

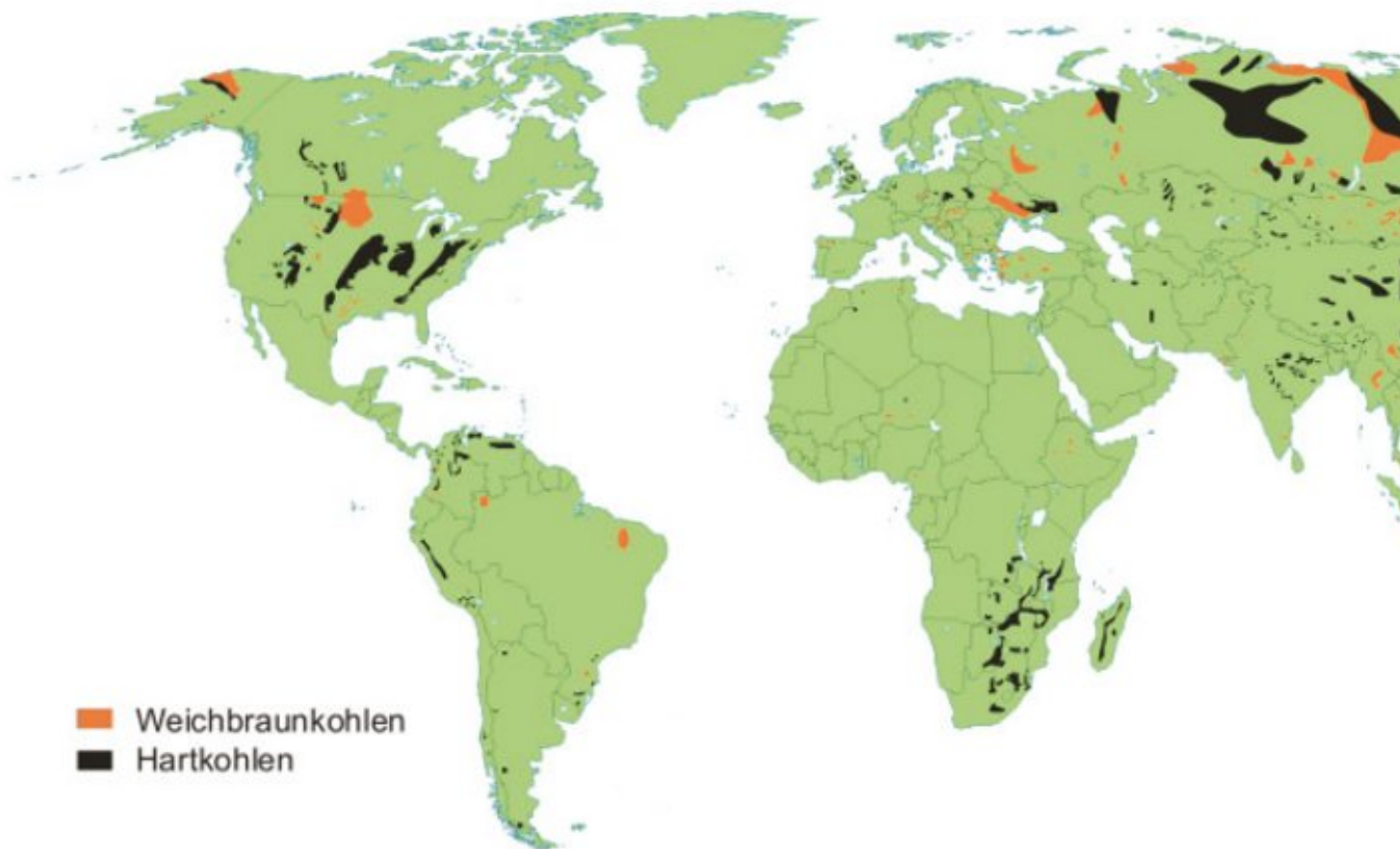
...ist nach Erdöl der weltweit wichtigste Energieträger und wird vor allem in **Grundlastkraftwerken**, welche permanent laufen, zur Stromerzeugung verwendet. Im Folgenden soll näher auf die Entstehung und Verwendung von Kohle sowie auf Vorräte und die Umweltproblematik eingegangen werden.. Abschließend soll eine Pro- und Contra-Tabelle die wichtigsten Vor- und Nachteile der Kohlenutzung zusammenfassen.

Die Entstehung der Kohle

Bezüglich der Entstehungsgeschichte und des Energiegehalts unterteilt sich der Rohstoff Kohle in die (Weich-) Braunkohle und die Hart-/Steinkohle. Beide Kohlearten sind vor Millionen Jahren aus abgestorbener Biomasse entstanden und somit fossile Rückstände abgestorbener Pflanzenmaterials.

