.de Homepage der Deutschen Steinkohlen AG (DSK), Betreiber der deutschen Steinkohlenbergwerke; mit „virtuellem Bergwerk“

www.rag.de Homepage der RAG-Aktiengesellschaft

www.hea.de Fachverband für Energie-Marketing und -Anwendung (HEA)

www.strom.de Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW)

www.agfw.de Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (AGFW)

Produktion

Image-TV, Düsseldorf, Dieter Vennemann im Auftrag des Gesamtverbandes des deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen und des FWU Institut für Film und Bild, 2002

Buch

Carlwerner Meinen

Kamera

Wolfgang Schäfers

Schnitt

Gerrit Nowatzki

Animation

Dave Baker

Wir danken für die Unterstützung durch STEAG AG, Essen

Begleitkarte und Fachberatung

Dr. Detlef Riedel

Bildnachweis

STEAG

Pädagogische Referentin im FWU

Dr. Gabriele Thielmann

Verleih durch Bildstellen, Medienzentren und konfessionelle Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild, Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren: öV zulässig

© 2002

FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiselgasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-240
E-Mail info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>



FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH
Geiselgasteig
Bavariafilmplatz 3
D-82031 Grünwald
Telefon (0 89) 64 97-1
Telefax (0 89) 64 97-240
E-Mail info@fwu.de
Internet <http://www.fwu.de>

**zentrale Sammelnummern für
unseren Vertrieb:**

Telefon (0 89) 64 97-4 44
Telefax (0 89) 64 97-2 40
E-Mail vertrieb@fwu.de

FWU – Schule und Unterricht

VHS 42 02775

16 min, Farbe

Strom und Wärme aus Steinkohle

Jeder Haushalt in Deutschland wird mit elektrischem Strom versorgt. Unter den fossilen Brennstoffen hat die Kohle weltweit derzeit mit 38% den größten Anteil an der Stromerzeugung. Der Film erklärt, wie in Steinkohlekraftwerken durch die Verbrennung von Kohle Energie und Wärme gewonnen werden und zeigt dabei auch neue Technologien, mit denen die Energieausbeute noch gesteigert werden kann. Darüber hinaus werden die Maßnahmen zur Rauchgasreinigung und auch die Forschungen und Entwicklungen für das CO₂-freie Kohlekraftwerk der Zukunft dargestellt.

Schlagwörter

Steinkohle, Kraftwerk, Steinkohlekraftwerk, Kohlekraftwerk, Strom, Stromerzeugung, Energie, Energieträger, Energiegewinnung, Rauchgasreinigung, Wirkungsgrad, Fernwärme

Geographie

Geologie • Erdgeschichte
Industriegeographie • Rohstoffe und Verarbeitung,
Energiewirtschaft
Bundesrepublik Deutschland • Mittelgebirgsschwelle

Chemie

Chemie in Alltag und Umwelt

Allgemeinbildende Schule (6-13)

Berufsbildende Schule

Erwachsenenbildung

Weitere Medien

32/42 10362 / 46 01060 Steinkohle - Entstehung und Gewinnung.

16mm-Film/VHS/DVD-Video 15 min, f

42 02478 Steinkohlenbergwerk - Technik unter und über Tage.

VHS 12 min, f

10 03253 Steinkohlenbergbau im Ruhrgebiet. 12 Dias, f

66 00140 Erlebnis Erde: Erdgeschichte. CD-ROM

32/42 10361 / 46 01059 Braunkohle - ein heimischer Energieträger. 16-mm-Film/VHS/DVD-Video 15 min, f

Alle Urheber- und
Leistungsschutzrechte vor-
behalten.
Keine unerlaubte Verviel-
fältigung, Vermietung, Auf-
führung, Sendung!

**Freigegeben
o. A. gemäß
§ 7 JÖSchG FSK**