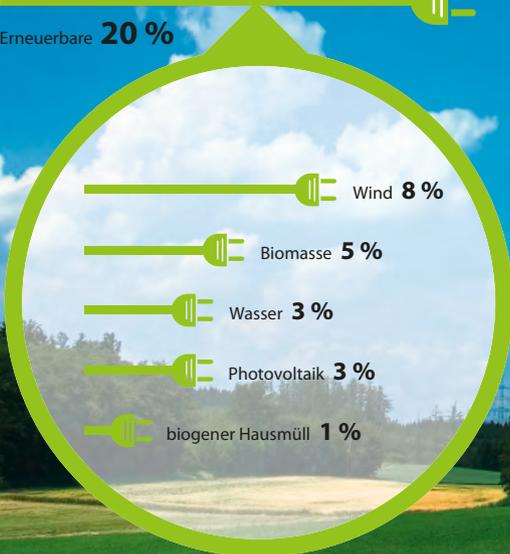
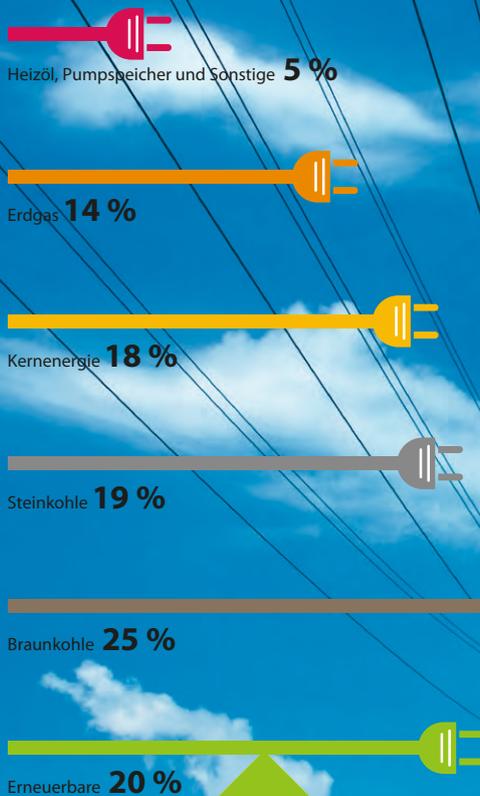


NATURWISSENSCHAFT UND TECHNIK IM UNTERRICHT

# BRAUNKOHLE IM ENERGIEMIX



## Inhalt

3	Vorwort
4	Energiereserven der Welt
6	Global: Der Energiehunger steigt
7	Deutschland: Die Entwicklung ist uneinheitlich
8	Energie- und Strombedarf in Deutschland
10	Stromerzeugung in Deutschland
12	Das Energiekonzept der Bundesregierung
13	Zukünftige Aufgaben bei der Stromversorgung
14	Prognosen und Szenarien
16	Entstehung von Braunkohle
18	Abbau von Braunkohle
20	Vorteile & Nachteile der Braunkohlennutzung
23	BoA 2&3 – Das modernste Braunkohlenkraftwerk der Welt
24	Braunkohle & Klimaschutz
26	Rekultivierung
28	Wirtschaftsfaktor Braunkohle
30-34	Arbeitsblätter für den Unterricht

Die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (AGEB) stellt ein Programm zum Umrechnen von Energieeinheiten zur Verfügung. Der kostenlose Energieeinheiten-Umrechner unterscheidet sich von vielen Umrechnungs-Programmen, die im Internet angeboten werden, durch sein besonderes Leistungsspektrum. Hinzu kommt, dass dieser Energieeinheiten-Umrechner nicht (nur) online bereitgestellt wird; vielmehr kann das Programm vollständig heruntergeladen und auf der Festplatte installiert werden. Die AGEB stellt ihren Energieeinheiten-Umrechner jetzt auch als App für das iPhone und das Android Betriebssystem zur Verfügung.

[www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=67](http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=67)



iOs-App



Android-App

## **Liebe Lehrerinnen und Lehrer,**

die Energiewende – der Umbau der deutschen Energieversorgung hin zu mehr Effizienz, Klimaschutz und Erneuerbaren Energien, verbunden mit dem Ausstieg aus der Kernkraft – ist heute eines der bestimmenden gesellschaftspolitischen Themen. In Deutschland werden dabei vor allem die Kosten, die Versorgungssicherheit, die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen und die Frage der Akzeptanz der Energieinfrastruktur diskutiert.

Die Beschäftigung mit der Energiefrage in Deutschland darf die globale Dimension des Energieproblems nicht verdecken: 1,6 Milliarden Menschen haben noch keinerlei Zugang zu Elektrizität. UN-Generalsekretär Ban Ki-Moon fordert eine globale Energie-Revolution – eine Revolution, die Energie nachhaltig macht, für alle verfügbar und bezahlbar.

In den nächsten 20 Jahren wird der weltweite Energieverbrauch um über 40 % steigen, und dies vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern. Viele dieser Länder investieren in den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Zu den weltweit am einfachsten und kostengünstigsten verfügbaren Energieträgern zählt jedoch die Kohle. Allein in China geht jede Woche ein Kohlekraftwerk neu ans Netz. Beim globalen Klimaschutz muss es deshalb auch darum gehen, Kohlekraftwerke weltweit sauberer und effizienter zu machen. Die dafür benötigte Technologie ist in Deutschland und in anderen Industrieländern vorhanden.

Die Nutzung der heimischen Braunkohle wird jedoch hierzulande auch kontrovers diskutiert: Wie kann sie mit dem Klimaschutz zusammengehen? Ist die weitere Verstromung der Braunkohle mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien vereinbar? Welche technologischen Optionen bietet die Braunkohle für die nationale und internationale Energiezukunft? Kurz: Welche Rolle kann und soll die Braunkohle künftig im Energiemix spielen?

Das vorliegende Magazin ist Teil der Bildungsreihe des Zeitbild Verlags zu Fragen der künftigen Energieversorgung. Es liefert Ihnen für Ihren Unterricht hochaktuelle Daten und Fakten zur Energieversorgung sowie Hintergründe und Meinungen zur Nutzung der Braunkohle. Es soll dazu beitragen, dass sich Ihre Schülerinnen und Schüler sachkundig an der gesellschaftlichen Debatte um unsere Energiezukunft beteiligen können.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei Ihrer Unterrichtsarbeit,  
Ihr Zeitbild-Team

# Energiereserven der Welt

Nordamerika  
213,9

Kanada  
1,0 2,1

USA  
5,7 7,8

Mexiko  
2,4 0,5

Großbritannien  
1,0 0,8

Algerien  
2,4 5,9

Venezuela  
8,0 6,6

Nigeria  
7,0 6,9

Brasilien  
2,4 0,5

Lateinamerika  
10,4

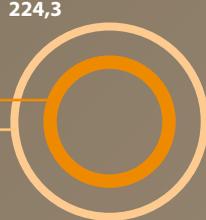
Weltweite Kohlevorkommen\*  
(Weichbraun- und Hartkohle)

722,4



Weltweite Ölvorkommen\*  
(konventionelles Erdöl)

224,3



237,0

Weltweite Gasvorkommen\*  
(konventionelles Erdgas)

\* Reserven in Milliarden Tonnen SKE (Steinkohleeinheit)

Der weltweite Energiebedarf steigt in den nächsten Jahren deutlich an. Berechnungen der Internationalen Energieagentur IEA gehen von einer Zunahme um 45 % bis 2030 aus, immerhin 1,6 % pro Jahr. Allerdings verschiebt sich die Energienachfrage regional stark: Indiens und Chinas Primärenergiebedarf wird stark zunehmen, während der Energieverbrauch in Deutschland in den nächsten 20 Jahren deutlich abnehmen und der Strombedarf annähernd auf einem gleich hohen Niveau verbleiben wird wie heute.

Quelle: EWI/Prognos-Studie „Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030“, Mai 2005

So lange reichen die Vorräte (weltweite Reserven bei statischer Betrachtung):

**Braunkohle** ca. 230 Jahre



**Steinkohle** ca. 170 Jahre



**Erdöl** ca. 40 Jahre



**Erdgas** ca. 65 Jahre

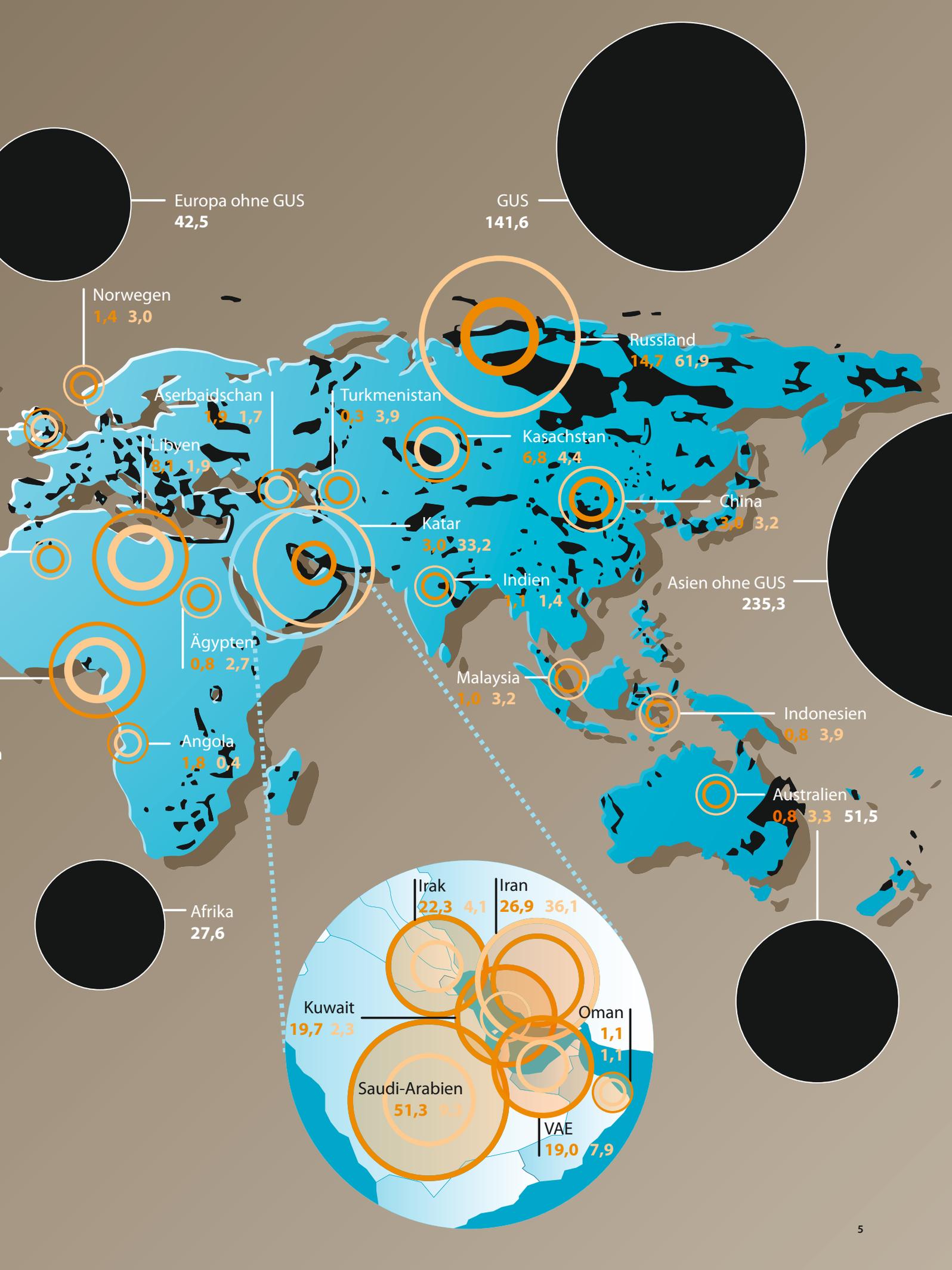


**Uran** 70 bis 140 Jahre



Quelle: Bundeswirtschaftsministerium (Kurzbericht: Verfügbarkeit und Versorgung mit Energierohstoffen, 2006)

Verfügbarkeit einzelner Energieträger



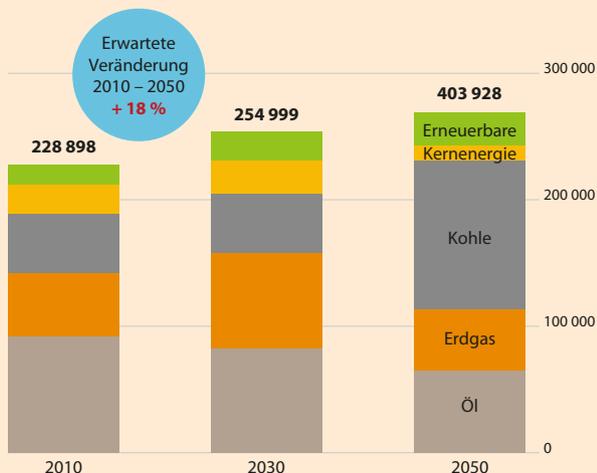
# Global: Der Energiehunger steigt

Der globale Bedarf an Primärenergie und Strom ist in den letzten 20 Jahren rasant angestiegen und wird nach Auffassung von Energieexperten auch in der Zukunft voraussichtlich weiter zunehmen. Die Gründe hierfür liegen vor allem im Wirtschaftswachstum einiger bevölkerungsreicher Schwellenländer wie China, Indien und Brasilien. Auch die Forderung des UN-Generalsekretär Ban Ki-Moon, dass die Ärmsten der Welt in naher Zukunft Zugang zu Elektrizität bekommen sollten, lässt Anstrengungen erwarten, die einen rasanten Anstieg des Energie- und speziell des Stromverbrauchs nach sich ziehen werden. In der Folge werden die Preise – insbesondere für die fossilen Energieträger – weltweit deutlich steigen. Unter Umständen könnte es auch zu Engpässen bei der Versorgung mit Erdöl, Erdgas und Steinkohle kommen.

Die Region Asien-Pazifik dominiert im Jahr 2012 den weltweiten Energieverbrauch: 38,1 % der weltweiten Energie werden hier verbraucht; ihr Anteil am weltweiten Kohleverbrauch liegt bei 67,1 %. Kohle ist dort der dominierende Energieträger. In Nord-, Mittel- und Südamerika sowie in Afrika ist Erdöl Energieträger Nummer Eins. Europa und Eurasien sind die größten Verbraucher von Erdgas, Nuklearenergie und Strom aus Erneuerbaren Energien.

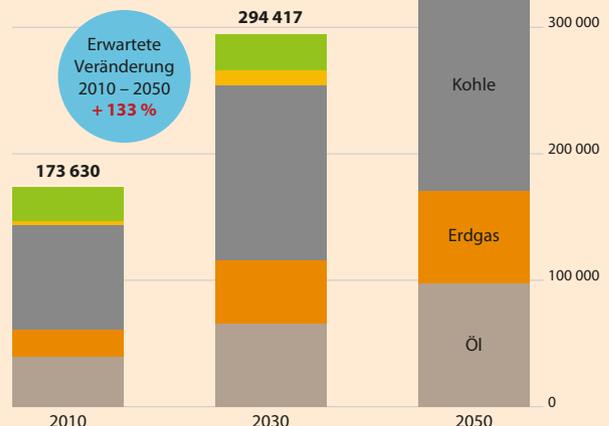
## Energiebedarf für die Zukunft (in Exajoule)

### OECD-Staaten



### BRIICS-Staaten\*

\*Brasilien, Russland, Indien, Indonesien, China, Südafrika



Quelle: Prognose der OECD, 2011

# Deutschland: Die Entwicklung ist uneinheitlich

Studien zur weiteren Entwicklung des Energieverbrauchs bzw. der Stromerzeugung in den nächsten 20 Jahren zeigen eine uneinheitliche Entwicklung. Fachleute rechnen damit, dass sich der Primärenergiebedarf in Deutschland bis 2030 um nahezu 25 Prozent gegenüber dem Referenzjahr 2000 verringern wird. Wesentliche Gründe hierfür sind die rückläufige Nachfrage nach Wärmeenergie, begründet durch eine verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden, eine verbesserte Energieeffizienz und die jährliche Steigerung der Energieproduktivität. Den Strombedarf in Deutschland sehen Energieexperten dagegen für die nächsten 20 Jahre auf einem annähernd gleich bleibenden Niveau.

## Der Strommix ändert sich

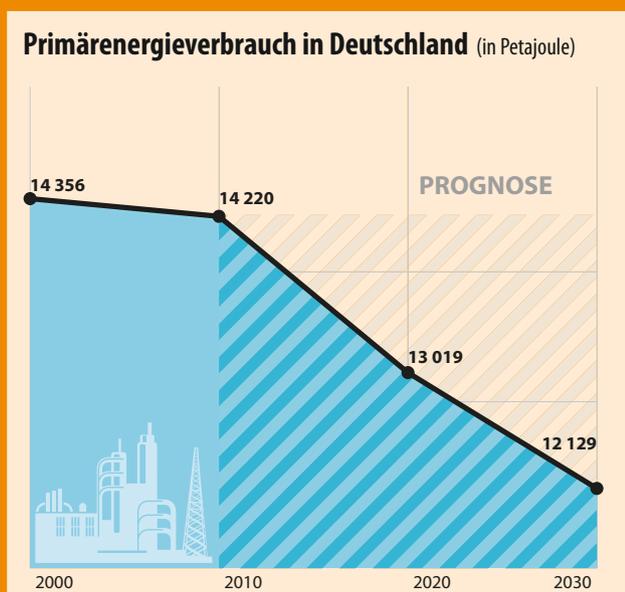
Auch wenn der Strombedarf in der Zukunft annähernd auf einem gleichen Niveau verbleibt wie heute, wird sich aber die Struktur des Strommixes ändern. Die Kernenergie verschwindet nach 2022, der Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung wird im Jahr 2030 voraussichtlich mehr als 36 Prozent betragen (2011=19,9 %). Dies setzt allerdings die Errichtung großer Offshore-Windparks in Nord- und Ostsee voraus. Die fossilen Energieträger Braunkohle und Steinkohle werden weiterhin eine sehr wichtige Rolle bei der Stromerzeugung einnehmen, der Anteil von Erdgas aufgrund des geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoßes sogar noch zunehmen.