Die Entstehungsgeschichte der Kohle beginnt vor vielen Millionen Jahren mit dem allmählichen Versinken von Pflanzenresten in ausgedehnten Sümpfen und Mooren. Hier wurde die abgestorbene Vegetation dem aeroben Zersetzungsprozess entzogen, es entstand Torf. Diese Torfschichten wurden durch verschiedene Prozesse, v.a. durch Plattentektonik, mit immer mehr Sedimenten bedeckt wodurch unter wachsendem Druck und erhöhter Temperatur der Prozess der Inkohlung einsetzte. Das Wasser wurde hierbei aus dem Torf gepresst und es entstand Braunkohle. Je mehr Sedimentschichten sich auf diesem Braunkohleflöz ablagerten umso größer wurde der Druck und umso mehr Wasser wurde aus der Kohle heraus gepresst. Aus Braunkohle mit einem hohem Wassergehalt (von bis zu 50 %, Kohlenstoffgehalt von ca. 65-70 %) entstand dadurch Steinkohle mit niedrigerem Wasser- und somit höherem Kohlenstoffgehalt. Bei noch höherem Druck entsteht letztlich aus der Steinkohle das Anthrazit und Graphit mit dem höchsten Kohlenstoffgehalt von über 97 %. Insgesamt bildet sich aus einer etwa 6 m Torfdicke ein 3 m dickes Braunkohleflöz und daraus ein etwa 1 m dickes Steinkohleflöz [1]. Die Qualität der Kohle bzw. der Kohlenstoffgehalt ist folglich umso höher je tiefer das Kohleflöz in der Erde liegt und je älter es ist.

Die heutigen Steinkohlelagerstätten der Erde entstanden insbesondere während des Karbons vor etwa 280 bis 345 Millionen Jahren. Die Braunkohlelagerstätten sind im Tertiär vor 2,5 bis 65 Millionen Jahren entstanden und somit wesentlich jünger. Die Verteilung der Lagerstätten auf der Welt ist in Abbildung 1 dargestellt.



Verwendung

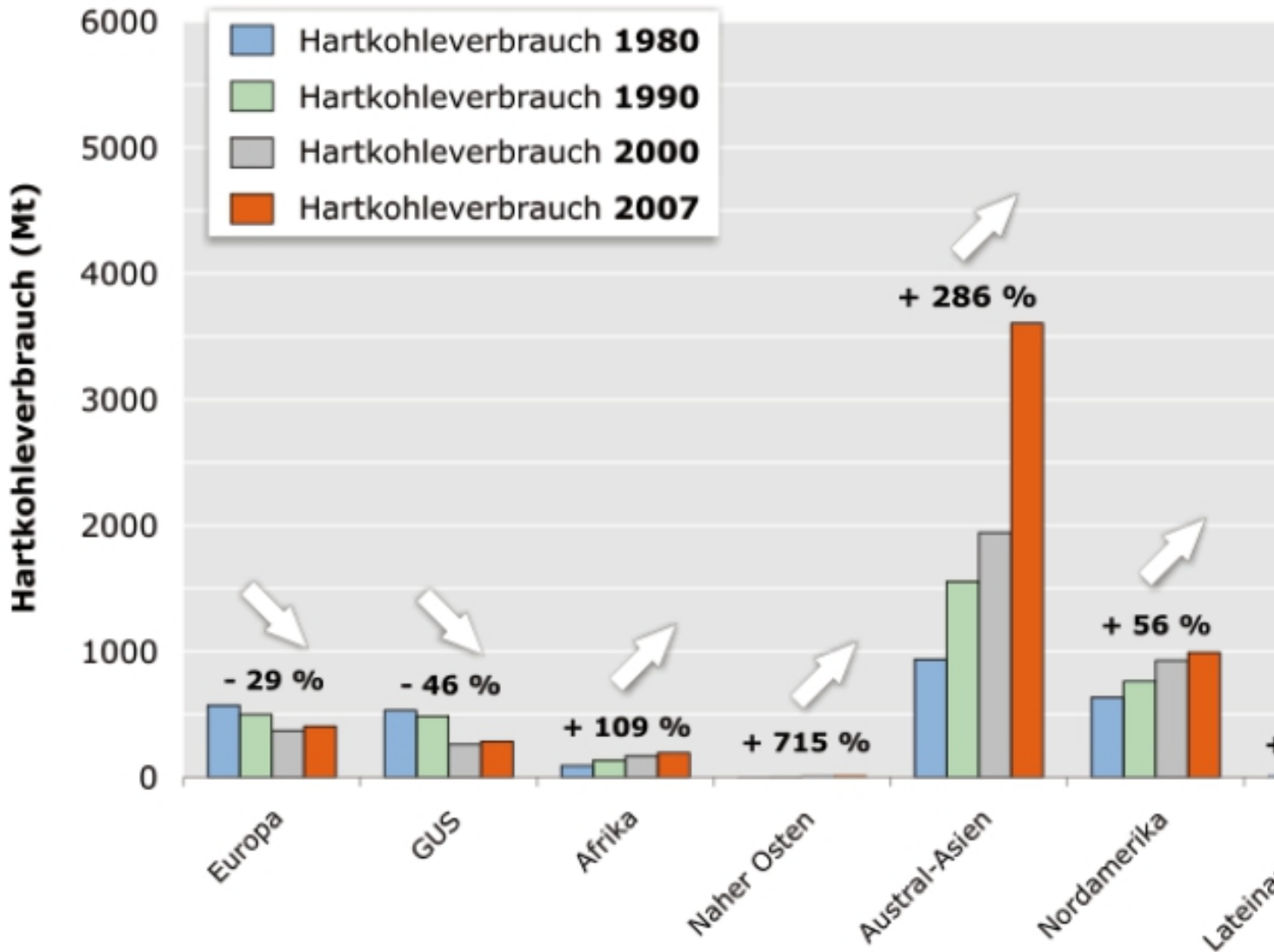
Braun- und Steinkohle werden fast ausschließlich als fester Brennstoff zur Stromerzeugung genutzt. 2009 wurden in Deutschland je 22 % des [Primärenergiebedarfs](#) und 43 % des **Strombedarfs**

aus Braun- bzw. Steinkohle mit leichter abnehmendem Verbrauch gedeckt [2]. Global wurden sogar knapp 30 % des

