

Zeitschrift: Minaria Helvetica : Zeitschrift der Schweizerischen Gesellschaft für historische Bergbauforschung = bulletin de la Société suisse des mines = bollettino della Società svizzera di storia delle miniere

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Historische Bergbauforschung

Band: - (2005)

Heft: 25b

Artikel: Wissenswertes zum Energierohstoff Kohle : Nomenklatur, Vorkommen, Abbau und Verwendung

Autor: Kündig, Rainer

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1089835>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wissenswertes zum Energierohstoff Kohle

Nomenklatur, Vorkommen, Abbau und Verwendung

Einen wichtigen Anteil unter den «fossilen Energierohstoffen», wozu auch Erdöl und Erdgas sowie Teer (Schweröl) und Ölschiefer gehören, bildet die Gruppe der Kohlen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatte die Kohle den Gipfelpunkt ihrer Bedeutung als Energierohstoff erreicht; seither haben Öl und Gas den Anteil der Kohle an der Weltenergieversorgung immer mehr zurückgedrängt. An der Primärenergieversorgung der Welt hat Kohle heute einen Anteil von 25% (Erdöl 44%, Erdgas 26%, Kernenergie 2,4%, Wasserkraft 2,5%, andere Energien < 0,2%). Der Energieverbrauch wächst heute weltweit um rund 2% jährlich, fast ausschliesslich in den Entwicklungs- und Schwellenländern (vor allem in China, Indien und Südostasien). Dieses Wachstum kann nicht vollständig durch andere Energieträger aufgefangen werden, weshalb die Kohlenförderung in China massiv ansteigt (von 2001 bis 2002 um 29%). Kohle wird heute fast ausschliesslich zur Erzeugung von elektrischer Energie und zur Herstellung von Koks für die Metallverhüttung verwendet, untergeordnet für industrielle Prozesse und zur Raumheizung. Die heute bekannten und wirtschaftlich gewinnbaren Reserven betragen rund 1000 Milliarden Tonnen SKE (Steinkohleeinheiten*). Davon sind mehr



Abb. 1: Braunkohle-Abbau im Ruhrgebiet (Tagbau Hambach bei Köln). Foto: R. Kündig

als 50% Steinkohle und Anthrazit, der Rest Braunkohlen. Die Weltkohlenproduktion lag 2002 bei 4800 Megatonnen, woraus sich für Steinkohlen und Braunkohlen eine statische Lebensdauer der Vorräte von je rund 200 Jahren errechnen lässt (Abb. 2). Riesige Energievorräte würden verfügbar, wenn nur ein Teil der heute noch nicht gewinnbaren Ressourcen durch verbesserte Bergbautechnologien oder durch In-situ-Vergasung nutzbar gemacht werden könnten. Mehr als die Hälfte der Kohlenreserven liegen in den USA, Russland und China. Grosse Steinkohlenreserven haben ferner Indien, Südafrika, Australien und Kasachstan, während bedeutende Braunkohlenvorräte in den USA, Russland, China und Australien bekannt sind. Der weltweit grösste Produzent und auch Verbraucher von Steinkohlen ist China (fast 30% der Welt), gefolgt von den USA, Indien und Australien. Die grössten Braunkohlenproduzenten sind Deutschland, USA, Griechenland und Australien. Nur von historischem Interesse und in weltwirtschaftlicher Hinsicht nie von Bedeutung waren die schweizerischen Kohlen, obgleich sie natürlich in Mangelzeiten von sehr grosser nationaler Bedeutung waren (siehe dazu Artikel Seite 37).