## Wie geht es bis 2050 weiter?

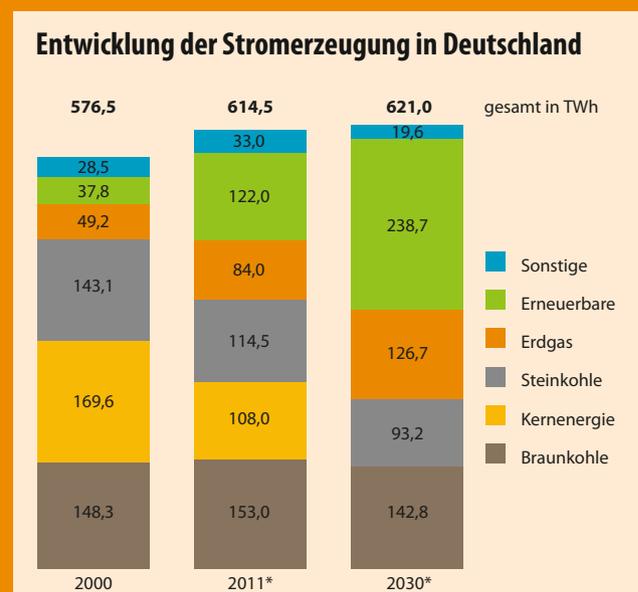
Wissenschaftler prognostizieren auch nach 2030 eine Fortsetzung der oben erwähnten Entwicklungstrends bei der Energie- bzw. Stromversorgung. So soll es zu einer weiteren deutlichen Steigerung der Energieproduktivität kommen und bis 2050 der Primärenergieverbrauch und dann auch der Stromverbrauch in Deutschland etwas absinken – bei gleichzeitiger Steigerung der wirtschaftlichen Leistung. Auch die Verschiebung in der Struktur der Stromerzeugung hin zu Erneuerbaren Energien zulasten der fossilen Energieträger könnte nach 2030 weiter anhalten. Nach Vorgaben des Energiekonzepts sollen 2050 die Erneuerbaren möglichst 80 Prozent der Stromerzeugung übernehmen, wobei aber insbesondere die Braunkohle noch einige Zeit als heimischer Energieträger für die Stromerzeugung von Bedeutung bleibt.

## Die Klimaziele sind erreichbar

Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Deutschland soll sich bis zum Jahr 2050 um 80 Prozent (gegenüber 1990) verringern. Dabei spielen neben dem Energiesparen, der Steigerung der Energieeffizienz und dem Einsatz der Erneuerbaren Energien auch die Anwendung von Technologien zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung im Kraftwerkspark sowie in der Industrie eine wichtige Rolle.



Quelle: BMU, BMWi, 2010



\* vorläufig/Prognose. Stand: 10/2011

Quelle: BMWi/AGEB, Energieprognose 2009, aktualisiert

# Energie- und Strombedarf in Deutschland

## Energie ist eine der Grundlagen unseres Wohlstands

Deutschland ist ein hoch entwickeltes Industrieland. Grundlage für den Wohlstand und für unseren hohen Lebensstandard ist unter anderem Energie – Energie, die rund um die Uhr alles am Laufen hält: in den Fabriken, den Geschäften, zu Hause und unterwegs. Die Energieversorgung in Deutschland muss daher sicher, bezahlbar und ständig verfügbar sein. Der Energiemix Deutschlands ist vielfältig, er umfasst die fossilen Energieträger Kohle, Erdöl und Erdgas sowie Uran und seit einigen Jahren zunehmend auch die Erneuerbaren Energien. Je vielfältiger der Energiemix ausgelegt ist, desto stabiler und sicherer ist die Energieversorgung. Sonne, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie zählen zu den heimischen Energieressourcen, genau wie die Braunkohle, während die fossilen Energieträger Öl, Gas und Steinkohle sowie Uran für die Kernkraftwerke weitgehend importiert werden müssen. In den letzten zehn Jahren wächst die internationale Konkurrenz um diese fossilen

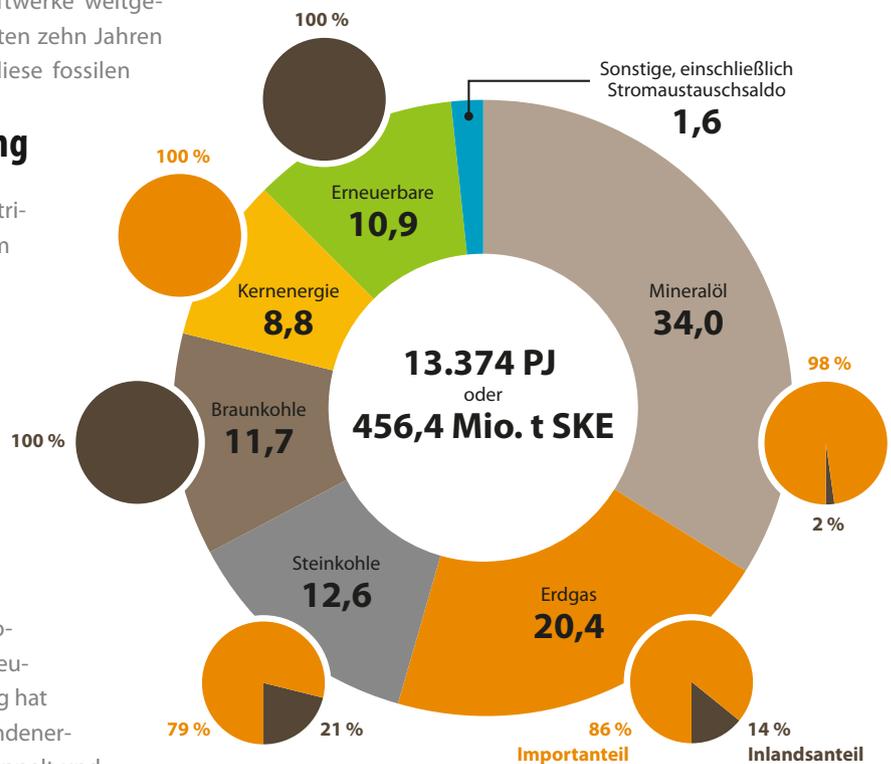
Energierohstoffe. Schwellenländer wie Brasilien, China und Indien haben ein hohes Bevölkerungswachstum und erarbeiten sich mehr Wohlstand – die Nachfrage nach Energie steigt demzufolge rasant. Das schlägt sich in höheren Energiekosten nieder, dazu kommt die Sorge vor einer politischen Erpressbarkeit durch Lieferländer für Erdöl und Erdgas. Auch der Umweltschutz und der Kampf gegen die Folgen des Klimawandels spielen eine immer wichtiger werdende Rolle für die künftige Energieversorgung.

## Vielfalt bei der Stromerzeugung

Eine der wichtigsten Energieformen ist elektrische Energie, umgangssprachlich auch als Strom bezeichnet. Die Stromerzeugung in Deutschland basiert auf einem breiten Mix unterschiedlicher Energieträger. Im Jahr 2011 stammen fast 80 Prozent des in Deutschland erzeugten Stroms aus fossilen und nuklearen Energiequellen: Braunkohle, Steinkohle und Kernenergie. Erneuerbare Energieträger tragen insgesamt mit knapp 20 Prozent zur Stromerzeugung bei. Darunter hat Windenergie einen Anteil von 8 Prozent, rund 3 Prozent des Stroms werden aus Wasserkraft, rund 5 Prozent aus Biomasse gewonnen. Der Anteil Erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung hat sich insbesondere durch den Ausbau der Windenergie in den letzten zehn Jahren mehr als verdoppelt und wird durch den Bau von Offshore-Windparks weiter steigen.

## Primärenergieverbrauch\* in Deutschland 2011

Kleine Kreise: Importe bzw. Inlandsanteil der Energieträger



Quelle: AG Energiebilanzen e.V., 03/2012

\* Der Primärenergieverbrauch umfasst den Energieverbrauch einschließlich der Verluste, die bei der Erzeugung und Umwandlung von Energie auftreten.

## Stromverbrauch im Haushalt (Angaben in Prozent) Quelle: EA NRW, 2009



5,4



10,1



5,4



8,4



15,8

## Bruttostromerzeugung in Deutschland 2011

(612,1 Mrd. kWh)



Heizöl, Pumpspeicher und Sonstige **5 %**



Erdgas **14 %**



Kernenergie **18 %**



Steinkohle **19 %**



Braunkohle **25 %**



Erneuerbare **20 %**

Wind **8 %**

Biomasse **5 %**

Wasser **3 %**

Photovoltaik **3 %**

biogener Hausmüll **1 %**

Quelle: AG Energiebilanzen e.V., BDEW

## Anteil des Stromverbrauchs einzelner Sektoren in Deutschland 2011

Verkehr <b>3 %</b>	Haushalte <b>28 %</b>	Gewerbe, Handel, Dienstleistung <b>28 %</b>	Industrie <b>41 %</b>

Quelle: AG Energiebilanzen e.V.



# Stromerzeugung in Deutschland

Elektrische Energie ist der am vielseitigsten verwendbare Energieträger, sie lässt sich mit geringen Verlusten in andere Energieformen umwandeln. Strom ist Voraussetzung für die Grundbedürfnisse menschlicher Zivilisation und für jede moderne Industrie. Ein Stromausfall bringt erfahrungsgemäß jede Volkswirtschaft zum Erliegen und muss deshalb möglichst vermieden werden.

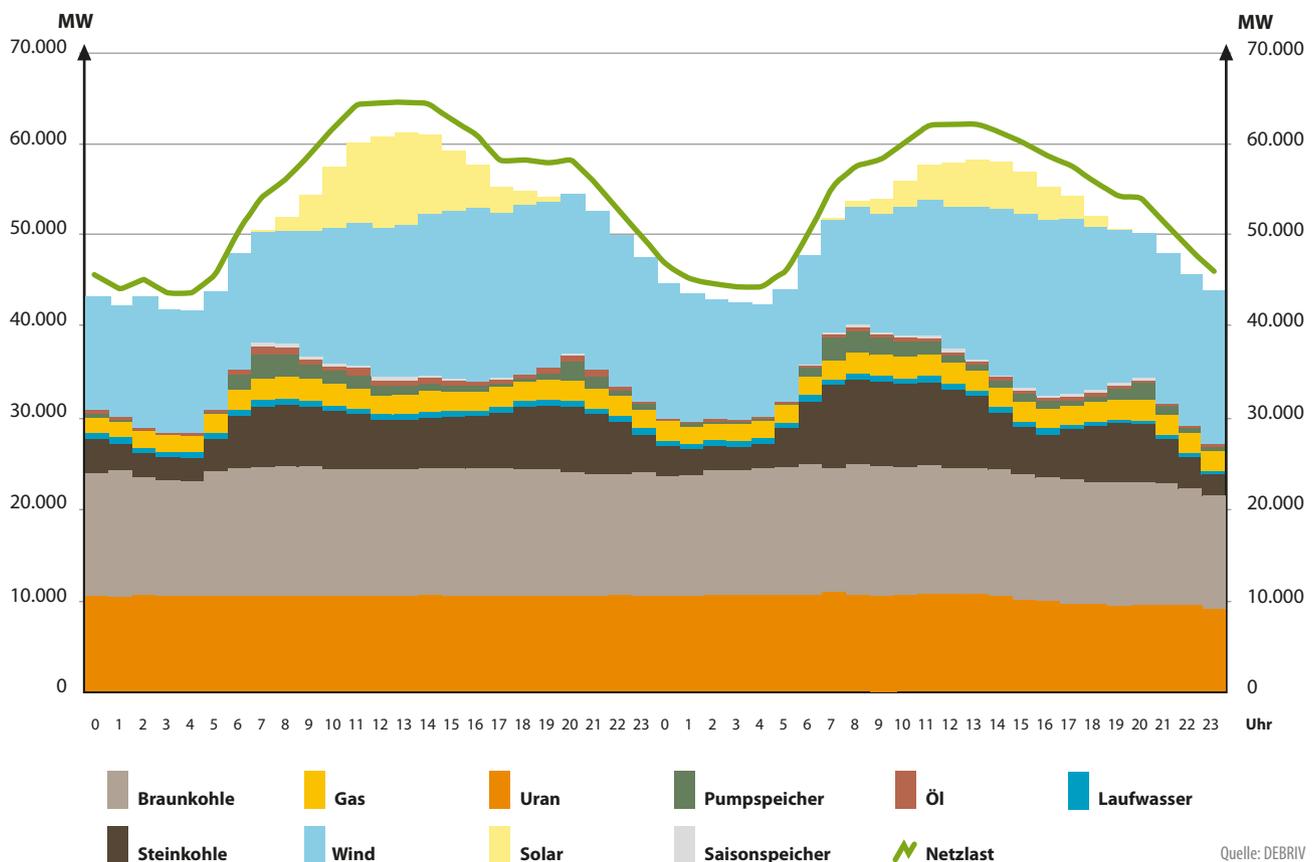
## Stromerzeugung im Wandel

Grundlast, Mittellast, Spitzenlast – drei Begriffe, unter denen die Stromerzeuger ihre Kraftwerke in der Vergangenheit einordneten und je nach Bedarf zur Stromerzeugung einsetzten. Mit wachsendem Anteil von Strom aus erneuerbaren Energieträgern, der bevorzugt ins Netz geht, hat sich diese Unterteilung (die man so auch heute noch in den meisten Lehrbüchern findet) deutlich geändert und wird sich weiter ändern.

Beispielhaft zeigt die unten stehende Grafik\*, welche Anforderung schon heute und in Zukunft von immer mehr konventionellen Kraftwerken erfüllt werden muss: Flexibilität. Der Einspeisevorrang für Strom aus Erneuerbaren Energien und die stark schwankende Erzeugung haben Auswirkungen auf die bestehenden Kraftwerke. Steinkohle und Gas und vermehrt auch die Braunkohle tragen dazu bei, die witterungsabhängigen Schwankungen in der Stromerzeugung der Erneuerbaren auszugleichen. Die Anforderungen an die Flexibilität konventioneller Kraftwerke nehmen parallel zum Ausbau der Erneuerbaren Energien zu. Bisher wurde davon ausgegangen, dass nur Gaskraftwerke in der Lage seien, flexibel einsetzbar zu sein. Moderne Braunkohlenkraftwerke und Gaskraftwerke mit Gas- und Dampfturbinentechnik (GuD-Anlagen) weisen mittlerweile kaum noch Unterschiede auf, was den flexiblen Einsatz bei der Stromerzeugung betrifft.

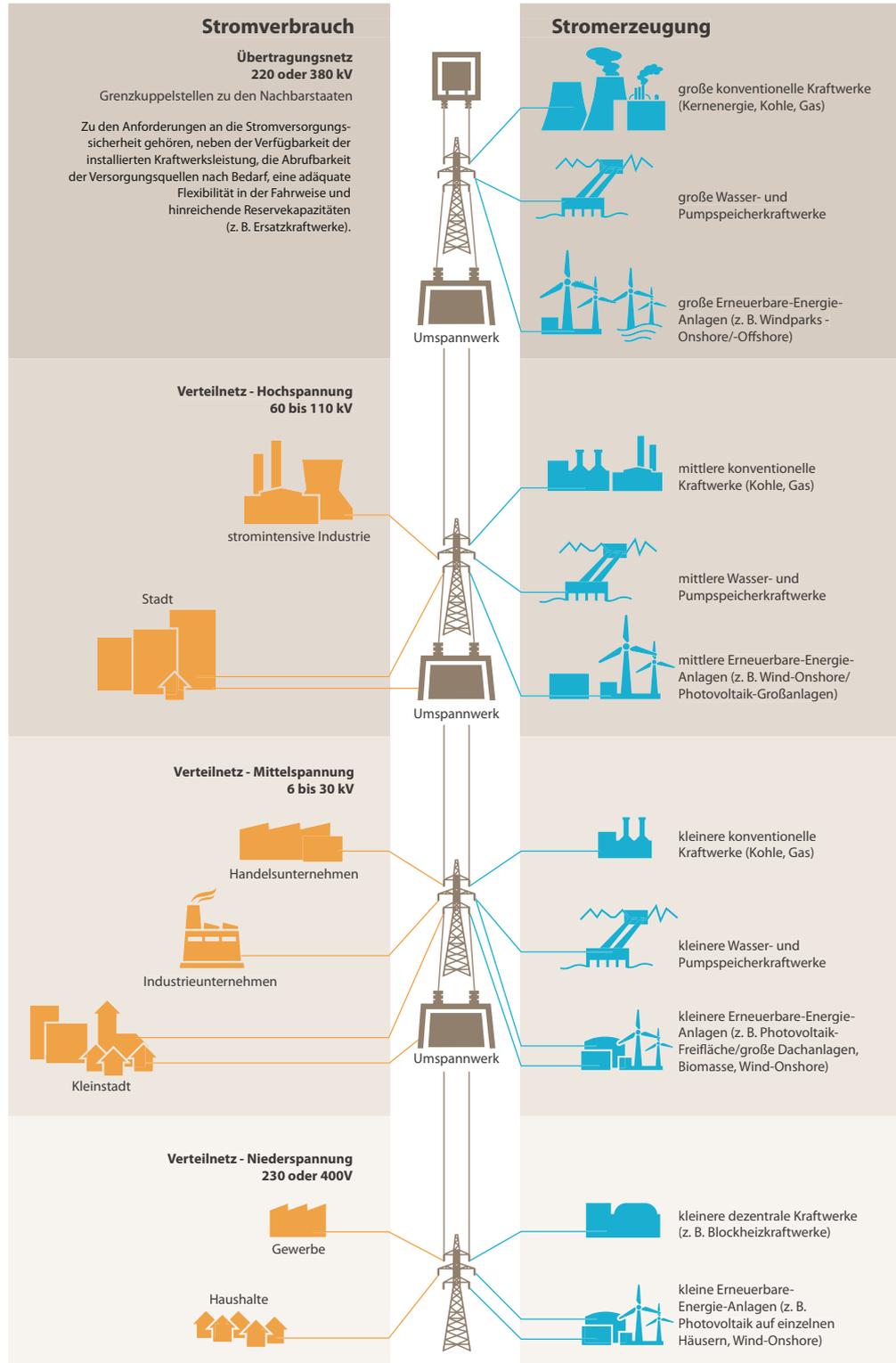
\*Hoher Beitrag von Windstrom und von PV-Strom in der Mittagszeit. Da diese Stromerzeugung bevorzugt ins Netz geht, muss die Differenz – neben dem bisher üblichen Ausgleich durch Pumpspeicheranlagen – durch Steinkohle- und Erdgaskraftwerke, aber auch durch Braunkohlenkraftwerke, abgepuffert werden.