[Primärenergiebedarfs](#)

aus Kohle bereitgestellt [3], hier sogar mit stark zunehmender Tendenz, welche seit der Jahrtausendwende vor allem durch China bestimmt wird. Berücksichtigt man Verkehr und Wärmeversorgung, so ist Kohle damit nach Erdöl (PEV von 36 %) der zweit wichtigste Energierohstoff der Welt [3]. Für die Stromerzeugung stellt Kohle nicht nur in Deutschland sondern auch global mit einem Anteil von ca. 40 % die wichtigste Energiequelle dar [2, 4]. Im Gegensatz zu dem ausgeglichenen Verhältnis der Braun- und Steinkohlenutzung in Deutschland werden global 93 % Stein- und nur 7 % Braunkohle zur Energieerzeugung verwendet [4]. Neben der Nutzung der Kohle zur Stromerzeugung wird ein nicht unbeträchtlicher Teil als Koks zur Reduktion von Erzen (v.a. Stahlherstellung) in Hochöfen

verwendet, wobei hierfür nur sehr schwefelarme Steinkohle verwendet werden kann. Von den 2007 weltweit geförderten rund 5,52 Gt Steinkohle entfielen etwa 4,77 Gt auf Kraftwerkskohle und immerhin 0,77 Gt (14 %) auf Koks-kohle [5]. Von der ebenfalls fast ausschließlich in Kraftwerken zum Einsatz kommenden Braunkohle wurden 0,98 Gt gefördert [4].

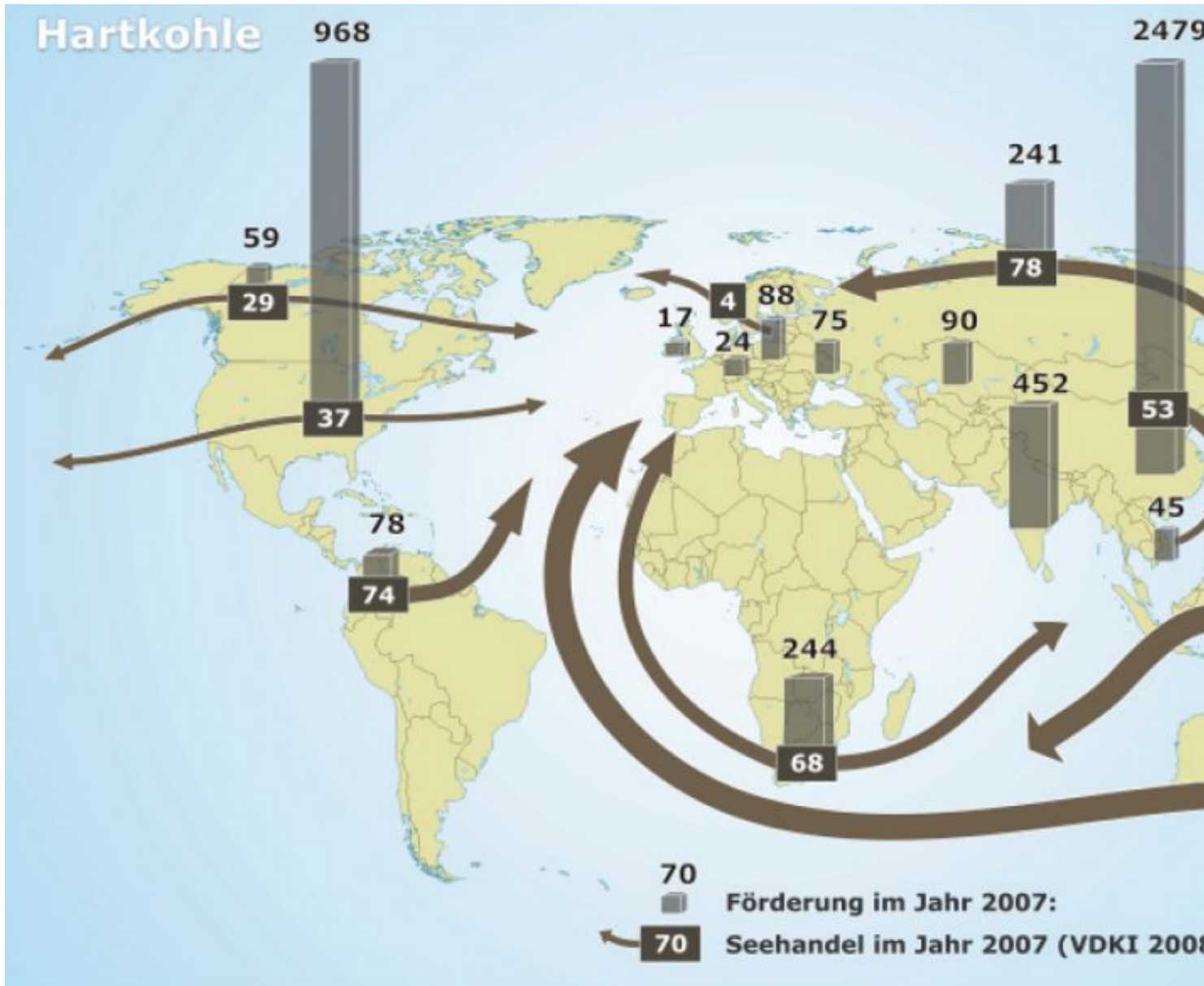


Der Großteil der weltweit geförderten Kohle wird in dem Land verbraucht indem sie gefördert wird, somit sind die drei größten Förderländer zugleich auch die größten Verbraucher. China hat mit 45 % den größten Anteil des globalen **Steinkohlebedarfs**, gefolgt von den USA mit 17 %, Indien mit 9 % und Japan mit 3 % [4]. Deutschland belegte 2007 mit einem Steinkohleverbrauch von 71,3 Mt den elften Rang. Auf die drei EU-Länder Polen, Deutschland und Großbritannien entfielen 2007 knapp 59 % des Steinkohleverbrauchs der 27 EU Staaten [4]. Insgesamt steigt vor allem in der Region Australien-Asien, angeführt durch die