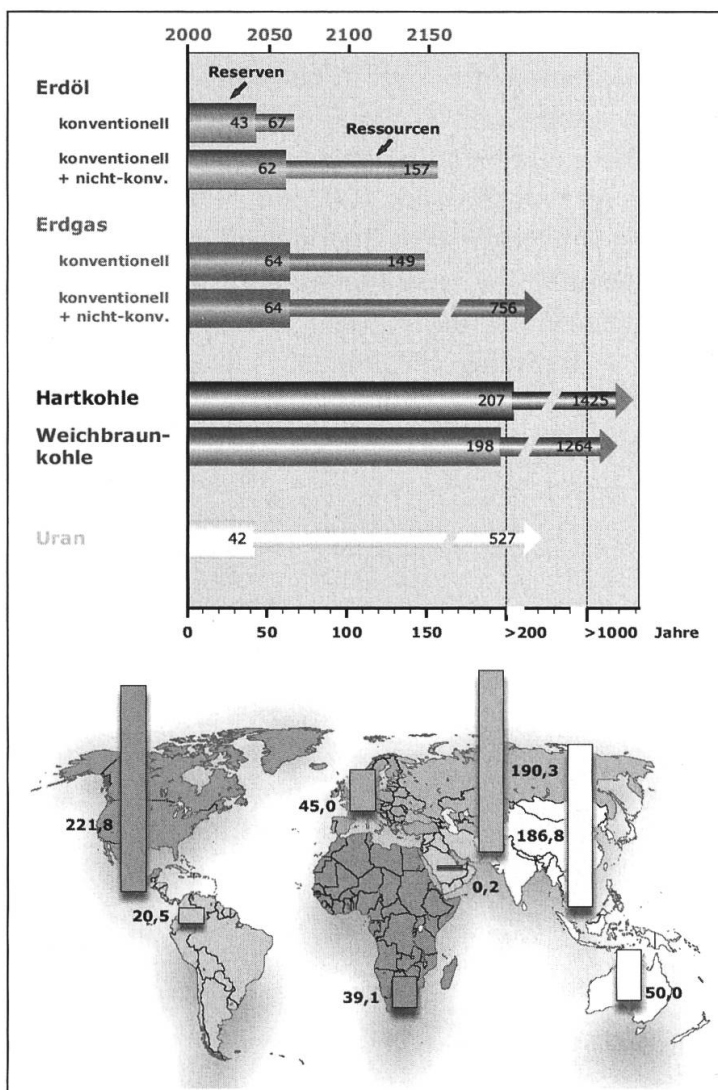


Abb. 2: Kohlenreserven

Oben: Reserven und Ressourcen von Energierohstoffen.

Reserven: Mengen eines Rohstoffs, die mit grosser Genauigkeit erfasst sind und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden können. *Ressourcen:* Mengen eines Rohstoffs, die entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich/technisch nutzbar sind sowie Mengen, die auf Basis geologischer Indikatoren noch erwartet und mittels Exploration nachgewiesen werden können.

Unten: Weltweite Verteilung der Hartkohlenreserven; Angaben in Gigatonnen.

Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft 28; Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002, Hannover 2003.

* Eine Steinkohleneinheit (SKE) entspricht einer Tonne guter Steinkohle mit einem Energieinhalt von 29,3 Gigajoule, Braunkohlen können zu etwa 0,3 SKE angesetzt werden.

Kohle – Definitionen Bezeichnungen

Als «Kohle» wird eine Gruppe von kohlenstoffreichen, festen Brennstoffen bezeichnet. Im weiteren Sinne sind es die brennbaren Überreste von Pflanzen und anderen organischen Substanzen, die in geologischen Zeiträumen durch Inkohlung (siehe Seite 9) in braune bis schwarze Sedimentgesteine verwandelt werden (sogenannte Mineralkohle). Kohle besteht aus *Maceralen* (dem organischen Äquivalent von Mineralen), *Mineralen* und *Wasser*. Sie werden typisiert in humische Kohlen (zusammengesetzt aus gemischten pflanzlichen Resten) und sapropelische Kohlen (pflanzliche Sporen und Algen und Faulschlämme).

Torf, die Ausgangssubstanz vieler Kohlen, wird streng genommen noch nicht zu den Kohlen gezählt, stellt aber gleichwohl für manche Länder einen wichtigen Energierohstoff dar. Eingeteilt werden die Kohlen entsprechend ihres Inkohlungsgrades, Wassergehaltes und der Zusammensetzung ihrer Festbestandteile in *Hartkohlen* (*Hartbraunkohle*, *Steinkohle*, *Anthrazit*) und *Weichbraunkohle* («*Braunkohle*», *Lignite*). Hartkohlen überwiegen die Weichbraunkohlen sowohl in den weltweit bekannten abbauwürdigen Reserven und im Abbau. Man unterscheidet die Braunkohlen weiter nach ihrem Wassergehalt und der damit in Zusammenhang stehenden Festigkeit und Farbe, die Steinkohlen nach der Menge der flüchtigen Bestandteile (die bei der Erhitzung unter Luftabschluss entweichenden, brennbaren Substanzen). Wichtig ist ferner die Beschaffenheit der bei der Verbrennung verbleibenden Anteile (Verkokungsrückstände) und der Anteil an unverbrennbarem Material (Aschengehalt).

In der Schweiz wird vereinfachend von Braunkohlen im Sinne von tertiären Braunkohlen (Molassekohlen) gesprochen, wogegen die vortertiären, vor allem aber die paläozoischen Kohlen, als Steinkohlen bezeichnet werden. Dies, obwohl eigentlich die Kohlen klar nach geologischem Alter, Vorkommen, Aussehen und technischer Verwendung klassifiziert werden können.