Netto-Stromerzeugung am 29. und 30. März 2012



# Das deutsche Stromnetz

Deutschland ist ein Stromland. Rund 1,7 Millionen Kilometer Leitungen gibt es. Im Stromnetz ist Leitung nicht gleich Leitung. Man kann das Stromnetz mit dem Straßennetz vergleichen: Es gibt Autobahnen, Bundes-, Landes- und Ortsstraßen. Überregional verteilt wird der Strom über Höchstspannungsnetze, regional zunächst über das Hochspannungsnetz und dann über das Mittelspannungsnetz. Die lokale Verteilung hin zu den Haushalten übernimmt das Niederspannungsnetz. Wenn im Zusammenhang mit der Energiewende vom nötigen Netzausbau gesprochen wird, geht es meist um Höchstspannungsleitungen – also um Energieautobahnen von Nord nach Süd. Die Deutsche Energieagentur dena hat vorgerechnet, dass bis zum Jahr 2020 rund 3.600 Kilometer 380-Kilovolt-Freileitungen gebaut werden müssten, mit Kosten von ca. 10 Mrd. Euro. Würden die Kabel in der Erde verlegt, kämen laut dena zwar nur 3.400 Kilometer zusammen, dafür aber Kosten von bis zu 29 Mrd. Euro. Andere Experten halten die Schätzung für übertrieben und gehen davon aus, dass ein Neubau von rund 1.000 Kilometern ausreichend wäre. Die unterschiedlichen Ergebnisse hängen vom Ausgangspunkt der Berechnungen ab. Wird ein Großteil des Stroms in riesigen Windparks auf hoher See erzeugt und über Höchstspannungsleitungen nach Süden transportiert oder sollen übers Land verteilte kleine Kraftwerke eine wichtigere Rolle spielen? Letzteres würde den Bedarf an Verteilernetzen reduzieren – könnte aber andererseits zu Protesten vor Ort gegen Kraftwerke, große Windräder oder Biogasanlagen führen.



Quelle: BMWI

# Das Energiekonzept der Bundesregierung

Im Herbst 2010 beschloss die Bundesregierung ein „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“. Die Kernenergie sollte ursprünglich die Funktion einer „Brückentechnologie“ übernehmen – auf dem Weg vom fossilen Energiezeitalter in die regenerative Energiezukunft. Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima im März 2011 hat der Deutsche Bundestag beschlossen, zügig aus der Nutzung der Kernenergie auszusteigen. Spätestens Ende 2022 soll das letzte deutsche Kernkraftwerk vom Netz gehen.

## Auswirkungen auf die Stromversorgung

Mittelfristig geht es vor allem darum, eine sichere Stromversorgung zu gewährleisten, um mögliche Stromausfälle zu vermeiden. Hierzu muss – parallel zum Ausbau der Erneuerbaren Energien – das vorhandene Stromnetz so erweitert und modernisiert werden, dass es künftigen Anforderungen gerecht wird.

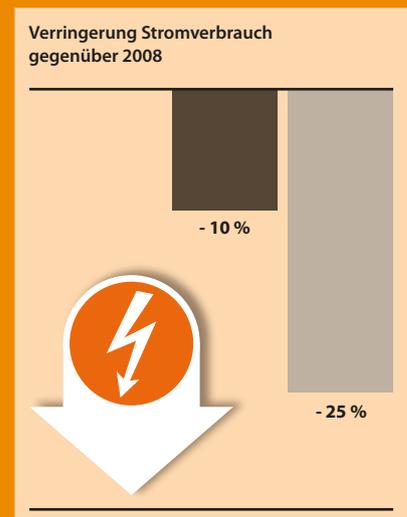
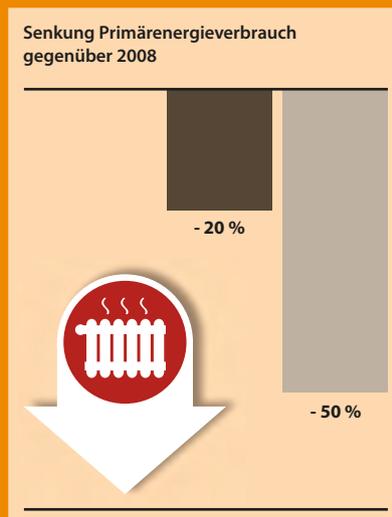
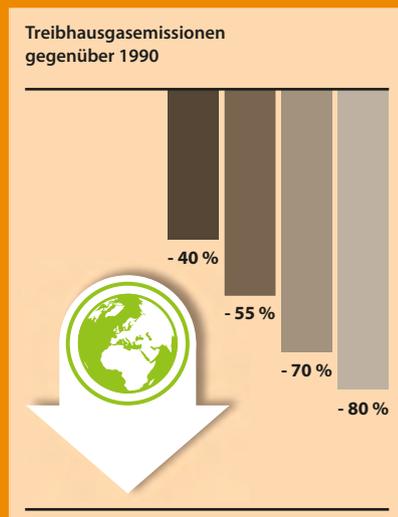
Auch die Frage der Speicherung von Strom aus Erneuerbaren Energien stellt sich für die Zukunft. Diese Speicher gleichen die Unterschiede zwischen Stromnachfrage und schwankendem Stromangebot von Windkraft- und Photovoltaikanlagen aus.

Zurzeit dienen in Deutschland einzig Pumpspeicherkraftwerke diesem Zweck, die wenigen bestehenden Anlagen sind schon heute nicht in der Lage, alle Stromproduktionsspitzen durch die Erneuerbaren Energien aufzunehmen. Dazu muss der vorhandene fossile Kraftwerkspark so ertüchtigt bzw. modernisiert werden, dass er die Leistungsschwankungen der Erneuerbaren rasch und flexibel ausgleichen kann.

Zusätzlich können CO<sub>2</sub>-Speicher erforderlich werden, wenn mit CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechniken (CCS – Carbon Capture and Storage) ausgerüstete Kohlekraftwerke Teil der Stromerzeugung sind. Auch hier sind weitere Investitionen in Forschung und Entwicklung notwendig. Jedoch bestehen seitens der Öffentlichkeit häufig große Vorbehalte gegen diese wichtigen Infrastrukturmaßnahmen, sei es der Ausbau der Stromnetze oder der Bau weiterer Pumpspeicherkraftwerke oder die unterirdische Speicherung von Kohlenstoffdioxid.

Für eine künftige sichere Energieversorgung müssen schon heute die Weichen gestellt werden. Nach Auffassung vieler Fachleute ergeben sich dabei fünf besonders wichtige Aufgaben:

## Das Energiekonzept der Bundesregierung – Ziele und Annahmen



# Zukünftige Aufgaben bei der Stromversorgung

**Anbindung von Offshore-Windanlagen.** Bis 2030 sollen Windparks mit 25 Gigawatt Leistung installiert werden, die bis zu 50 km von der Küste entfernt sind.



**Erweiterung des Höchstspannungsnetzes.** Bis 2015 müssen rund 400 km verstärkt und 850 km neu gebaut werden. Bis 2020 wird sich der Bedarf noch mehr erhöhen.



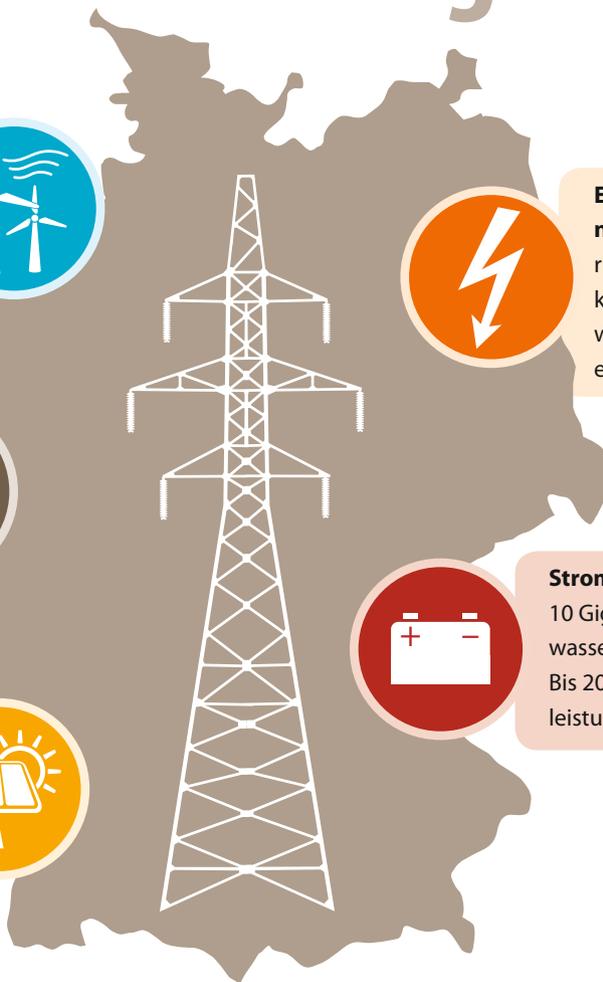
**Alte Kraftwerke modernisieren, neue bauen.** Bis 2022 müssen knapp 17 Gigawatt an Leistung errichtet werden. Das sind ca. 17 große Kraftwerke, die meisten mit Erdgas.



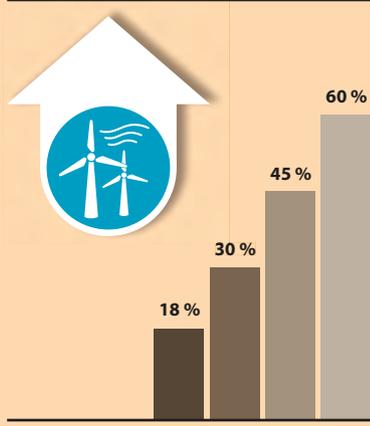
**Stromspeicher.** Heute stehen 10 Gigawatt an Pumpspeicherkraftwerken zur Verfügung. Bis 2020 muss die Speicherleistung auf 13 Gigawatt steigen.



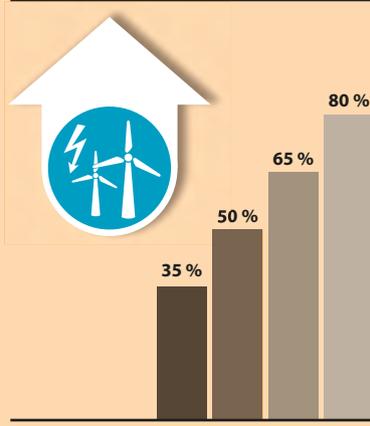
**Die Erneuerbaren Energien** – Photovoltaik, Wind, Biomasse und Wasser produzieren schon heute 20 Prozent unseres Stroms. Bis 2020 soll ihr Ausbau kräftig voranschreiten und rund ein Drittel der Stromproduktion umfassen.



Anteil Erneuerbarer am Bruttoendenergieverbrauch



Anteil Stromerzeugung Erneuerbarer am Bruttostromverbrauch



Legende



Quelle: Bundesregierung

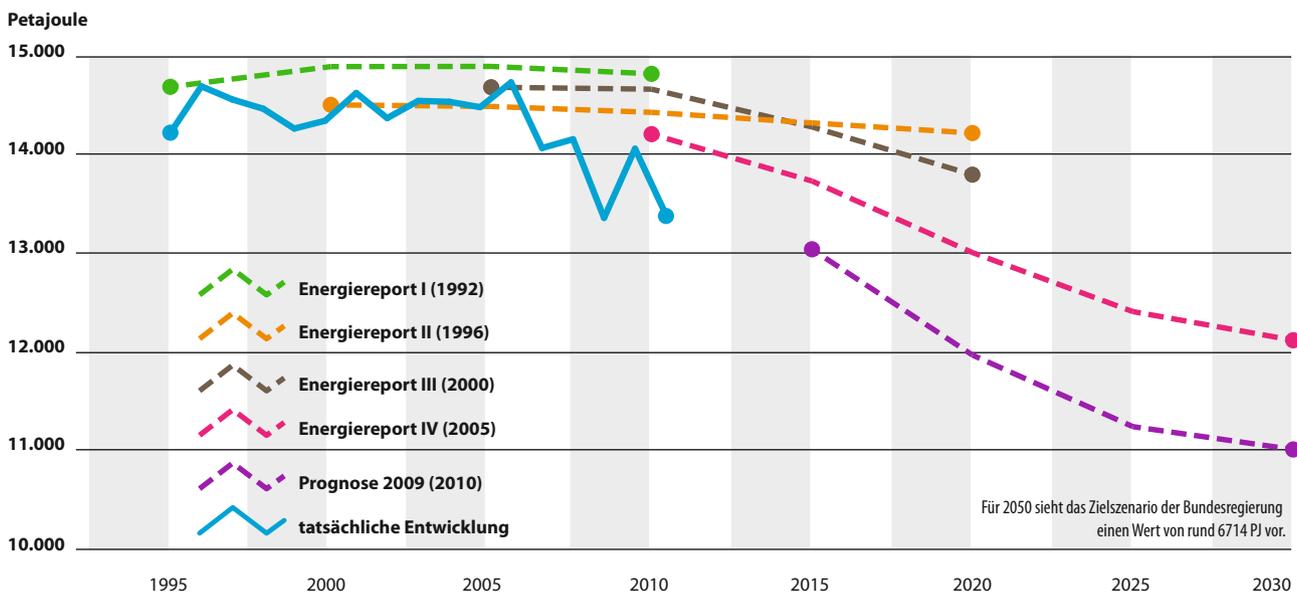
# Prognosen und Szenarien

**Prognosen** sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen – so lautet ein Zitat, das wahlweise Mark Twain, Karl Valentin, Winston Churchill oder Niels Bohr zugeschrieben wird. Jedem sind die täglichen Wetterprognosen vertraut. Prognosen erheben den Anspruch, eine wahrscheinliche Entwicklung aufzuzeigen. Bei einer so bedeutenden Angelegenheit wie der Energieversorgung eines Landes ist es besonders wichtig, langfristig voranzuplanen. Wie viel Energie braucht unser Land in 20, 30 Jahren? Welche Energieträger werden dann zur Verfügung stehen und sind diese sicher verfügbar? Diese und weitere wichtige Fragen müssen schon heute bedacht werden, damit für die Zukunft möglichst die richtigen Weichenstellungen getroffen werden.

Prognosen werden auf der Grundlage von statistischen Daten entwickelt. Auf dieser Grundlage können dann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit Voraussagen gemacht und Entscheidungen getroffen werden. Je besser und verlässlicher die Daten sind, desto eher kann man davon ausgehen, dass die Prognosen einen einigermaßen realistischen Ausblick auf die Zukunft gewähren. Im Fall von Prognosen zur künftigen Energieversorgung sind das z. B. spezielle Daten zum bisherigen Energieverbrauch, zur Verfügbarkeit der Energieträger, zur technischen Entwicklung, aber auch Daten zur Bevölkerungsentwicklung oder zur wirtschaftlichen Entwicklung des Landes. In der Regel sind solche komplexen Prognosen auf einen Zeitraum von bis zu 20 Jahren beschränkt, weil jenseits davon die Annahmen zu unsicher werden.

## Primärenergieverbrauch in Deutschland: Szenarien und tatsächliche Entwicklung

Wie sehr sich manchmal Szenarien und Wirklichkeit unterscheiden können, zeigt nachfolgende Grafik:



Quelle: Was leisten Prognosen und Szenarien? Vortrag von Dr. Rainer Görgen, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin, 6. April 2011.