Industrialisierung in China, der Steinkohleverbrauch stark an, während er in Europa nahezu konstant bzw. sogar leicht rückläufig ist. Die Entwicklung des Steinkohleverbrauchs für die einzelnen Kontinente ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die weltweite **Braunkohlenutzung** ist wesentlich geringer als die der Steinkohle und vor allem in Europa weit verbreitet, das 2007 mehr als die Hälfte der globalen Braunkohleförderung verbrauchte [4]. Deutschland ist im Braunkohleverbrauch im Vergleich zu allen Ländern auf der Welt mit 18,4% führend. Während Braunkohle in der Regel ebenfalls dort verbraucht wird, wo sie gefördert wurde, gewinnt der Transport von qualitativ hochwertiger Steinkohle vor allem seit der Jahrtausendwende stark an Bedeutung [6].

In Abbildung 3 sind die **Seehandelswege** für Steinkohle dargestellt. Vor allem Australien gilt als wichtigster Steinkohleexporteur und verschifft seine Kohle nach Europa, China und Japan. Das bedeutet wiederum, dass die Steinkohle die wir in Europa verbrennen vorher um die halbe Welt geschifft wird.



Das Kohlekraftwerk

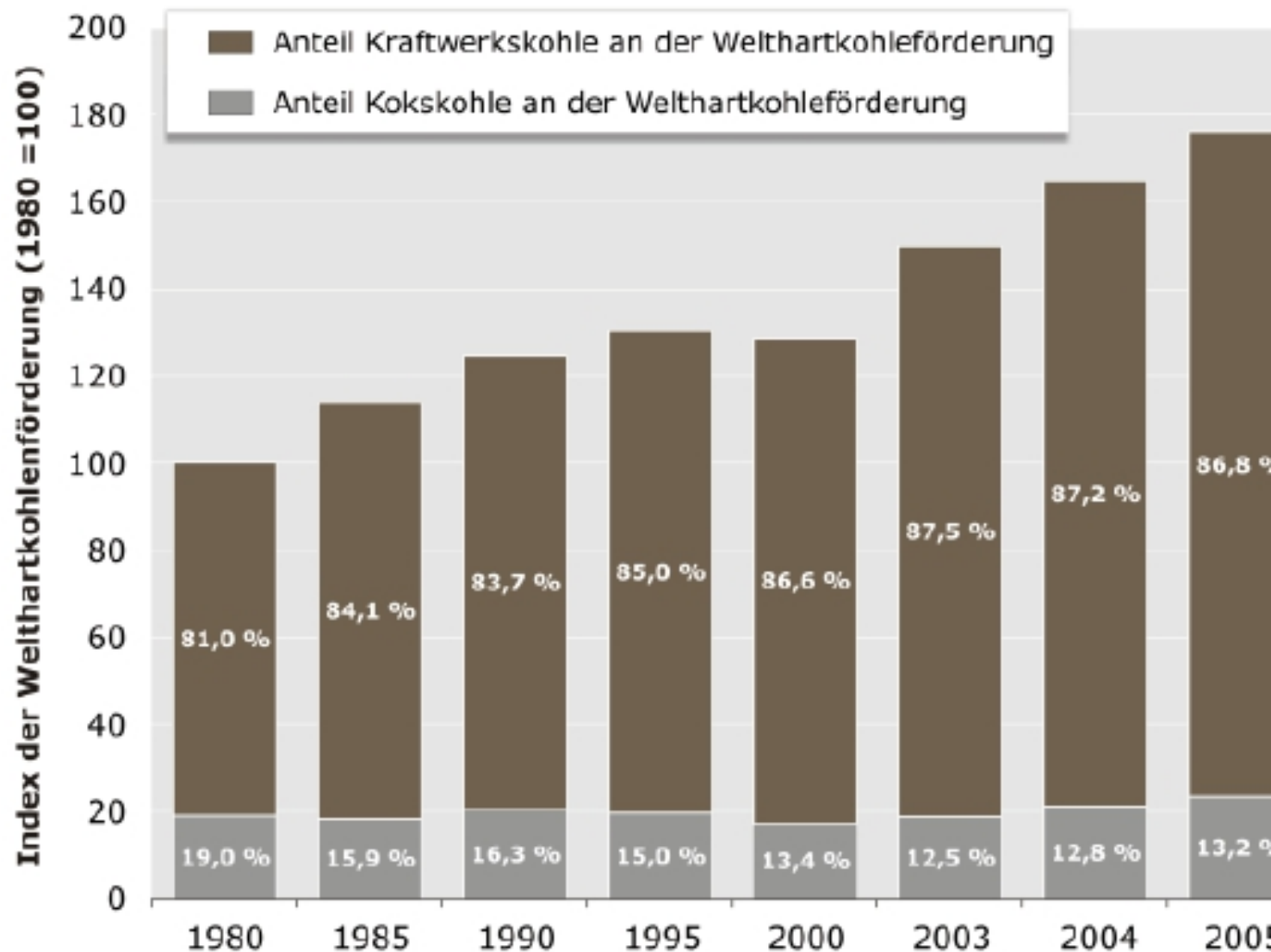
Im Kohlekraftwerk wird durch die Verbrennung von Stein- oder Braunkohle Wärme frei gesetzt, welche Dampfturbinen antreibt und diese wiederum über Generatoren Strom erzeugen. Dabei entstehen Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und andere Gase wie z.B. Schwefeldioxid. Der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken weltweit beträgt durchschnittlich nur 31 %, in Deutschland liegt er bei 38 % und ist vor allem in Ländern wie China mit durchschnittlich 23 % noch sehr gering. [7]. Mit optimierter Anlagentechnik können heute Wirkungsgrade von bis zu 46 % für Steinkohlekraftwerke und bis zu 43 % für Braunkohlekraftwerke erreicht werden [8]. Ein einzelner Kraftwerksblock hat eine typische elektrische Leistung von bis zu 1100 Megawatt. Um 1 kWh elektrische Energie zu erzeugen benötigt man im Mittel 1,2 kg Braunkohle oder 0,3 kg Steinkohle, natürlich abhängig vom Wirkungsgrad des Kraftwerkes [9]. Anders ausgedrückt: Um ein Kraftwerk mit einer Leistung von 1000 MW zu betreiben benötigt man 1200 Tonnen Braunkohle oder 300 Tonnen Steinkohle. Berücksichtigt werden müssen zudem die