## Fehlprognosen der Vergangenheit

„Der Fernseher wird sich auf dem Markt nicht durchsetzen. Die Menschen werden sehr bald müde sein, jeden Abend auf eine Sperrholzkiste zu starren.“

Darryl F. Zanuck, Chef der Filmfirma 20th Century-Fox, 1946

„Es gibt keinen Grund, warum jemand einen Computer in seinem Haus wollen würde.“  
Ken Olson, Gründer von Digital Equipment Corp., 1977

„Die weltweite Nachfrage nach Kraftfahrzeugen wird eine Million nicht überschreiten - allein schon aus Mangel an verfügbaren Chauffeuren.“  
Gottlieb Daimler, Automobilkonstrukteur, 1901

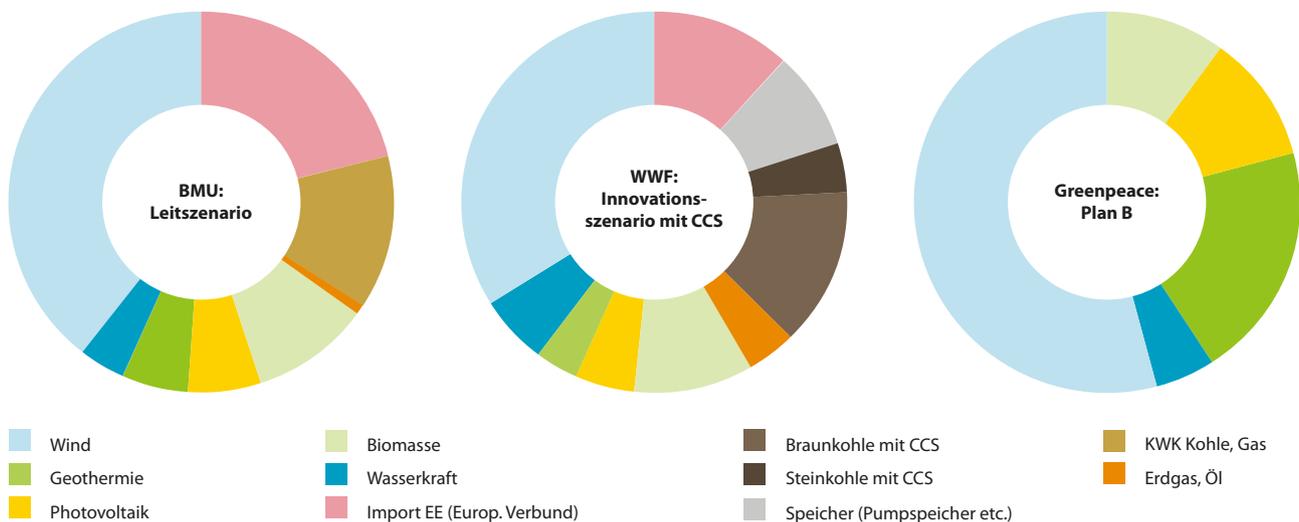
**Szenarien** beschreiben mögliche Zukünfte einer weiter entfernten Zeit. Sie beruhen auf Annahmen und erheben nicht den Anspruch, die wahrscheinlichste Entwicklung abzubilden, so wie es bei Prognosen erwartet wird. Wegen der großen Unsicherheit dürfen insbesondere Langfristszenarien nicht als Vorhersage missverstanden werden, sondern sind als Hilfsmittel zu verstehen, um mögliche langfristige Entwicklungsprozesse vergleichen zu können. In Energieszenarien wird die zukünftige Energieversorgung mathematisch in Modellen errechnet. Ihr Zeithorizont ist, im Gegensatz zu Prognosen, mit bis zu 50 Jahren und mehr wesentlich länger. Bei Energieszenarien werden bestimmte Ziele, wie z. B. eine angestrebte CO<sub>2</sub>-Reduktion, vorgegeben. Zudem werden diverse Annahmen, wie beispiels-

weise die demografische und wirtschaftliche Entwicklung oder die Entwicklung der Ölpreise, zugrunde gelegt. Wegen der großen Unsicherheit der Annahmen dienen Szenarien nicht als Vorhersage, sondern vielmehr als Hilfsmittel für langfristige Entscheidungen.

Zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich der künftigen Energieversorgung Studien kommen können, zeigen die nachfolgenden Grafiken. Die Gründe hierfür liegen vor allem darin begründet, dass den Szenarien unterschiedliche Annahmen zur Entwicklung zum Beispiel des Rohölpreises, der angestrebten CO<sub>2</sub>-Reduktion, des Zeitpunktes des Ausstiegs aus der Kernenergie usw. zugrunde gelegt wurden.

## (Niedrigenergie-) Szenarien für einen künftigen Strommix

Angenommener Strommix im Jahr 2050



Quelle: Leitszenario für 2050: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), im Auftrag des Bundesumweltministeriums (2009), Innovationsszenario mit CCS (2009): WWF; Greenpeace-Szenario für 2050: Plan B (2010)

Weitere Informationen zu den Szenarien: [www.germanwatch.org/klima/nes.pdf](http://www.germanwatch.org/klima/nes.pdf)

„Es wird noch Generationen dauern, bis der Mensch auf dem Mond landet.“  
Sir Harold Spencer Jones, britischer Astronom, 1957

„Ich denke, dass es einen Weltmarkt für vielleicht fünf Computer gibt.“  
Thomas Watson, Vorstandsvorsitzender von IBM, 1943

„Das Internet ist doch nur ein vorübergehender Hype.“  
Bill Gates, Gründer Microsoft, 1995

„Computer der Zukunft werden nicht mehr als 1,5 Tonnen wiegen.“  
US-Zeitschrift „Popular Mechanics“, 1949

# Entstehung von Braunkohle

Das Rheinland vor rund 15 Millionen Jahren, im Zeitalter des Tertiär: Die Dinosaurier sind schon lange ausgestorben, es ist warm und feucht, durchschnittlich 10 Grad wärmer als heute. Die Küstenlinie der Nordsee reicht bis in das Rheinland nahe Düsseldorf und Köln. Die flache Landschaft liegt nur wenige Meter über dem Meeresspiegel und ist geprägt von kleinen Flüssen, Seen, Lagunen, Mooren und Sümpfen. Es ist eine Landschaft, ähnlich wie man sie heute aus den Everglades in Florida oder aus dem Mississippi-Delta kennt.

In dieser Landschaft entsteht die Braunkohle: Alte und abgestorbene Pflanzen fallen ins Wasser, werden dadurch luftdicht abgeschlossen und können nur unvollständig zersetzt werden. Mikroorganismen wandeln ohne Sauerstoff das Pflanzenmaterial zu Torf um. Darauf können wieder neue Pflanzen wachsen, die später absterben, von Wasser bedeckt und ebenfalls zu Torf umgewandelt werden.

Wachsen, Absterben und Versinken im feuchten Untergrund – für eine lange Zeit war dies ein sich stetig wiederholender Kreislauf. Gleichzeitig senkte sich der Boden über

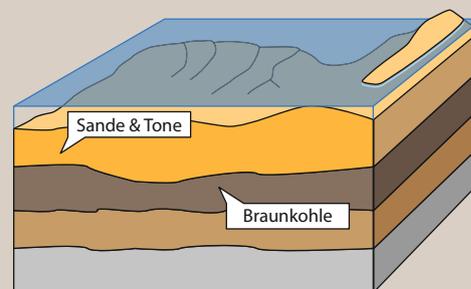
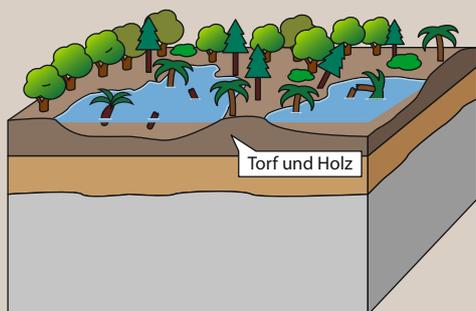
viele Millionen Jahre ganz allmählich ab. Die Nordsee drang immer mal wieder tief ins Land ein und überdeckte alles mit dicken Schichten aus Sand. Diese Decke wurde immer schwerer und presste den lockeren, feuchten Torf zusammen. Durch den hohen Druck wurde der Torf wie ein Schwamm ausgepresst und verdichtet. Aus 10 m Pflanzenschicht entstehen so ca. 2 m Braunkohlenschicht, von den Bergleuten Flöz genannt.

Wenn sich das Meer wieder zurückzog und die Ablagerungen nachließen, begann die Moorbildung aufs Neue. Und wieder wurden die Torfschichten überspült: Jetzt deckten urzeitliche Flüsse den Torf mit gewaltigen Massen Sand, Kies und Ton zu. Die Ablagerung mit Material aus Meer und Flüssen wiederholte sich in der Niederrheinischen Bucht mehrmals. Deshalb liegen dort heute mehrere Braunkohleflöze übereinander, die von dicken Schichten aus Sand, Kies und Ton – den sogenannten Abraumschichten – getrennt sind.

Im Laufe der Jahrtausende zerbrach die Niederrheinische Bucht ganz allmählich durch gewaltige Bewegungen in der



## Entstehung von Braunkohle



Erdkruste. Die Bodenschichten wurden gesenkt oder gekippt und dabei in große Bruchstücke unterteilt. Bei diesen Einbrüchen zerrissen auch die Braunkohlenflöze und wurden häufig gegeneinander verdreht.

Die hier beschriebenen Vorgänge bei der Entstehung der Braunkohle im Rheinland haben sich so ähnlich auch im Gebiet um Leipzig und in der Lausitz abgespielt. Die Braunkohle in der Lausitz entstand vor 25 bis 17 Mio. Jahren, die rheinische Braunkohle vor 18 bis 6 Mio. Jahren, die mitteldeutsche vor 45 bis 23 Mio. Jahren. Das rheinische Revier ist flächenmäßig und von den Vorräten her am größten, gefolgt vom Lausitzer Revier und dem mitteldeutschen Revier.



## Inkohlung

Bezeichnet die Umwandlung von Pflanzenmaterial in Kohle. Die Reihe verläuft von Torf über Braunkohle und Steinkohle bis zu Anthrazit. Der Anteil von Wasser und Asche nimmt dabei ab, der von Kohlenstoff zu. Braunkohle wird eher oberflächennah (bis ca. 450 m Tiefe) vorgefunden, ist vergleichsweise jung (bis ca. 40 Mio. Jahre alt). Steinkohle und Anthrazit dagegen lagern meist sehr tief unter der Erde (bis über 1000 m) und sind sehr alt (z. T. 300 Mio. Jahre). Der Unterschied zwischen Braunkohle und Steinkohle erklärt sich mit dem sehr hohen Druck, der hohen Temperatur und den sehr langen Zeiträumen bei der Entstehung der Steinkohle bzw. des Anthrazits.

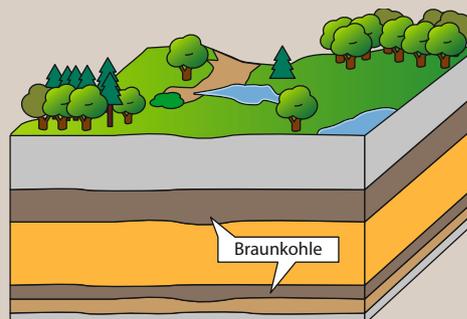
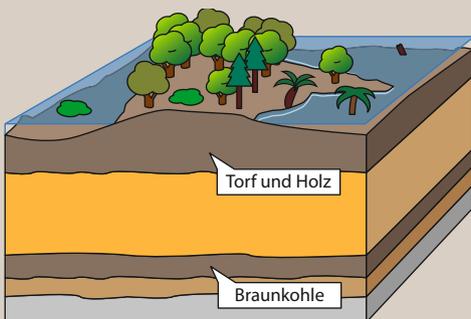
	Torf	<b>Braunkohle</b>	Steinkohle	Anthrazit
Kohlenstoff (% C) <sup>[a]</sup>	55	<b>65-73</b>	80-90	> 92
Wasserstoff (% H) <sup>[a]</sup>	10	<b>8-5</b>	6-4	< 3
Sauerstoff (% O) <sup>[a]</sup>	35	<b>30-15</b>	10-3	< 2
Wassergehalt (%)		<b>63-40</b>	8-1	< 1
Heizwert (kJ/kg) <sup>[b]</sup>		<b>8.400</b>	29.300	35.600

Stickstoff- und Schwefelgehalt<sup>[a]</sup>: 0,5-3 %

Mineralstoffgehalt<sup>[a]</sup>: 5-30 %

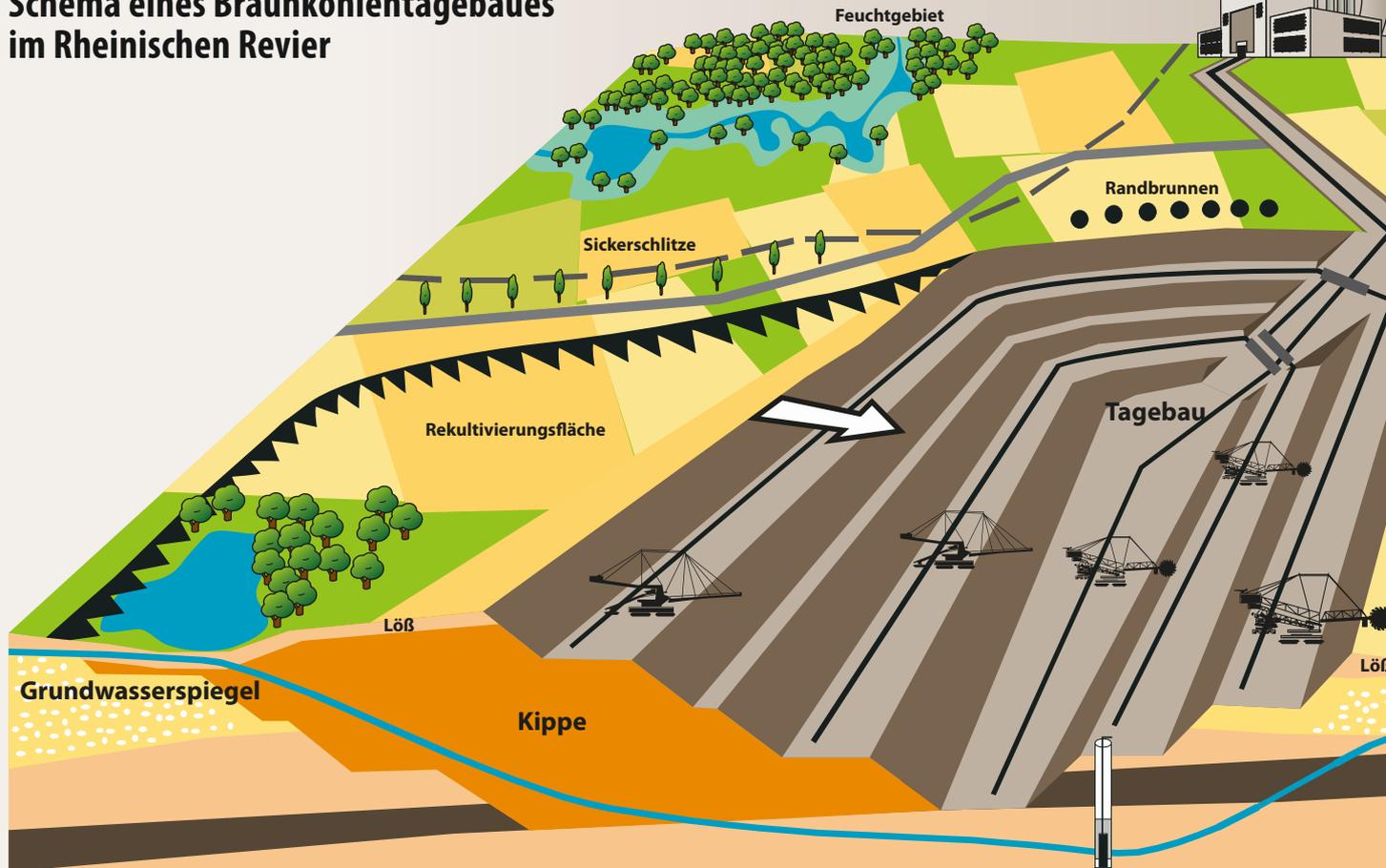
[a] Bezogen auf die Trockensubstanz

[b] Zum Vergleich: Heizwert von Erdöl beträgt 41.900 kJ/kg.



# Abbau von Braunkohle

## Schema eines Braunkohlentagebaues im Rheinischen Revier

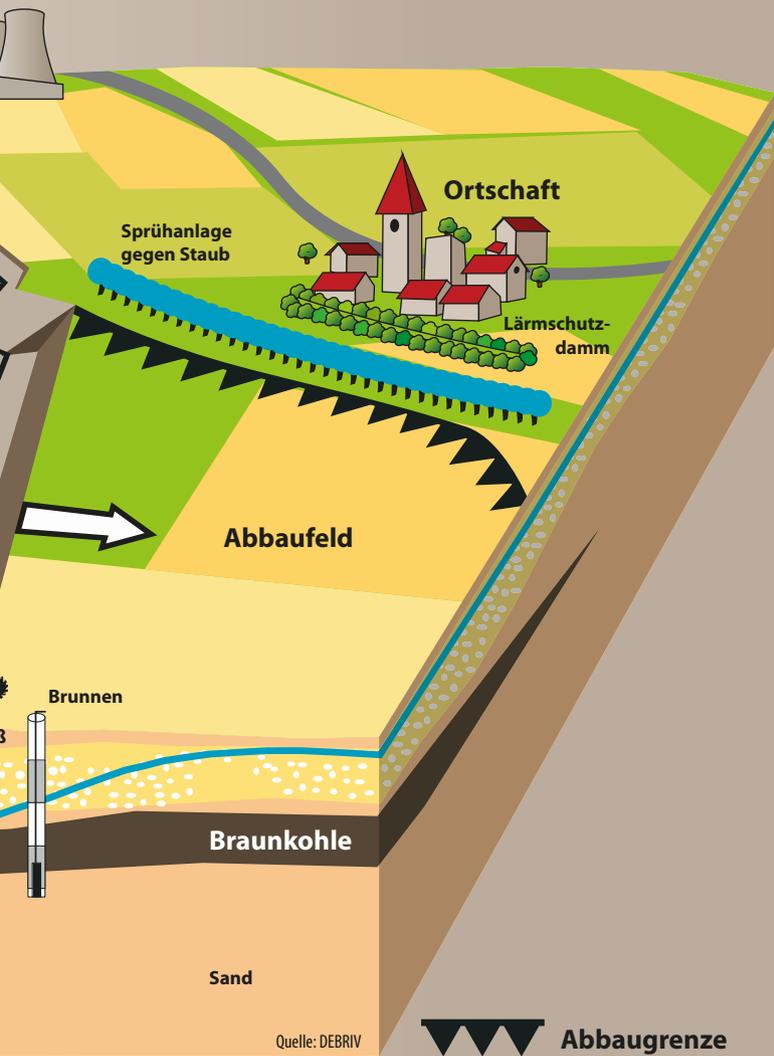


Im Rheinland und in Mitteldeutschland wird im Bandanlagentagebau gearbeitet, in der Lausitz im Förderbrückentagebau, da hier die Flöze weitgehend oberflächenparallel verlaufen und nicht so tief liegen. Auf der Homepage der DEBRIV kann man sich dazu Schaubilder ansehen: [www.braunkohle.de](http://www.braunkohle.de) > Schule und Braunkohle > Virtueller Bandanlagentagebau bzw. Förderbrückentagebau

Unaufhörlich wühlt sich das riesige Schaufelrad durch das Erdreich und gräbt sich in die Sand- und Kiesmassen: Ein Bagger legt in einem Tagebau Braunkohle frei. Sobald der Bagger Ton, Sand und Kies abgeräumt hat, schaufelt er die Braunkohle aus dem Flöz und kippt sie auf kilometerlange Förderbänder, die dann die Braunkohle aus dem Tagebau in Richtung Kraftwerk transportieren. Bevor ein neuer Tagebau eröffnet wird, müssen umfangreiche gesetzliche Genehmigungsverfahren durchlaufen werden. Ist ein Gebiet dann für die Anlage eines Tagebaus freigegeben, wird die Fläche schrittweise komplett beräumt. Die dort lebenden Menschen müssen umsiedeln; sie erhalten dafür eine finanzielle Entschädigung. Vorhandener Wald wird

gerodet und alle Siedlungsstrukturen wie Friedhöfe, Kirchen, Denkmäler usw. werden, soweit möglich, in die neue Heimat umgesetzt. Anschließend wird der Grundwasserspiegel mithilfe starker Pumpen abgesenkt, damit das gesamte Areal trocken liegt. Dann kommen die Maschinen und Anlagen zu ihrem Einsatz: riesige Schaufelradbagger, fast 100 m hoch, 250 m lang, bis zu 13.000 t schwer, sowie Eimerkettenbagger und Förderbrücken, die größten Maschinen der Welt. Die Anlagen können pro Tag bis zu 250.000 m<sup>3</sup> Abraum bzw. Kohle fördern. Förderbänder von mehreren Kilometern Länge transportieren den Abraum bzw. die Braunkohle ab. Die Braunkohle kommt ins Kraftwerk, der Abraum wird zur Auffüllung der Grube genutzt.





Spezielle Maßnahmen mindern während des Abbaus die Staub- und Lärmentwicklung. An den Baggern und am Grubenrand sind Wassersprinkler befestigt, die dem Staub entgegenwirken. Für die Lärmbekämpfung sind die Antriebe von Baggern und anderen Maschinen geräuschkämpfend eingekapselt. Die Braunkohle wird in Deutschland nur in offenen Gruben, den Tagebauen, gefördert. Sie kommt relativ oberflächennah vor, das darüber liegende Erdreich besteht nicht aus festem Gestein, sondern ist locker und wenig verfestigt. Ein unterirdischer Abbau wäre nur mit riesigem Aufwand möglich und viel zu teuer. Nach Beendigung des Kohlenabbaus erfolgt die vollständige Rekultivierung der in Anspruch genommenen Fläche.



## Braunkohle in Deutschland

Die Braunkohlenvorkommen in Deutschland sind im Wesentlichen in drei Regionen konzentriert; dem Rheinland, der Lausitz und dem Gebiet zwischen Helmstedt und Leipzig/Halle (Mitteldeutschland). Die Lagerstätten im Rheinland erstrecken sich im Städtedreieck Köln, Aachen und Mönchengladbach. Das rheinische Revier ist das größte geschlossene Braunkohlenvorkommen in Europa. Das Förderniveau kann allein in den heute genehmigten Tagebauen für die nächsten 25 bis 40 Jahre aufrecht erhalten werden. Die gesamten Vorräte reichen noch für mehrere Generationen (>200 Jahre).

## Fossile Funde

Das subtropische Klima im Tertiär sorgte auch in der Pflanzenwelt für eine große Artenvielfalt: Überreste von Sumpfympressen, Mammutbäumen und Palmen, aber auch Koniferen, Ulmen, Pappeln und Ahorngewächsen finden sich heute in den Flözen. Biologen untersuchen die oft sehr gut erhaltenen Funde in den Braunkohlenflözen. Aus Holzproben bestimmen die Forscher mikroskopisch die Baumarten. Daraus und aus der Dicke der Stämme können sie erkennen, wie hoch die Bäume gewesen sind. Manche der gefundenen Stämme standen schief oder waren umgefallen: Das liefert Hinweise auf die damals vorherrschende Windrichtung.

## Lagerstätten



# Vorteile & Nachteile der Braunkohlennutzung

Braunkohle ist unter den heimischen fossilen Energieträgern der einzige, der in ausreichenden Mengen zu wirtschaftlich vernünftigen Bedingungen zur Verfügung steht. Mögliche Versorgungsprobleme, wie sie bei Erdöl und Erdgas auftreten könnten, sind nicht zu erwarten. Die Vorräte der Braunkohlenvorkommen in Deutschland reichen noch für Generationen.



Durch die Verbrennung von Braunkohle wird sehr viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt, was zur Erderwärmung beiträgt. Braunkohlenkraftwerke stoßen ungefähr 1000 g CO<sub>2</sub> pro erzeugter kWh aus, deutlich mehr als Steinkohlenkraftwerke oder mit Erdgas betriebene Gas-und-Dampf-Kraftwerke.



Durch den Betrieb von Tagebauen werden großflächige Umsiedlungen notwendig, für die Betroffenen gibt es aber Ausgleichszahlungen. Auch wegen der sozialen und gesellschaftlichen Probleme (Auseinanderreißen von Ortsgemeinschaften und sozialen Strukturen, Verlust der Heimat), die sich durch die Umsiedlungen ergeben können, stoßen Braunkohlentagebaue bei der Bevölkerung immer wieder auf starke Kritik.



Der Einsatz der Braunkohle zur Stromerzeugung ist eine gut erprobte und ausgereifte Technologie, die weitgehend störungs- und unfallfrei ist.



Braunkohle benötigt keine Subventionen und ist im Gegensatz zu Erdöl und Erdgas preisstabil. Braunkohlenkraftwerke erzeugen schon sehr lange zuverlässig rund um die Uhr Strom, im Jahre 2011 waren das rund 150 Milliarden Kilowattstunden, das sind 25 Prozent des deutschen Stromverbrauchs.



Der in den Lagerstätten enthaltene Pyrit (Eisendisulfid) wird beim Abbau dem Luft-sauerstoff ausgesetzt und oxidiert. Dabei können erhebliche Mengen an Säure, Eisen und Sulfat freigesetzt werden. Reagieren diese leicht freisetzbaren Schwefelverbindungen mit Sauerstoff und wird der Tagebau nach Ende der Ausbaggerung von ansteigendem Grundwasser durchströmt, fließt ein steter Strom von Schadstoffen in den Untergrund und beeinträchtigt Boden und Wasser. Künstliche Kalkzugaben sollen die freigesetzten Säuren binden und so das Grundwasser schützen.



Durch Rekultivierungsmaßnahmen können neue Landschaften entstehen, mit neuen Angeboten für Tourismus und Naherholung. Manchmal entwickelt sich in der Bergbaufolgelandschaft sogar eine höhere biologische Vielfalt als zuvor.



Braunkohle ist eine der Säulen der Stromversorgung in Deutschland. Ihre Nutzung bietet Vorteile, hat aber auch einige schwerwiegende Nachteile. Dies trifft aber auch auf jeden anderen Energieträger, den wir nutzen, zu. Für alle fossilen Energieträger ergeben sich Probleme beim Klimaschutz, mit Ausnahme der Braunkohle auch bei der Versorgungssicherheit und der Preisstabilität. Die Kernenergie ist wegen Zweifeln an ihrer Sicherheit und der bislang ungelösten Frage der

Endlagerung in Deutschland gesellschaftspolitisch umstritten und ein Auslaufmodell für die nationale Energieversorgung. Die Erneuerbaren Energien (Wind, Sonne) sind nicht in der Lage, zuverlässig rund um die Uhr Strom zu liefern. Für eine zukünftige sichere, bezahlbare und umweltgerechte Energieversorgung müssen daher die jeweiligen Vorteile und Nachteile jedes einzelnen Energieträgers sorgfältig betrachtet und abgewogen werden.

Die Gewinnung der Braunkohle im Tagebau erfordert eine weiträumige Absenkung des Grundwassers. Dies kann zu Konflikten mit der regionalen Trinkwasserversorgung führen und negative Auswirkungen auf nahe gelegene Oberflächengewässer und Feuchtgebiete haben.



Die Kraftwerke der neuen Generation sind gut regelbar und können die stark schwankende Stromeinspeisung der Erneuerbaren Energien, wie Wind- und Solarenergie, ausgleichen. Gegenüber alten Anlagen mit Wirkungsgraden von rund 30 Prozent beträgt der Wirkungsgrad der modernsten Kraftwerke, wie zum Beispiel in Neurath im Rheinland und in Boxberg in der Lausitz, mehr als 43 Prozent.



Beim Abbau der Braunkohle kommt es zum Teil zu großräumigen Eingriffen in die Kulturlandschaft sowie zu ökologischen Problemen. Der Abbau von Braunkohle im Tagebau ist mit einem Verlust jahrhundertalter Kulturlandschaft verbunden.



In Deutschland werden mehr als 80.000 Arbeitsplätze und rund 1.700 Ausbildungsplätze durch den Braunkohlenbergbau und die Braunkohlenstromerzeugung gesichert. Die Wertschöpfung durch die Braunkohle verbleibt vollständig in Deutschland.



Die Eingriffe in die Umwelt können dem regionalen Tourismus sowie der Naherholungsfunktion der Landschaft schaden sowie zu Wertverlusten an Gebäuden und Grundstücken führen. Auch sind Anwohner bereichsweise einer großen Staubbelastung ausgesetzt, die sich in gesundheitlichen Problemen äußern kann.



Bei der Verbrennung von Braunkohle entstehen Schadstoffe wie Stick- und Schwefeloxide sowie Feinstaub. Sämtliche Kraftwerke in Deutschland verfügen über Anlagen zur Abtrennung dieser Oxide und des Feinstaubes. Alle Anlagen erfüllen die heutigen strengen gesetzlichen Vorgaben zum Immissionsschutz.



Die räumliche Nähe von Tagebauen und Kraftwerken im eigenen Land gewährleistet die Versorgungssicherheit. Transportrisiken und -unfälle, wie sie immer wieder mal bei Erdöltransporten vorkommen, sind nicht zu befürchten. Die öffentliche Infrastruktur (Straßen, Schienenwege) wird durch den Transport der Braunkohle so gut wie nicht belastet.



# BoA 2&3 – das modernste Braunkohlenkraftwerk der Welt

In Neurath nahe Köln hat der Stromerzeuger RWE Power im Sommer 2012 das modernste Braunkohlenkraftwerk der Welt offiziell in Betrieb genommen. Es besteht aus zwei Kraftwerksblöcken mit einer Nettoleistung von jeweils 1.050 Megawatt. Zusammen können sie über 3,4 Millionen Haushalte mit Strom versorgen. Das neue Kraftwerk BoA 2&3 (Braunkohlenkraftwerk mit optimierter Anlagentechnik) stößt pro Jahr bei gleicher Stromerzeugung bis zu sechs Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> weniger aus als die Altanlagen, die im Gegenzug vom Netz genommen werden. Insgesamt hat RWE 2,6 Milliarden Euro in den Neubau investiert. Bereits 2003 wurde im benachbarten Niederaußem der Kraftwerksblock BoA 1 in Betrieb

genommen. Kesselhaus und Kühlturm dieses Blocks sind die höchsten Industriegebäude in Deutschland.

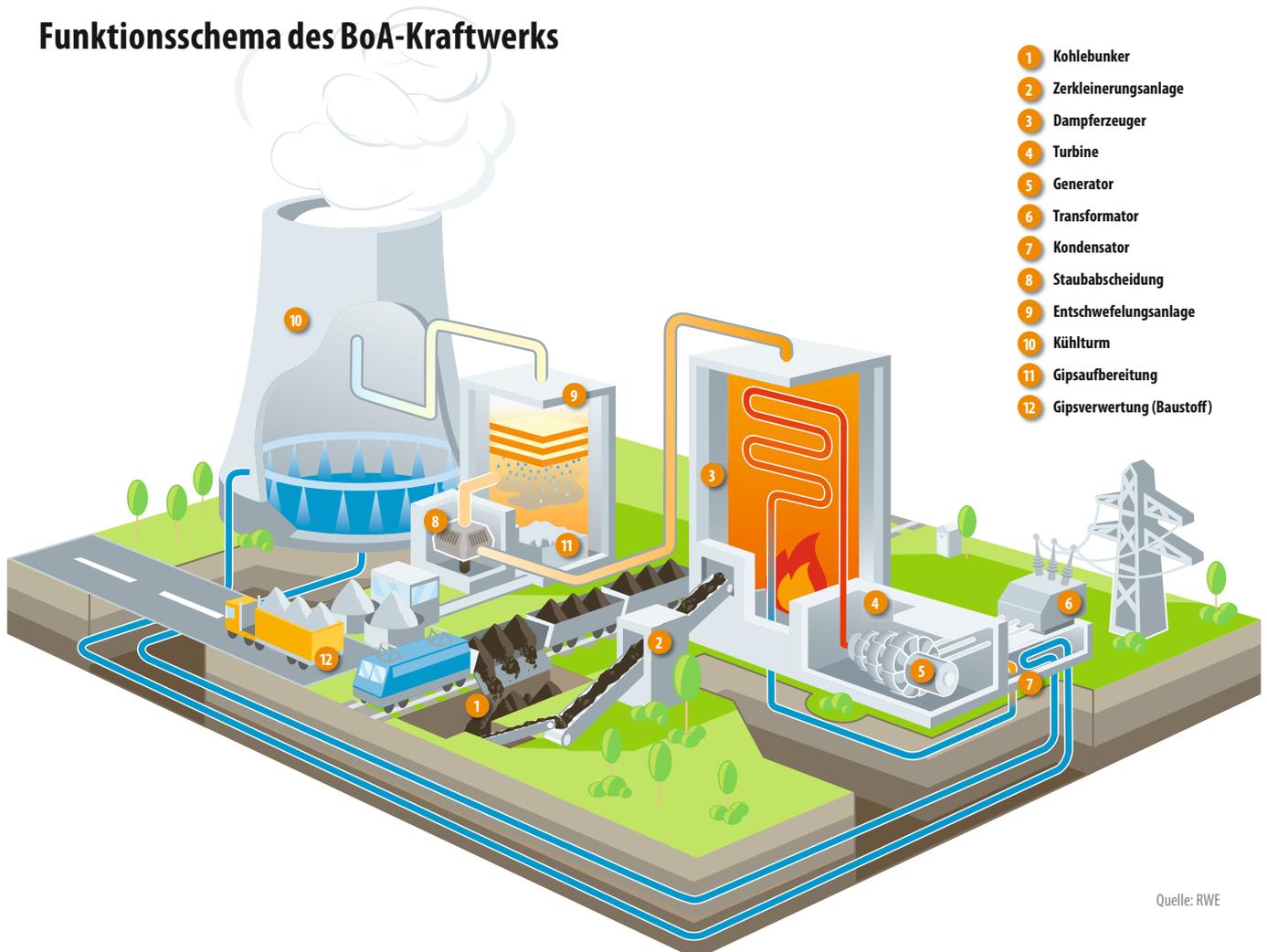
Die Kraftwerke der BoA-Generation haben einen Wirkungsgrad von mehr als 43 Prozent, was die Bestmarke für Anlagen auf Basis von Braunkohle setzt. Ihr Funktionsprinzip unterscheidet sich dabei kaum von den älteren Anlagen – so wie sich auch ein modernes Auto vom Grundsatz her nur wenig von Oldtimern unterscheidet. Doch unter der Haube steckt bei neuen Autos wie in neuen Kraftwerken der technische Fortschritt. So verdankt BoA ihren Wirkungsgrad-Gewinn von über 30 Prozent Optimierungen bei allen Verfahrensschritten der Stromerzeugung: Zum Beispiel wurden für viele Rohrleitungen im Dampferzeuger neuartige

## Daten BoA 2&3, Neurath

Angaben je Kraftwerksblock

Kohlebedarf	800-1.200 t/h
Bruttoleistung	1100 MW
Wirkungsgrad	> 43 %
Stromerzeugung	ca. 16 Mrd. kWh/Jahr
Höhe Kesselhaus	170 m
Höhe Kühlturm	170 m

## Funktionsschema des BoA-Kraftwerks



- 1 Kohlebunker
- 2 Zerkleinerungsanlage
- 3 Dampferzeuger
- 4 Turbine
- 5 Generator
- 6 Transformator
- 7 Kondensator
- 8 Staubabscheidung
- 9 Entschwefelungsanlage
- 10 Kühlturm
- 11 Gipsaufbereitung
- 12 Gipsverwertung (Baustoff)

Quelle: RWE



Eiffelturm, Paris  
324 m



Kölner Dom  
157 m



BKW - Neurath, BoA 2&3  
170 m

Legierungen verwendet, die höhere Dampfdrücke und -temperaturen verkräften denn je – Drücke von 272 Bar und Temperaturen von 600 Grad. Die Turbinen wurden mit computermodellierten Endschaufeln aus Titan ausgerüstet, die die Kraft des heranströmenden Dampfes besonders effizient ausnutzen. An vielen Stellen wird Wärme wiederverwertet, so dass der Energie-Eigenbedarf des Kraftwerks sinkt.

Zudem ist BoA dank der heutigen Leittechnik, die ständig Tausende Betriebsdaten automatisch erfasst und aufbereitet, besonders flexibel. Das heißt: Die Anlage kann ihre Leistung schnell drosseln oder hochfahren. Diese Eigenschaft ist heutzutage wichtig, weil die konventionellen Kraftwerke ihren Betrieb immer mehr an den Erneuerbaren Energien orientieren müssen. Strom aus Wind, Sonne, Biomasse und Wasserkraft hat ge-

setzlich Vorfahrt auf den deutschen Stromautobahnen, ist von Natur aus aber weniger berechenbar; bei Nacht und Windstille können weder Solarzellen noch Windkraftanlagen Strom ins Netz schicken. Die übrigen Verkehrsteilnehmer – sprich: Braunkohle, Steinkohle, Kernkraft und Erdgas – richten sich danach und regeln ihre Stromerzeugung entsprechend flexibel aus. Auf diese Weise tragen sie zur Versorgungssicherheit bei. In Sicht sind weitere Wirkungsgradsteigerungen bei der Stromerzeugung mit Braunkohle. Die Ingenieure und Techniker der RWE-Forschung und -Entwicklung arbeiten zum Beispiel an einem alternativen, energiesparenden Verfahren zur Vortrocknung der Braunkohle, der sogenannten Wirbelschichttrocknung mit interner Abwärmenutzung. Vor allem dank dieser Technik würde das nächste geplante Braunkohlenkraftwerk mit 45 Prozent einen neuen Weltrekord aufstellen.