Energieaufwendungen des zugehörigen Tagebaubetriebs (Schaufelradbagger, Bandförderanlagen, Grundwasserhaltung) und des Transports, die v.a. bei Braunkohlekraftwerken ins Gewicht fallen.

Kohleförderung

Steinkohle wird im **Tage- und Tiefbau** gewonnen, Braunkohle hingegen fast ausschließlich im Tagebau. Mehr als die Hälfte der weltweit geförderten Steinkohle stammt trotz des Kostenvorteils der Tagesbaue aus der Tiefbauförderung. China fördert seine Steinkohle sogar zu über 95 % unter Tage aus Kohlebergwerken [10]. Die Steinkohleförderung erfolgt größtenteils in Tiefen oberhalb von 500 m. Alte Kohlebergwerke wie die im deutschen Ruhrgebiet reichen jedoch mittlerweile tiefer als 1100 m. Im Braunkohletagebau werden dabei selten Abbautiefen von 200 m überschritten. Eine Ausnahme bildet auch hier Deutschland, wo Braunkohle bis in Tiefen von 400 m rentabel gefördert wird.

Die drei größten **Steinkohle-Förderländer** waren im Jahr 2007 China mit einem Anteil von 44,9 %, die USA mit 17,5 % und Indien mit 8,2 % [4]. Die Fördermengen der einzelnen Regionen sind in Abbildung 3 dargestellt. Das bedeutendste europäische Steinkohle-Förderland 2007 war Polen mit rund 88 Mt (weltweit auf Rang neun), gefolgt von Deutschland mit 24,2 Mt [4]. Die jährliche Förderung von Steinkohle hat sich in den letzten 30 Jahren verdoppelt. Insbesondere seit dem Jahr 2000 betragen die jährlichen Zuwachsraten der globalen Steinkohleförderung zwischen 5-9 % [4] und liegen damit erheblich über dem sonst üblichen Zehnjahrestrend von durchschnittlich 2,6 % [11]. Auffällig ist dabei die Vervierfachung der Förderung in der Region Australien-Asien in den letzten dreißig Jahren, vor allem verursacht durch den Förderanstieg in China, Indien, Australien und Indonesien [4]. Im Gegensatz zum weltweiten Trend ist in Europa die Steinkohleförderung in den letzten dreißig Jahren stark rückläufig, der Verbrauch hingegen relativ konstant. Der Anstieg der Steinkohleförderung ist in Abbildung 4 dargestellt.



Kohlevorräte:

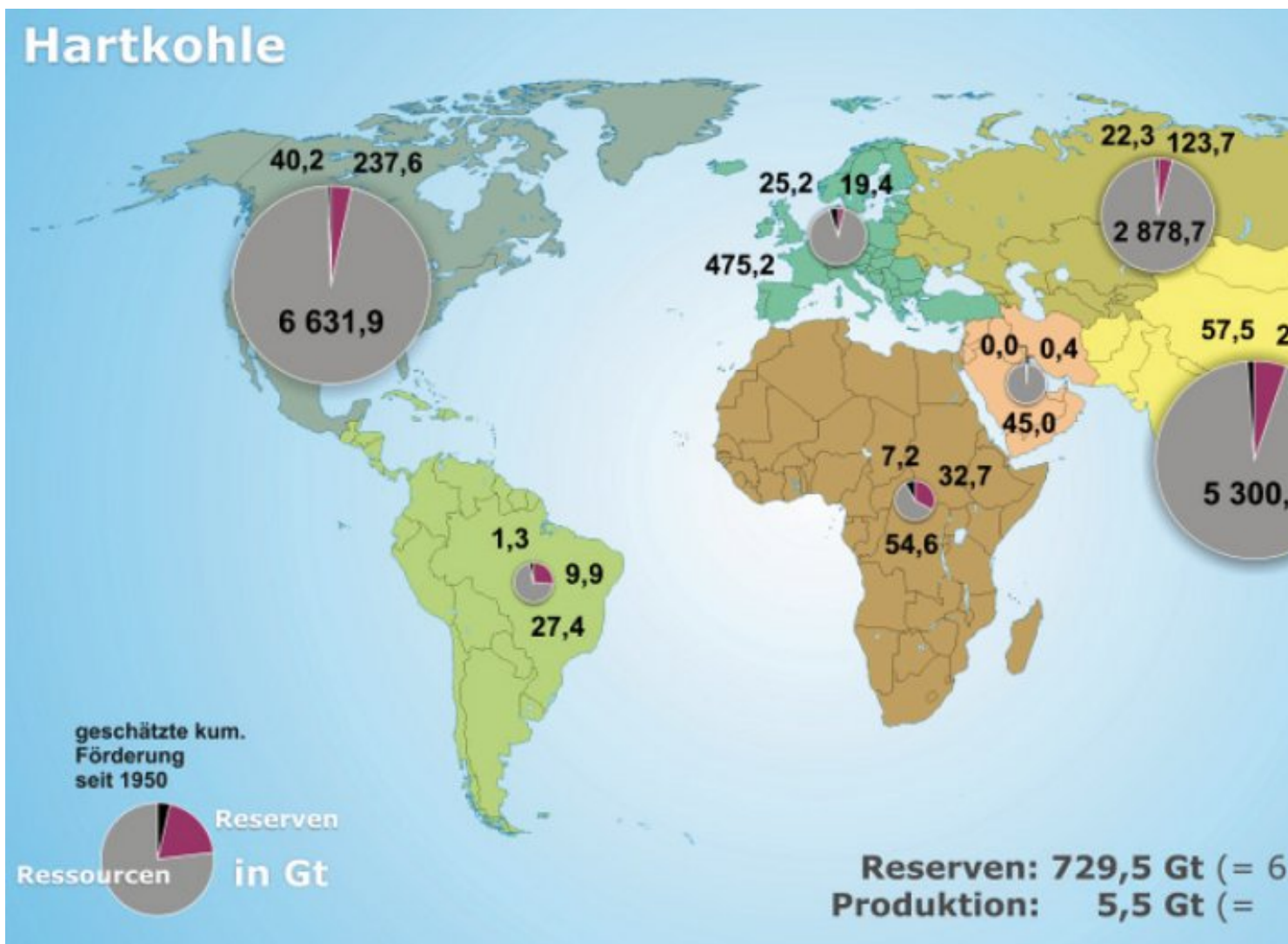
Rohstoffvorräte werden unter anderem von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen ([BGR](#)) abgeschätzt, so auch für Braun- und Steinkohle. Das verbleibende **Potenzial an Kohle**

(d.h. bisheriger Verbrauch, Reserven und Ressourcen) wird auf rund 20.749 Gt geschätzt, wovon rund 79 % auf Steinkohle und der Rest auf Braunkohle entfällt [4]. Braun- und Steinkohle zusammen weisen von allen nicht-erneuerbaren Energierohstoffen das größte [Ressourcen](#)

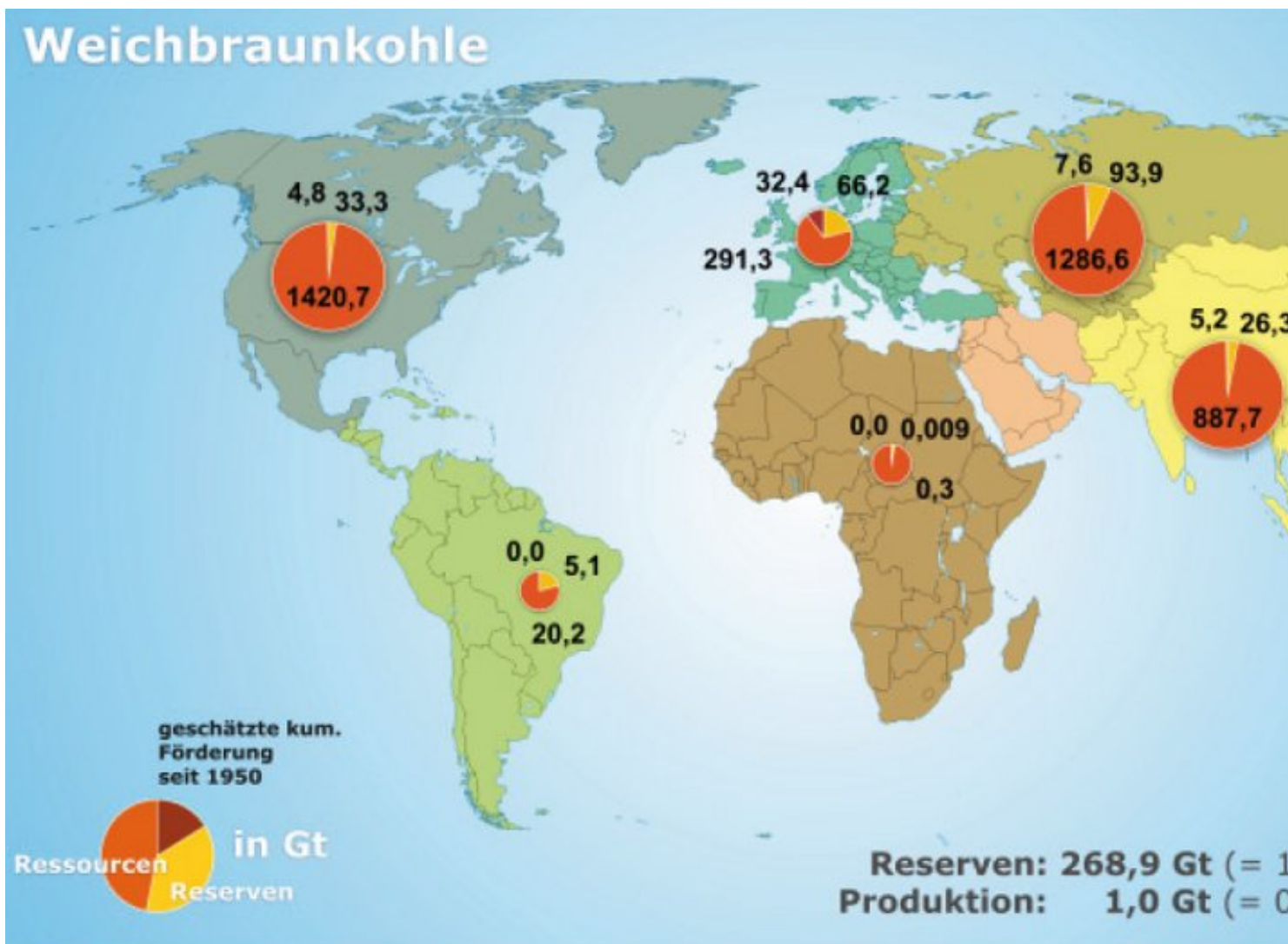
potential auf: rund 55 % an den Energierohstoffreserven und rund 76 % an den Ressourcen. Von den geschätzten Vorkommen sind momentan jedoch nur 4,4 % der Steinkohle und nur 6,2 % der Braunkohle als Reserven eingestuft. Der Rest sind Ressourcen die natürlich zu Reserven werden können (z.B. durch Preisanstieg) [4].