Das modernste Braunkohlenkraftwerk der Welt - BoA 2&3 in Neurath, NRW

# Braunkohle & Klimaschutz

Der Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromversorgung wird in Deutschland künftig weiter wachsen. Da der Ökostrom gesetzlich Vorfahrt im Stromnetz hat, muss sich die Produktion konventioneller Kraftwerke danach richten, wie viel Strom aus Sonne und Wind jeweils erzeugt wird. Mindestens genauso wichtig ist aber, dass auch immer dann genügend Strom zur Verfügung steht, wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht.

## Neue Flexibilität

Hier kommen die modernen Braunkohlenkraftwerke ins Spiel. Bisherige Anlagen wurden nahezu ausschließlich im Grundlastbereich eingesetzt. Das wird sich zukünftig ändern. Die neuesten Anlagen verfügen über eine Technologie, die Schwankungen im Stromnetz sehr gut auffangen kann. Die computergesteuerte Leittechnik erlaubt eine sehr schnelle Regelung des Kraftwerks. Auf diese Weise kann zum Beispiel der Doppelblock BoA 2&3 in einer Viertelstunde 1.000 Megawatt Leistung ausgleichen. Das heißt: Wenn wegen Windstille kurzfristig ein Windpark mit 400 großen Windkraftanlagen heutiger Bauart ausfällt, können die beiden Blöcke ganz schnell hochfahren und in nur 15 Minuten die Lücke schließen.

Mit dieser hohen Flexibilität sehen die Betreiber dieser Kraftwerke die Braunkohle als einen idealen Partner der Erneuerbaren Energien, weil die schnellen Leistungsänderungen der Kraftwerke dazu beitragen können, die schwankende Einspeisung der erneuerbaren Energieträger abzufedern. Um aber den Zielen des Klimaschutzes Rechnung tragen zu können, muss das Problem des hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes gelöst werden. Immerhin emittiert ein Braunkohlenkraftwerk nahezu 1 kg CO<sub>2</sub> pro erzeugter Kilowattstunde, der bei Weitem höchste Wert aller Energieträger.

Eine deutliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission der Braunkohlenkraftwerke könnte eine möglichst vollständige Erneuerung

des Kraftwerksparks bringen. Alte Anlagen, die sehr viel CO<sub>2</sub> emittieren, würden durch Kraftwerke der neuesten Generation ersetzt. Die Planungs- und Bauzeiten von neuen Kraftwerken betragen allerdings bis zu zehn Jahre.

Auch die neuen Anlagen werden immer noch sehr große Mengen an Kohlenstoffdioxid ausstoßen. Eine mögliche Lösung hierfür ist die Abscheidung von CO<sub>2</sub> im Kraftwerk mit nachfolgender Lagerung des Gases im Untergrund – Carbon Capture and Storage (CCS). Bisher gibt es aber nur ein Pilotprojekt in Brandenburg, das die Technik der Abscheidung erprobt. Wegen der unzureichenden gesetzlichen Grundlagen und des regionalen Widerstands der Bevölkerung gegen die CO<sub>2</sub>-Speicherung ist derzeit nicht abzusehen, wann die Technologie in Deutschland in die Praxis umgesetzt werden kann.

## Klimaschutzpolitik und Braunkohle

Auf dem EU-Gipfel in Brüssel im Dezember 2008 haben die europäischen Staats- und Regierungschefs beschlossen, dass die Stromerzeuger ab 2013 für jede freigesetzte Tonne CO<sub>2</sub> Erlaubnisscheine ersteigern müssen – im sogenannten Emissionshandel. Betreiber von Strom produzierenden Anlagen müssen schon jetzt durchschnittlich (je nach Art der Anlage) die Hälfte der zukünftig benötigten Zertifikate kaufen, der Rest der benötigten Zertifikate muss ab 2013 ersteigert werden. Wenn die Berechnungen der Experten stimmen, wird jede Tonne CO<sub>2</sub> dann 15 bis 30 Euro kosten. Aktuell liegt der Preis bei 7 Euro (August 2012)\*. Blicke es beim heutigen CO<sub>2</sub>-Ausstoß, könnten für die Betreiber von Braunkohlenkraftwerken in Deutschland zusätzliche Kosten in dreistelliger Millionenhöhe im Jahr entstehen.

\* [www.eex.com/de](http://www.eex.com/de) > Emissionsrechte

## Eine Brückentechnologie

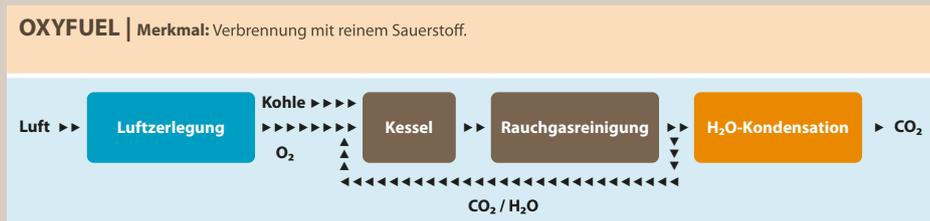
Durch die CO<sub>2</sub>-Abscheidung ergeben sich Wirkungsgradeinbußen von bis zu 10 Prozentpunkten. Das heißt, bei gleicher Leistung

## CCS: Zurzeit werden drei mögliche Verfahren verfolgt, um das Kohlenstoffdioxid abzuscheiden:

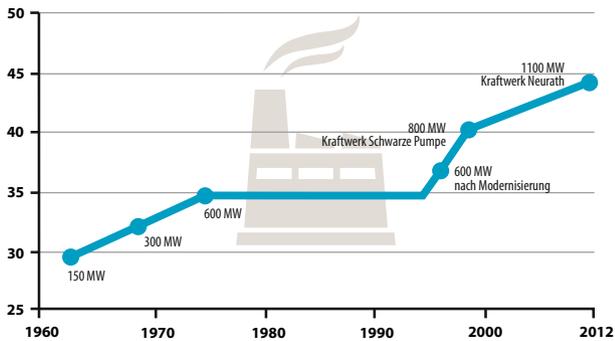
**Oxyfuel-Verfahren:** Die Kohle wird anstatt mit Luft in einer Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und recyceltem Rauchgas verbrannt. Durch Reinigung und Auskondensieren des

Rauchgasstromes kann das CO<sub>2</sub> abgeschieden und mittels hohen Drucks verflüssigt werden.

**Pre-combustion capture:** Der Brennstoff wird vor der Verbrennung in ein Synthesegas aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff umgewandelt. Das Kohlenmonoxid wird in einem



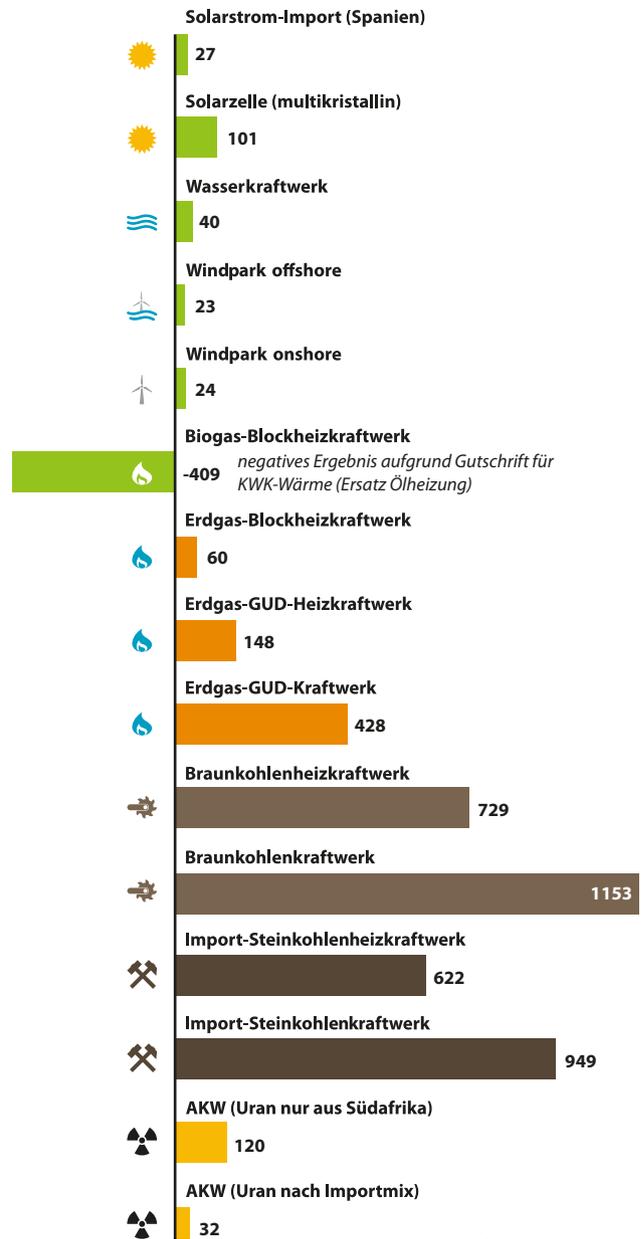
## Netto-Wirkungsgrade neuer Braunkohlenkraftwerke in Prozent



Quelle: Umweltbundesamt, RWE

ergibt sich ein Mehrbedarf an Brennstoff von rund 20 Prozent. Dadurch reichen die Kohlevorräte in den genehmigten Tagebauen für deutlich weniger Strom, wobei die Vorräte an Braunkohle deutlich größer sind als die Öl- und Gasvorräte. In Nordamerika, Australien und Asien gibt es zahlreiche Forschungs- und Testprojekte zum CCS-Verfahren. Auch die EU fördert zwölf große Forschungsprojekte zur CO<sub>2</sub>-Speicherung. In China geht jede Woche ein neues Kohlekraftwerk ans Netz und auch Indien deckt seinen Energiehunger größtenteils mit eigener Kohle. Schon heute geht mehr als die Hälfte des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes auf das Konto der Schwellenländer, zu denen China, Indien, Südafrika, Mexiko, Brasilien, Malaysia, die Philippinen, Thailand, Russland und die Türkei zählen. Nur wenn es gelingt, auch in diesen Ländern den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß zu drosseln, kann die Erderwärmung gemindert werden. Die CO<sub>2</sub>-Abtrennung und -Speicherung löst letztendlich nicht das Klimaproblem, sie kann aber eine Überbrückungstechnologie sein, mit der man Zeit gewinnt, um Strom effizienter zu nutzen und alternative Energien weiter zu entwickeln, die die Kohle langfristig ersetzen können. Vor 2020 wird die CCS-Technologie nicht auf dem Markt sein.

## Nettobilanz für Treibhausgase [CO<sub>2</sub>-Äq./kWh<sub>el</sub>], in Gramm



Quelle: Wissenschaftl. Dienst des Bundestages

weiteren Schritt mit Wasserdampf zu CO<sub>2</sub> und Wasserstoff umgewandelt. Während das CO<sub>2</sub> abgeschieden und verflüssigt werden kann, dient der Wasserstoff zur Stromerzeugung.

**Post-combustion capture:** Die Kohle wird im konventionellen Kraftwerksprozess verbrannt. Das CO<sub>2</sub> wird nach der Verbrennung in einem Waschverfahren aus dem Rauchgas

abgeschieden, durch eine aminhaltige Lösung (Amine = organische Derivate des Ammoniaks) gebunden, durch Erhitzung abgetrennt und anschließend verflüssigt.

bevor er verfeuert wird.



**POST-COMBUSTION** | Merkmal: Kann – bei ausreichend Platz – bei bestehendem modernen und effizienten Kraftwerken nachgerüstet werden. Die CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist ein weiterer „Waschgang“ bei der Rauchgasreinigung.



# Rekultivierung

Der Abbau von Braunkohle im Tagebau bedeutet den Verlust einer über Jahrhunderte gewachsenen Kulturlandschaft. Mithilfe der Rekultivierung wird versucht, die durch den Abbau der Braunkohle entstandenen Schäden an Natur und Landschaftsbild zu kompensieren. Mitunter gelingt es sogar, durch die Rekultivierungsmaßnahmen eine Fauna und Flora anzusiedeln, die vielfältiger ist als zuvor. Nach Beendigung der Braunkohlengewinnung werden die entstandenen Restlöcher zu Seen ausgestaltet und geflutet. Diese Bergbau-Restseen stabilisieren den lokalen Wasserhaushalt und beleben die Bergbaufolgelandschaft. Viele dieser Seen sind heute zu beliebten Ausflugszielen geworden.

## Wiedernutzbarmachung

In Deutschland ist die Landschaft durch Jahrtausende menschlicher Nutzung geprägt. Die Erfahrungen der über 100-jährigen Rekultivierungspraxis von Bergbaufolgelandschaften in Deutschland haben gezeigt, dass bei der Rekultivierung besonders darauf zu achten ist, wie die Landschaft vor dem Tagebau genutzt wurde. Deswegen ist es das Ziel, eine Landschaft aufzubauen, die den natürlichen regionalen Gegebenheiten und der ursprünglichen Kulturlandschaft so weit wie irgendmöglich nahekommt.



Ansicht des Ortes Kaster – Tagebau Garzweiler, Rheinland, vor der Rekultivierung

Für die Planung gibt es zwei Zielvorgaben: Es soll eine Landschaft gestaltet werden, **die nachhaltig nutzbar** und **ökologisch stabil** und deren **regionaler Charakter** deutlich erkennbar ist.

Das rheinische Revier mit den hochwertigen Ackerböden und die Lausitzer Wald- und Teichlandschaft unterscheiden sich deutlich, was den Landschaftstyp betrifft. Die Anforderungen an die Bergbaufolgelandschaft sind daher sehr unterschiedlich. Weil der regionale Charakter erhalten bleiben soll, ist die Wiederansiedlung von landschaftstypischen Tier- und Pflanzenarten besonders wichtig. Vegetationsexperten und Fachleute für die Anlage von Wasserflächen sind daher beratend bei der Planung der Rekultivierungsmaßnahmen tätig.

## Waldumbau

Fast die Hälfte der vom Bergbau in Anspruch genommenen Flächen in Deutschland wurden bereits wieder aufgeforstet, fast 30 Prozent der Flächen werden landwirtschaftlich genutzt, fast 20 Prozent als Wasserflächen angelegt. Ziel ist, eine naturnahe und vielfältig nutzbare Waldlandschaft mit einem hohen Wert für den Naturschutz, aber auch für die Erholung. Es wird angestrebt, einen möglichst stabilen Mischwald mit hoher Artendichte anzulegen. Dazu sollen Wanderwege, Rastplätze und Aussichtspunkte angelegt werden.

## Alley-Cropping

ist ein spezielles Landnutzungsverfahren. Es werden gemeinsam Bäume oder Sträucher und landwirtschaftliche Kulturen auf einer Fläche angebaut. Meist wechseln sich die Reihen streifenweise ab – zwischen den Allee-artig angebauten schnellwachsenden Baumarten wie Pappel, Birke, Robinie (alleys) findet man flächig angebaute Nutzpflanzen wie Roggen, Gerste, Kartoffel (cropping). In jedem Fall sind es Kulturen, die sich gegenseitig günstig beeinflussen und langfristig die Bodenfruchtbarkeit und die biologische Vielfalt erhöhen.



Kaster – Tagebau Garzweiler, Rheinland, nach der Rekultivierung

## Vielfältige Nachnutzung

Möglichst vielfältig soll die Nachnutzung der Bergbaulandschaft sein. Neben Wald- und Ackerflächen entstehen auch Feuchtgebiete, Parkanlagen, Obstplantagen und Seenlandschaften, die zum Baden und zum Wassersport einladen. Forschungen haben gezeigt, dass auf einigen Rekultivierungsflächen die Artenvielfalt höher ist als vor dem Tagebau und Pflanzen und Tiere, die in Deutschland auf der Roten Liste stehen, sich dort angesiedelt haben. Bekannte Rekultivierungsflächen sind das Leipziger Neuseenland, das Lausitzer Seenland und die Sophienhöhe/Indeland im Rheinland.

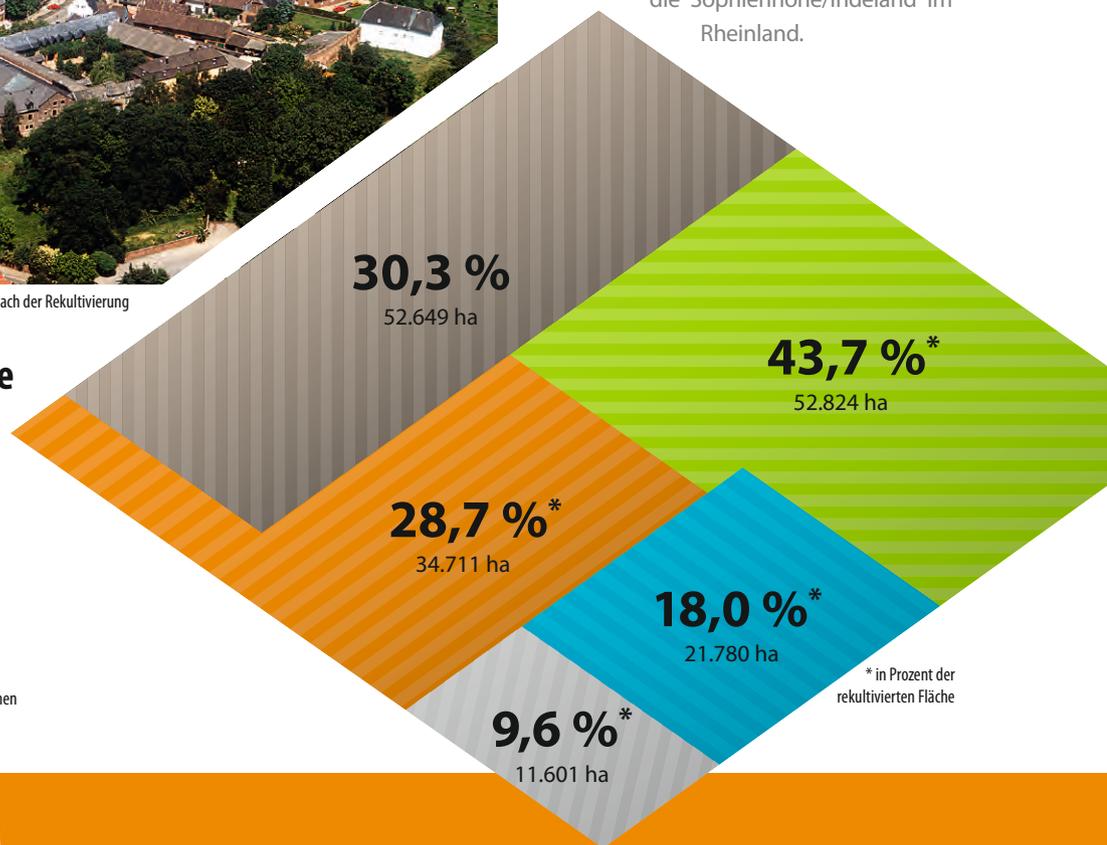
## Landinanspruchnahme gesamt: 173.565 ha

Stand: Dez.2011

-  Betriebsfläche
-  Landwirtschaft
-  Forstwirtschaft
-  Wasserflächen
-  Sonstiges<sup>1</sup>

1) einschließlich Rekultivierungsrückstände und Risikoflächen

Quelle: Statistik der Kohlenwirtschaft



\* in Prozent der rekultivierten Fläche

## Ackerland nutzen

Nach dem Ende des Tagebaus soll die Landschaft auch wieder landwirtschaftlich genutzt werden können. Vorab erfolgt eine Melioration (Bodenverbesserung) mit Hilfsstoffen wie Kalk und Dünger. Über mindestens sieben Jahre werden dann Pionierpflanzen wie Luzerne oder Senf angebaut, die den Boden tiefgründig durchwurzeln und ihn mit Stickstoff anreichern. Es geht darum, den Boden biologisch zu aktivieren. Später werden Getreide und andere Feldfrüchte auf möglichst bodenschonende Weise angebaut und geerntet. Die Anlage

von Windschutzstreifen und Hecken soll der Sicherheit gegen Erosion dienen, die biologische Vielfalt erhöhen und ästhetische Akzente in der Landschaft setzen. Nach jahrelanger Vorbereitung gehen die neuen Ackerflächen dann in die Hände von Landwirten über, die an anderer Stelle Land für den Bergbau bereitgestellt haben. Wichtigster Aspekt für die weitere Nutzung als Ackerboden ist der behutsame und kontinuierliche Aufbau einer Humusschicht im Boden, um langfristig eine ausreichende Bodenfruchtbarkeit zu erreichen.

# Wirtschaftsfaktor Braunkohle

Braunkohle ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor in Deutschland. Fast 23.000 Menschen gibt die Braunkohle direkt Arbeit, bei der Förderung in den Tagebauen, in den Kraftwerken und in der Produktion und Veredlung von Brennstoffen (Briketts, Braunkohlenstaub). Die Hälfte der Beschäftigten arbeitet im rheinischen Revier, rund 35 Prozent im Lausitzer Revier und rund 13 Prozent in Mitteldeutschland.

## Regionaler Wirtschaftsfaktor

Studien zeigen, dass auf jeden Beschäftigten in der Braunkohlenindustrie zwei weitere Arbeitsplätze in Zulieferbetrieben sowie im Konsumbereich kommen, sodass davon auszugehen ist, dass insgesamt fast 86.000 Arbeitsplätze in Deutschland direkt und indirekt der Braunkohle zugeordnet werden können.

Vor allem für die strukturschwache Region in der Lausitz, aber auch für Mitteldeutschland und das Revier Helmstedt sind diese Einkommen ein bedeutender regionaler Wirtschaftsfaktor. Da die Einkommen überwiegend in der Region ausgegeben werden, werden regionale Wirtschaftskreisläufe ausgelöst. Bergbau, Kraftwerke und Veredlungsbetriebe benötigen für ihren Betrieb eine Vielzahl von Maschinen, Anlagen, Roh- und Hilfsstoffen sowie Dienstleistungen. Ein großer Teil dieser Ausgaben und Investitionen verbleibt in der jeweiligen Region und stärkt die regionale Wirtschaft.

## Hohe Investitionskosten

Die Stromerzeugung von rund 150 Mrd. kWh in den Braunkohlenkraftwerken Deutschlands bedeutet eine Wertschöpfung von fast 7 Mrd. Euro im Jahr. Feste Brennstoffe für die Industrie und den Wärmemarkt bilden das zweite Standbein. Der Produktionswert der festen Brennstoffe aller Reviere liegt in einer Größenordnung von etwa 800 Mio. Euro. Die Unternehmen, die Braunkohle abbauen und verstromen, erzielen damit insgesamt pro Jahr so viel Gewinn, dass sie die hohen Investitionskosten für neue Kraftwerke aufbringen können.

Wenn ab 2013 allerdings im Rahmen des europäischen Emissionshandels die Stromversorger ihre CO<sub>2</sub>-Zertifikate komplett ersteigern müssen, könnten auf die Unternehmen Kosten in dreistelliger Millionenhöhe zukommen und die Gewinne dadurch deutlich geschmälert werden. Inwieweit auch diese Kosten dann zu einem steigenden Strompreis beitragen werden, bleibt abzuwarten.

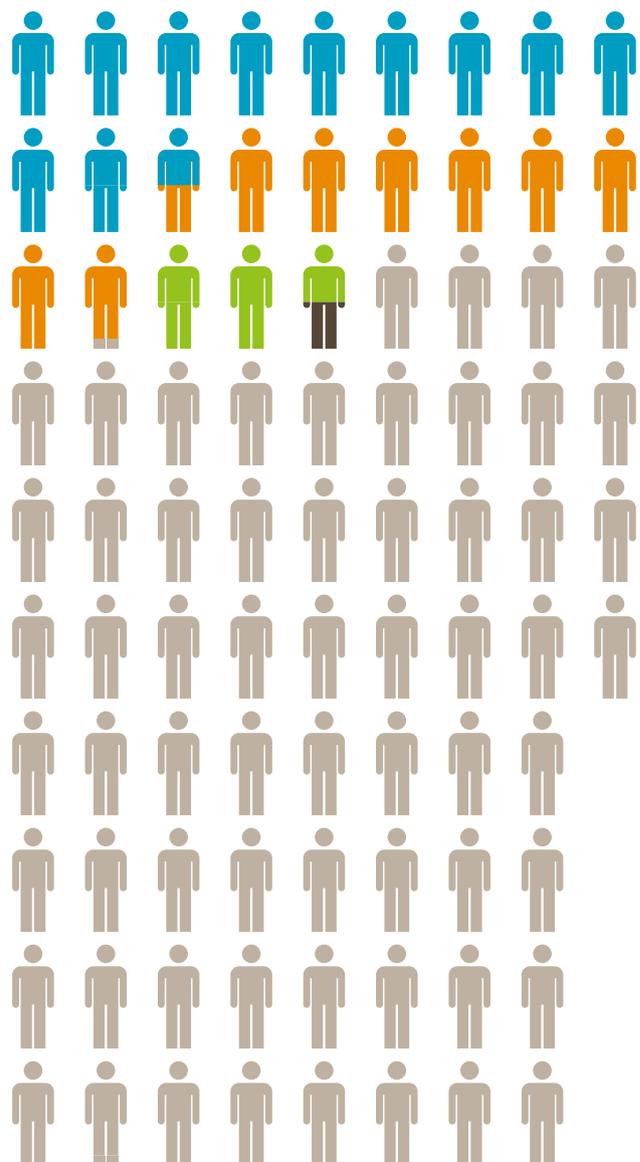
## Beschäftigte in der deutschen Braunkohlenindustrie 2011

### Direkt Beschäftigte:

Gesamt:	22.770	Mitteldeutschland:	2.531
Rheinland:	11.591	Helmstedt:	522
Lausitz:	8.126		

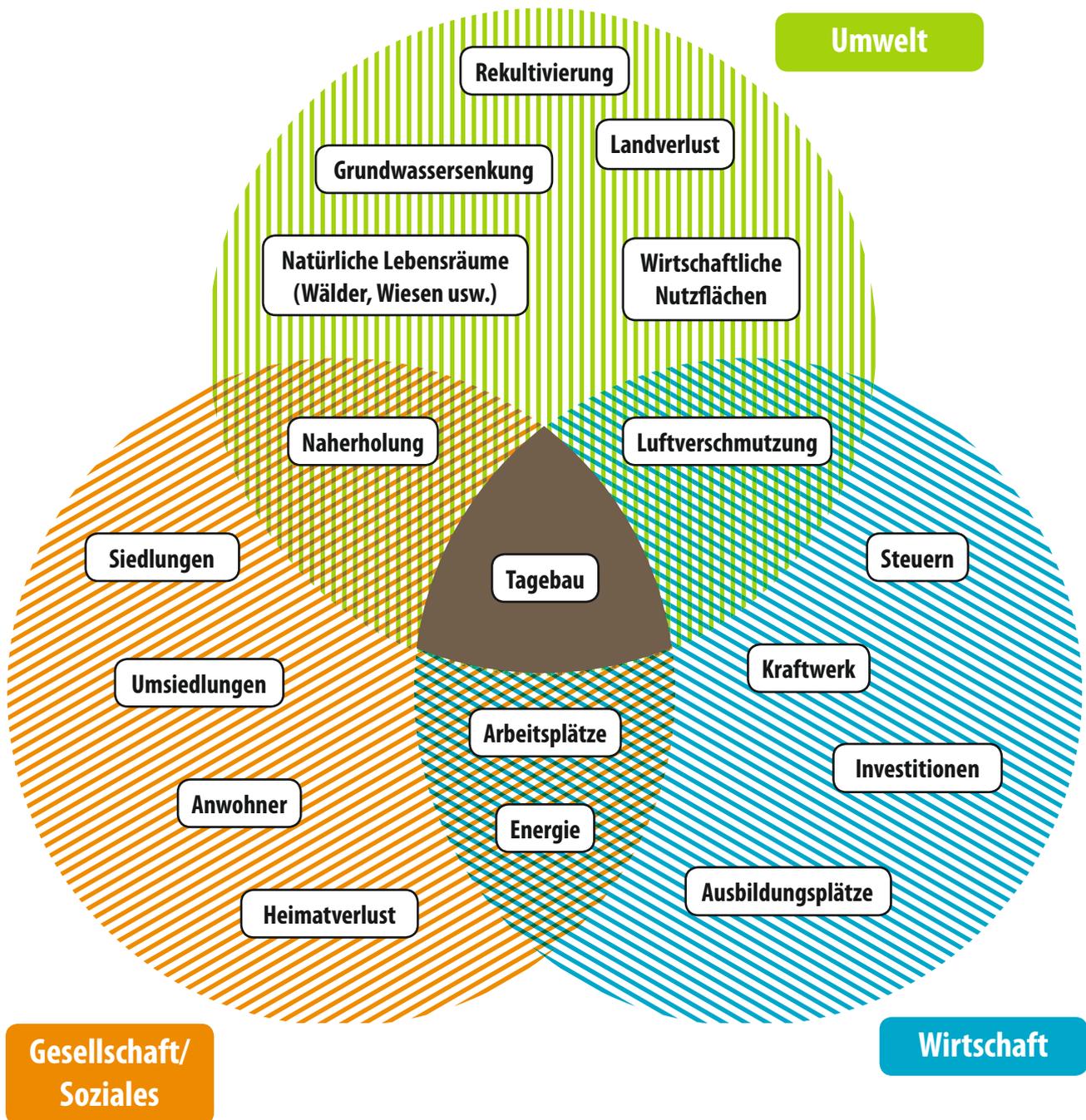


= 1000 Personen



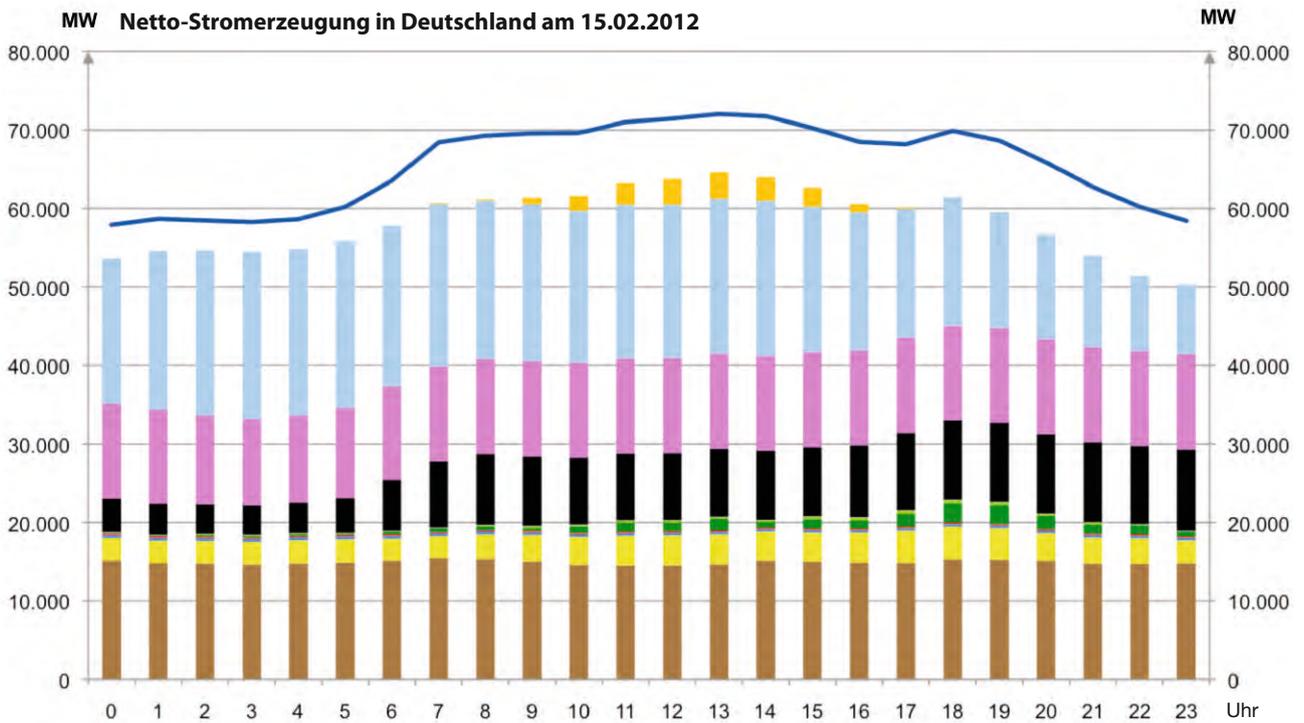
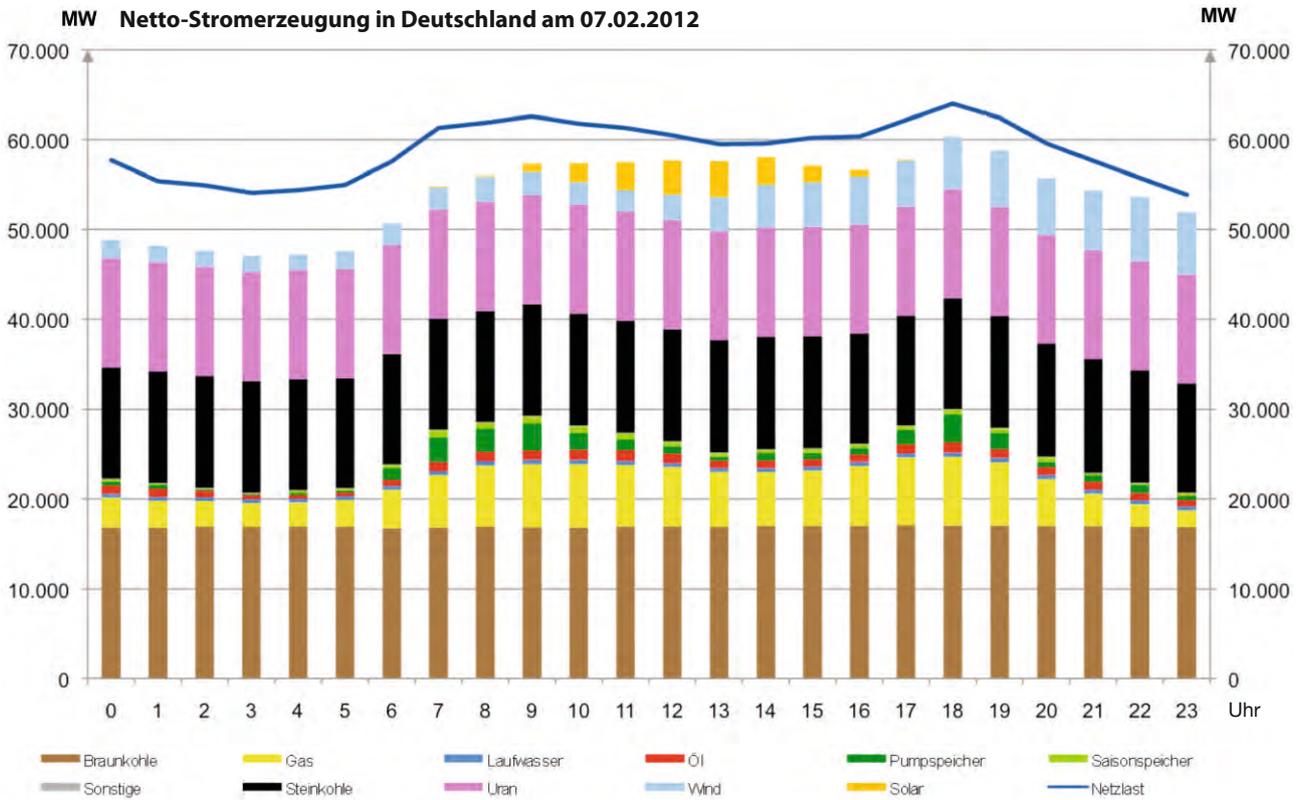
Arbeitsplätze, die der Braunkohle insgesamt zugeordnet werden können: **86.000**





**Aufgaben:**

1. Teilt euch in der Klasse in Gruppen von 3 Personen ein. Betrachtet das Schaubild und ermittelt, zwischen welchen der aufgeführten Begriffe eine Beziehung besteht. Markiert diese Verbindung mithilfe einer Linie und beschreibt die Art der Beziehung.
2. Fallen euch weitere Begriffe und Beziehungspaare ein, die hier nicht aufgeführt sind?