Aus jährlichem Kohleverbrauch und bekannten Reserven lässt sich die statische **Reichweite der Kohle** [reserven](#)

bestimmen. Für Steinkohle beträgt diese ca. 130 Jahre und für Braunkohle 270 Jahre und ist somit wesentlich größer als die von Erdgas und Erdöl (jeweils unter 50 Jahre). Berücksichtigt man zudem die Wachstumsrate des Steinkohleverbrauchs, die typischerweise sehr konservativ mit 2,5% [11] angenommen wird, erhält man die so genannte dynamische Reichweite der Steinkohlereserven, die geringer als 60 Jahre ist. Wohl gemerkt sagen diese Reichweiten jedoch wenig aus, da bei steigendem Bedarf und Kohlepreis Ressourcen zu Reserven werden und somit die Reichweite erhöhen. Kritisch wird es erst, wenn es Probleme gibt den Bedarf mit ausreichender preiswerter bzw. erschwinglicher Kohle zu decken. Dieses Problem ist jedoch bei Erdöl und Erdgas weitaus präsenter.



Die **Verteilung der Kohlevorkommen** auf der Erde ist im Vergleich zu Erdöl und Ergas recht gleichmäßig. Die genaue Verteilung der Reserven und Ressourcen ist für Steinkohle in Abbildung 5 und für Braunkohle in Abbildung 6 dargestellt. Nach Ländern sortiert lagern die bedeutendsten Kohlevorkommen in den USA (41%) gefolgt von China (31,6%) und Russland (16,7%) [4]. Die geringen Steinkohlevorkommen in Deutschland gelten eher als Ressourcen, denn ohne die Subventionen wären sie nicht rentabel förderbar. Die größten Steinkohleressourcen, jene also, die noch nicht wirtschaftlich förderbar sind, lagern überwiegend in gering erschlossenen Gebieten Alaskas bzw. in noch unerschlossenen Gebieten Sibiriens. Die europäischen Braunkohlevorkommen befinden sich vor allem in Polen und Deutschland, die zusammen knapp 84 % der europäischen Braunkohlelagerstätten beherbergen. Neue Kohlelagerstätten werden vor allem in den noch nicht ausgiebig erkundeten Kontinenten Afrika und Südamerika erhofft [4].



Umwelteinflüsse

Die Nutzung jeglicher fossiler Energieträger ist mit Eingriffen in die Natur verbunden, sowohl beim Abbau der Rohstoffe, bei der Energienutzung als auch bei der Entsorgung der Abfallprodukte.

Das Hauptargument gegen die Nutzung von Kohle ist aus ökologischer Sicht der **hohe Treibhausgasausstoß**

der mit der Verbrennung von Kohle einhergeht und den Klimawandel vorantreibt. Im Vergleich zu anderen fossilen Energieträgern wird bei der Verbrennung von Kohle die größte Menge des Treibhausgases CO

²
pro nutzbarem Energiegehalt freigesetzt. Aufgrund ihres niedrigeren Wirkungsgrads und anderer Faktoren stoßen (deutsche) Braunkohlekraftwerke mit durchschnittlich 1081 g pro erzeugter kWh mehr CO

²
aus als Steinkohlekraftwerke mit 812 g CO

²
/kWh [8].

Neben diesem sehr häufig genannten Argument sind mit der Kohlenutzung jedoch noch einige andere **gravierende Eingriffe in die Umwelt** verbunden. So wird Braunkohle und auch vorwiegend Steinkohle (außer in Deutschland) im Tagebau gewonnen. Die bis zu 500 m tiefen Gruben weisen mit fortschreitender Förderung eine immer größere Fläche auf. In Deutschland wurden für Braunkohletagebaue 1.600 km² Ökosystemfläche dauerhaft zerstört. Berlin weist im Vergleich eine Fläche von 892 km² auf [13]. Um Kohleflöze möglichst vollständig auszubeuten, müssen teilweise ganze Dörfer und Städte umgesiedelt werden. Zwischen 1948 und 1990 betraf dies allein in Deutschland 30.000 Menschen [14]. Hieraus ergeben sich häufig Konflikte mit der Bevölkerung, v.a. in Ländern in denen Entschädigung für Zwangsumsiedelungen gänzlich fehlen [15]. Die Bergbaugesellschaften in Deutschland sind dazu verpflichtet Tagebaue nach Ende ihrer Nutzung zu rekultivieren, d.h. naturnahe Lebensräume für Flora und Fauna wiederherzustellen. Dieser Prozess dauert jedoch Jahrzehnte bis Jahrhunderte, wobei niemals der ursprüngliche Zustand des Ökosystems wieder erreicht werden kann. Meist werden die Tagebaue hierzu geflutet, die Böschung stabilisiert und mit einer mehrere Meter dicken Erdschicht für folgendes Pflanzenwachstum bedeckt. Außerhalb Deutschlands ist die Rekultivierung ehemaliger Tagebaue zudem noch nicht weit verbreitet.

Ein weiterer gravierender Umwelteingriff ist die **Absenkung des Grundwasserspiegels** auf ein Niveau unterhalb der tiefsten Fördersohle des Tagebaus um die Kohle ungehindert fördern zu können. Durch diesen Prozess können obere Bodenschichten und somit auch das Ökosystem der Umgebung stark verändert werden. Nach der Stilllegung eines Tagebaus erhöht sich

wiederum der Grundwasserspiegel in der Umgebung und kann an umliegenden Bauwerken große Schäden verursachen.

Der durch die **Kohleförderung** im Tagebau entstehende **Feinstaub** ist nicht nur gefährlich für die Arbeiter, sondern führt zur Verunreinigungen der Umgebung. Vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo diesem Problem nicht nachgegangen wird, hat dies zum Teil dramatische Folgen für die Landwirtschaft: Schwermetalle und Partikel beeinträchtigen den Anbau von Nahrungsmitteln.

In Kohlebergwerken, also unter Tage, sind die **Sicherheitsstandards**, vor allem in Schwellen- und Entwicklungsländern, häufig katastrophal und auch hier ist die Feinstaubbelastung sehr hoch (v.a. bei Sprengungen) [15]. So sterben allein in China jährlich mehrere

[Tausende](#)

Kumpel durch Unfälle in Kohleminen.



Zusammenfassung Kohle – Pro und Contra [hier](#)

Pro Contra

1. **Bezüglich** aller fossilen Brennstoffvorkommen bilden Kohlevorkommen den g
2. **Preiswerte**, permanente Stromversorgung durch Kohlekraftwerke
3. **Kohlevorkommen** sind relativ gleichmäßig über die Kontinente verteilt - geri

1. **Kohle ist ein endlicher Rohstoff**
2. **Kohle hat die höchsten Treibhausgasemissionen aller fossilen Brennstoffe**
3. **Kohlekraftwerke sind nur schlecht regelbar**
4. **Kohleförderung stellt einen sehr starker Eingriff in die Umwelt durch**
5. **Feinstaubbelastung und Schadstoffausstoß**
6. **Für Deutschland: steigende Importabhängigkeit**

Quellen:

[1] W. & W. E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. Eine Einführung in die Wissenschaft von den mineralischen Bodenschätzen. – 504 S.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)

[2] AGEB 2009 ([Link](#))

[3] BP Statistical Review of World Energy 2010 ([Link](#))

[4] BGR Energierohstoffe 2009 ([Link](#))

[5] IEA Coal Information 2008 ([Link](#))

[6] VDKI (Verein der Kohlenimporteure). Jahresbericht 2008 – Fakten und Trends 2007/2008 (Link: [hier](#) und [hier](#))

[7] H. D. Schilling: Wie haben sich die Wirkungsgrade der Kohlekraftwerke entwickelt und was ist künftig zu erwarten?, 2004 ([Link](#))

[8] Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG): Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990 – 2020, Bad Honnef, 2005

[9] Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e.V.

[10] Die Rolle Chinas auf dem Weltsteinkohlenmarkt, Commodity Top News No. 27., Hannover ([Link](#))

[11] IEA Coal Information 2006 ([Link](#))

[12] FÖS (Greenpeace): Staatliche Förderungen der Stein- und Braunkohle im Zeitraum 1950-2008, 2010 ([Link](#))

[13] <http://de.wikipedia.org/wiki/Berlin> (Zugriff 05.01.2010)

[14] Pädagogische Hochschule Heidelberg: Flächenbeanspruchung durch Braunkohletagebau ([Link](#))

[15] WWF: Der Fluch der Kohle – oder: Warum die Investitionen in Steinkohlekraftwerke durch

die Bündner Repower Tod und Zerstörung auf der anderen Seite des Erdballs mit sich bringen, 2010 ([Link](#))

[16] BUNDhintergrund: Radioaktivität aus Kohlekraftwerken , 2008 ([Link](#))

Beitrag erstellt von Christoph Schünemann (Januar 2011)