Quelle: DEBRIV

**Aufgabe:**

Vergleiche die beiden Lastkurven miteinander und ermittle die Unterschiede in der Lastverteilung.

Notiere deine Ergebnisse und erläutere diese.

## Windkraft mitten im Stadtwald

Waldeckische Landeszeitung, 20.04.2010

Mit 180 Meter hohen Windkraftanlagen mitten im Stadtwald will Bad Arolsen seinen Haushalt sanieren. Beinahe viermal so hoch wie der schiefe Kirchturm (der Stadt) sollen die 15 Windkraftanlagen in den Himmel wachsen. Weil die Anlagen auf einem Höhenrücken entstehen sollen, werden sie weithin sichtbar sein. Viele Mengerhingäuser sorgen sich, dass ihr über Jahrhunderte gewachsenes Stadtbild in Mitleidenschaft gezogen werden könnte. (gekürzt)

[www.wlz-fz.de](http://www.wlz-fz.de)

## Bürgerinitiative gegen Biogasanlage in Ahausen gegründet

Neue Osnabrücker Zeitung NOZ, 08.09.2011

In Bersenbrück-Ahausen hat sich eine Bürgerinitiative gegründet, die sich gegen die geplante Biogasanlage zur Wehr setzen möchte. Große Sorge bereitet die Verkehrsanbindung für die 1,2-Megawatt-Anlage. In Zeiten von Spitzenbelastungen könnten es über 100 Transportfahrzeuge sein, die täglich zur Biogasanlage fahren. Zudem werden Belastungen für die Anwohner durch Emissionen befürchtet und eine erhöhte Gesundheitsgefahr durch Keime, die sich möglicherweise in den Gärresten halten und eine nachhaltige Gefahr darstellen, wenn sie zur Düngung auf Ackerflächen ausgebracht werden. (gekürzt)

[www.noz.de](http://www.noz.de)

## Bürgerinitiative gegen CO<sub>2</sub>-Lager in der Altmark warnt!

Magdeburger Nachrichten, 29. Juli 2010

Die „Bürgerinitiative Kein CO<sub>2</sub> Endlager Altmark“ informiert die Bevölkerung über die Gefahren eines Endlagers. Die Bürger fühlen sich laut Bürgerinitiative mehr und mehr als Versuchskaninchen der Politik und der ausführenden Konzerne. Gemäß der Initiative sind alle Bohrlöcher und Brunnen eine Gefahr für unkontrolliertes Austreten von CO<sub>2</sub> aus dem unterirdischen Forschungsspeicher. Die nahegelegenen Orte und Bewohner wären nach Meinung der Bürgerbewegung stark gefährdet. Nicht zuletzt sieht die Bürgerinitiative auch das Grundwasser gefährdet. (gekürzt)

[www.magdeburger-nachrichten.de](http://www.magdeburger-nachrichten.de)

## Bürgerinitiative kämpft gegen Braunkohle-Abbau

Mitteldeutsche Zeitung, 10.02.07

Eine eigens gegründete Bürgerinitiative will den Abbau von Braunkohle im Landkreis Aschersleben-Staßfurt verhindern. Die Anwohner befürchten Umweltschäden und sprachen sich deshalb gegen die Pläne für einen neuen Tagebau aus. Das Aktionsbündnis will seinen Protest auch auf andere geplante Aushub-Gebiete ausweiten. (gekürzt)

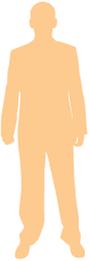
[www.mz-web.de](http://www.mz-web.de)

## 16 Kommunen wollen keine Höchstspannungsleitung

Hamburger Abendblatt, 15.12.2011

BAD GANDERSHEIM. Im südlichen Niedersachsen wollen 16 Kommunen den geplanten Bau einer oberirdischen Höchstspannungsleitung durch die Region verhindern. „Wir sind uns einig, dass wir Masten und Leitungen in der Landschaft nicht wollen, sondern eine Erdverkabelung“, sagte Bad Gandersheims Bürgermeister Heinz Gerhard Ehmen (parteilos).

[www.abendblatt.de](http://www.abendblatt.de)



Wir planen den Bau eines neuen Kraftwerks am Standort Neustadt. Es wird das modernste und umweltfreundlichste Braunkohlenkraftwerk in Deutschland. Es wird uns dabei helfen, auch zukünftig Strom kostengünstig und verlässlich an unsere Kunden zu liefern. Außerdem werden wir dann unsere beiden alten Kraftwerksblöcke bei Mittelstadt abschalten, die jeweils sehr viel mehr CO<sub>2</sub> emittieren als das neue Kraftwerk.

**Vertreter Energieversorgungsunternehmen**

Ich begrüße den Neubau des Kraftwerks. Es wird unserer Gemeinde hohe Gewerbesteuern bringen und für viele Arbeitsplätze sorgen. Für mich ist wichtig, dass die Stromversorgung zuverlässig ist und bezahlbar bleibt, vor allem angesichts der Tatsache, dass es uns gelungen ist, viele neue Betriebe in unserem neuen Industriegebiet anzusiedeln.

**Landrätin des Landkreises Neustadt**



Ich möchte nicht, dass uns hier ein Riesenkraftwerk vor die Haustür gesetzt wird. Ich habe Angst vor dem Feinstaub, vor Lärm und Abgasen. Ich möchte nicht, dass meine Kinder in so einer Umgebung aufwachsen.

**Anwohnerin (Mutter und Hausfrau)**

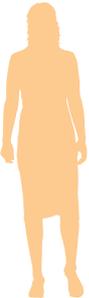


Der Kraftwerksneubau setzt das falsche Signal. Wir brauchen in Deutschland die Energiewende hin zu den Erneuerbaren Energien und das möglichst schnell. Das Kraftwerk wird trotz aller technischen Verbesserungen jedes Jahr fast 20 Mio. t CO<sub>2</sub> ausstoßen und damit das Klima belasten.

**Berater der Bürgerinitiative (Energiefachmann)**

Ich verstehe beide Seiten. Einerseits brauchen wir eine sichere Stromversorgung, die bezahlbar bleibt. Jeden Tag sehen wir, wie Erdöl und Erdgas teurer werden, da ist es gut, die heimische Braunkohle zu haben. Gleichzeitig müssen wir auf den Klimaschutz achten. Wir in der Politik sind daher gefordert, sorgfältig alle Argumente abzuwägen und dann zu entscheiden, was das Beste für die Zukunft unseres Landes ist.

**Bundtagsabgeordnete (Wahlkreis in Neustadt)**



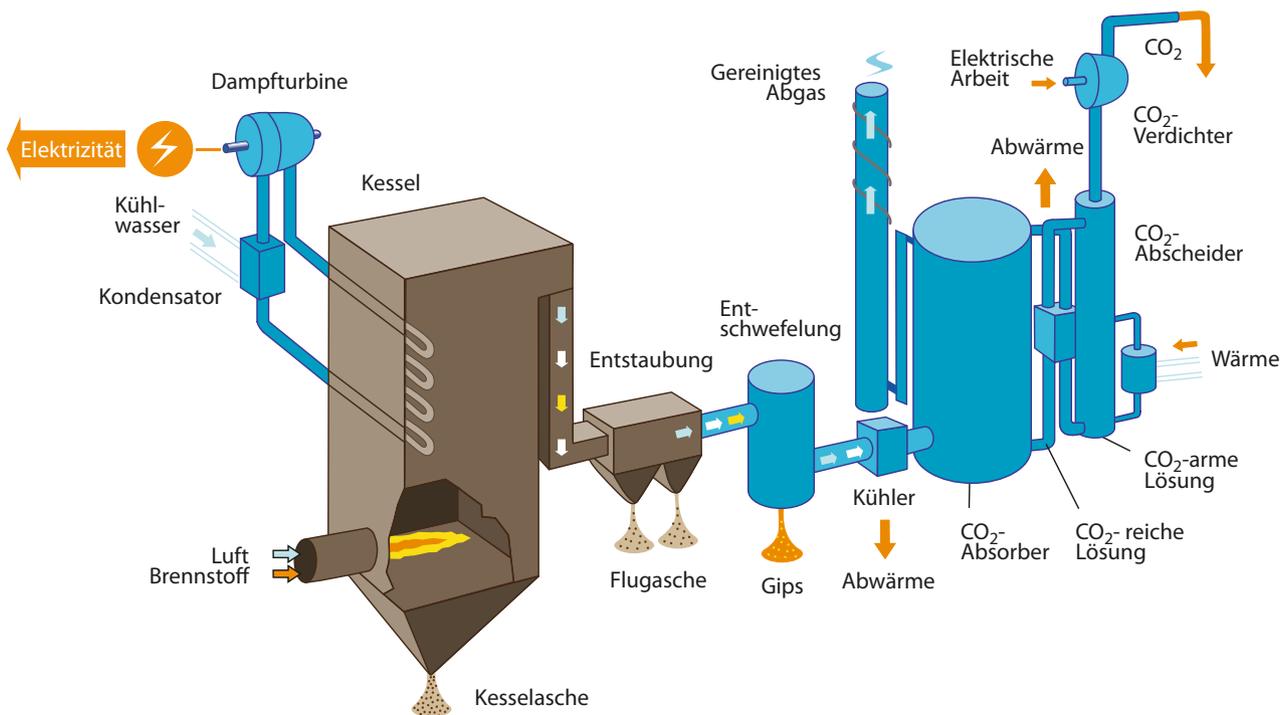
## Aufgaben:

1. Findet in der Klasse weitere Argumente für die einzelnen Positionen und notiert diese.
2. Führt in der Klasse eine Podiumsdiskussion zum Thema Kraftwerksneubau durch.

Bei der Stromproduktion muss künftig eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung sowohl durch neue Technologien als auch durch den Wechsel im Energiemix erreicht werden. Gleichzeitig braucht es CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechniken wie Carbon Capture and Storage (CCS), die dabei helfen, den Einsatz des fossilen Brennstoffs Braunkohle klimafreundlich zu gestalten. Denn noch heute basieren in Deutschland über 80 Prozent des Primärenergieverbrauchs auf fossilen Energieträgern. Weltweit gibt es einige Länder wie China und Indien, die immer stärker und noch sehr lange Kohle zur Stromerzeugung nutzen werden. Die CCS-Technologie könnte dabei helfen, dass auch in diesen Ländern künftig die Stromerzeugung klimafreundlicher gestaltet wird. Unter Ab-

scheidung ist das Separieren von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), das im Laufe des Verbrennungsprozesses von beispielsweise Steinkohle, Erdgas oder Braunkohle entsteht, gemeint. Das abgetrennte oder abgeschiedene (fast reine) CO<sub>2</sub> kann danach leicht abtransportiert und anschließend gelagert werden. Um das Kohlenstoffdioxid abzuscheiden, wird zurzeit an drei unterschiedlichen Verfahren geforscht, die sich hauptsächlich durch den Zeitpunkt der Abscheidung unterscheiden: vor, während oder nach der Verbrennung im Kraftwerk. Zum besseren Verständnis ist hier das sogenannte Post-Combustion-Verfahren, also die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid nach der Verbrennung, dargestellt.

## CO<sub>2</sub>-Abscheidung nach der Verbrennung (Post-Combustion)



### Aufgabe:

Was ist das Merkmal des Post-Combustion-Verfahrens? Informationen zu CCS: [www.iz-klima.de/ccs-prozess/abscheidung](http://www.iz-klima.de/ccs-prozess/abscheidung)

## Impressum

Zeitbild Wissen „Braunkohle im Energiemix“, Oktober 2012.

Herausgegeben von der Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH,  
in Zusammenarbeit mit dem DEBRIV Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e. V., Köln

### Gesamtherstellung:

Zeitbild Verlag und Agentur für Kommunikation GmbH, Kaiserdamm 20, 14057 Berlin  
www.zeitbild.de

### Verantwortlich für den Inhalt:

Frank J. Richter

### Grafiken und Illustrationen:

Reinsberg WA GmbH Berlin, www.reinsberg.de

### Druck:

DCM Druck Center Meckenheim  
Printed in Germany

### Bildnachweis:

Shutterstock Images LLC (Titel), Reuters/Jason Lee (S. 6), Teresa Mohr (S. 17), Rainer Weisflog (S. 18, 19),  
RWE (S. 16, 23, 26, 27, 29)

Titelgrafik: Die Grafik zeigt die Bruttostromerzeugung in Deutschland, 2011. Quelle: AG Energiebilanzen, BDEW

## Lösungshinweise zu den Arbeitsblättern

**Arbeitsblatt 1, Aufgabe 1:** Tagebau ermöglicht/schafft Arbeitsplätze, Anwohner brauchen Naherholung, Arbeitsplätze generieren Steuern, Kraftwerk erzeugt Strom, Tagebau bedingt Landverlust (mögliche Beispiele)

**Arbeitsblatt 1, Aufgabe 2:** Flora und Fauna, Technologieforschung, regionaler Wirtschaftskreislauf (mögliche Beispiele)

**Arbeitsblatt 2:** Deutlich höhere Erzeugung von Windstrom am 15.2 lässt Stromerzeugung auf Basis von Steinkohle deutlich, auf Basis von Erdgas leicht zurückgehen. Stromerzeugung in Kernkraftwerken (Uran) an beiden Tagen etwa gleich hoch.

**Arbeitsblatt 4, Aufgabe 1:** EVU: Kraftwerksmodernisierung hilft dem Klima. Landrätin: Ein neues Kraftwerk hilft der heimischen Wirtschaft. BI: Investitionen in fossile Kraftwerke verzögern die Energiewende. Politiker: Unabhängigkeit von Energieimporten macht uns weniger erpressbar.

**Arbeitsblatt 5, Aufgabe 1:** CO<sub>2</sub> wird nach der Verbrennung durch chemische Wäsche aus dem Rauchgas ausgewaschen.

## Lesetipps

### **Braunkohlenbergbau im Rheinland**

Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms 2008.  
ISBN 3884622692, 754 Seiten.

Eine sehr ausführliche, vom Landschaftsverband Rheinland herausgegebene Darstellung der Geschichte des Braunkohlenbergbaus im Rheinland von den Anfängen im Mittelalter bis zur modernen Braunkohlenindustrie.

### **Der Braunkohlentagebau**

Springer Verlag, Berlin 2009, 1. Auflage.  
ISBN 978-3-540-78400-5, 606 Seiten.

Das Fachbuch gibt einen umfassenden Einblick in das Thema Braunkohle. Es betrachtet den Braunkohlentagebau aus der Perspektive der Braunkohle-Förderer und liefert Informationen, welche Aspekte bei der Planung und bei dem Betrieb eines Tagebaus zu beachten sind: Von der Erkundung über die Abbautechnik, das Grundwasser-Management und die Rekultivierung bis zum Bergrecht.

### **Die Zukunft der Energie – Die Antwort der Wissenschaft**

C. H. Beck Verlag, München 2008.  
ISBN 978-3406576393, 333 Seiten.

Ein lesenswertes Buch der Max-Planck-Gesellschaft. Forscher stellen Konzepte vor, mit denen die Wissenschaft unsere Energieversorgung sichern will. Ein Kapitel ist auch der CCS-Technologie gewidmet.

## Linktipps

Bundesverband Braunkohle:  
[www.braunkohle.de](http://www.braunkohle.de)

Fakten und Wissen rund um die Braunkohle:  
[www.braunkohle-wissen.de](http://www.braunkohle-wissen.de)  
[www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)  
[www.kohlenstatistik.de](http://www.kohlenstatistik.de)  
[www.et-energie-online.de/Zukunftsfragen.aspx](http://www.et-energie-online.de/Zukunftsfragen.aspx)

Informationen zum Thema CCS:  
[www.iz-klima.de](http://www.iz-klima.de)  
[www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/co2-speicherung\\_node.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/CO2Speicherung/co2-speicherung_node.html)  
[www.wupperinst.org/de/projekte/themen\\_online/carbon\\_capture\\_and\\_storage/index.html](http://www.wupperinst.org/de/projekte/themen_online/carbon_capture_and_storage/index.html)

Flexibilität von Kohle- und Gaskraftwerken zum Ausgleich von Nachfrage- und Einspeiseschwankungen:  
[www.et-energie-online.de/Portals/0/PDF/zukunftsfragen\\_2012\\_07\\_lambertz.pdf](http://www.et-energie-online.de/Portals/0/PDF/zukunftsfragen_2012_07_lambertz.pdf)

Kritische Positionen zur Braunkohle:  
[www.bund-nrw.de/themen\\_und\\_projekte/braunkohle](http://www.bund-nrw.de/themen_und_projekte/braunkohle)  
[www.lausitzer-braunkohle.de](http://www.lausitzer-braunkohle.de)  
[www.greenpeace.de/themen/energie/fossile\\_energien](http://www.greenpeace.de/themen/energie/fossile_energien)

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung und der EU:  
[www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiekonzept/\\_node.html](http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiekonzept/_node.html)