In aufsteigender Reihenfolge «Inkohlungsreihe» spricht man auch von der *Reife* oder dem *Rang* der Kohle: (*Torf*), *Weichbraunkohle*, *Mattbraunkohle*, *Glanzbraunkohle*, *Flammkohle*, *Gasflammkohle*, *Gaskohle*, *Fettkohle*, *Esskohle*, *Magerkohle*, *Anthrazit* und *Metaanthrazit* (Abb. 3). In dieser Unterscheidung spielen zusätzlich auch makroskopische Merkmale und/oder Angaben zur traditionellen Verwendung eine Rolle, was im deutschen Sprachraum zu einer Vielfalt von Kohlearten geführt hat. Entsprechend ihrer Verwendung wird die Hartkohle in sogenannte *Kessel-* und *Kokskohle* eingeteilt. Kesselkohle wird hauptsächlich in Kraftwerken zur Stromerzeugung genutzt. Kokskohle wird von der Stahlindustrie, in Zementfabriken und in der Chemie benötigt.

Der Ursprung der Braunkohle geht auf die Pflanzenwelt und die vor Jahrmillionen entstandenen Torfmoore zurück, die im Lauf der Erdgeschichte mehrfach von Meeres- oder Flussablagerungen (Ton, Sand, Kies) überdeckt wurden. Kohle tritt daher immer in Gestalt von Flözen auf. Dünne Flöze, die unter der Abbauwürdigkeitsgrenze liegen, nennt man Schmitze. Nesterförmiges Auftreten von Kohle deutet auf zusammengeschwemmtes (allochthones) Holz, respektive Torfmaterial, hin. Zwei Flöztypen

Kohlearten und Torf			Gesamt Wasser- gehalt (%)	Energie- inhalt af* (kJ/kg)	Flüchtige Bestand- teile (%) waf**	Vitrinit- Reflexion in Öl (%)
UN-ECE	USA (ASTM)	Deutschland (DIN)				
Peat	Peat	Torf	75	6700		
Ortho- Lignite	Lignite	WEICHBRAUNKOHLE	35	16500		0,3
Meta- Lignite	Sub- bituminous Coal	Mattbraunkohle	25	19000		0,45
Subbitum. Coal		Glanzbraunkohle				
Bituminous Coal	High Volatile Bituminous Coal	Flammkohle	10	25000	45	0,65
		Gasflammkohle				
		Gaskohle				
		Fettkohle				
		Eßkohle				
Anthracite	Semi- Anthracite	Magerkohle	3	36000	10	2,2
	Anthracite	Anthrazit				

UN-ECE: Ortho-Lignite bis 15000 kJ/kg
 Meta-Lignite bis 20000 kJ/kg
 Subbituminous Coal bis 24000 kJ/kg
 Bituminous Coal bis zu einer mittleren Vitrinitreflexion von 2 %

USA: Lignite bis 19300 kJ/kg

* af = aschefrei, waf** = wasser-aschenfrei

Abb. 3: Die verschiedenen Kohlearten und deren Zuordnung und Bezeichnung nach der deutschen Klassifikation sowie nach der amerikanischen ASTM-Norm und dem neuen internationalen System der UN-ECE ist mit den entsprechenden Grenzparametern dargestellt. Quelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Heft 28; Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 2002, Hannover 2003.

lassen sich unterscheiden: a) *eingelagerte Flöze*, die konkordant zwischen Schichten gleichen Alters liegen und in gleichartiger Ausbildung regelmässig, oft über sehr weite Gebiete entwickelt sind und b) *Grundflöze*, welche die Basis einer transgressiven, meist diskordant auflagernden Schichtfolge darstellen. Deren Mächtigkeit kann auf kurze Entfernung sehr veränderlich sein. Neben solchen transgressiven Bildungen an Meeresküsten (z.B. Brackwasserkohlen) können Flöze auch bei Verkarstung oder bei lokalen, tektonischen Dehnungs-, respektive Senkungsfeldern entstehen.

In der Regel sind Mächtigkeiten von wenigen Metern bei Steinkohlen und wenigen Zehnern von Metern bei Braunkohlen üblich. Gerade bei Braunkohlen kommen

Braunkohlearten

Hintergrundwissen

a) Weichbraunkohlen, mit dem Messer schneidbar

Erdige Weichbraunkohlen. In mächtigen Flözen auftretend, weich, ohne Klüftung, wird als erdige oder bröckelige Masse abgebaut. Schichtweise stehen in ihr aufrechte Baumstümpfe oder liegen in ihr Stämme von braunem Holz. Beim Lagern an der Luft zerbröckelt sie rasch infolge Austrocknens. Die Lager liegen stets in unverfestigten, flach liegenden Sedimenten und in geringer Tiefe.

Stückige Weichbraunkohle bricht nach der Schichtung in grossen bis sehr grossen Stücken. Klüftung fehlt oder ist wenig deutlich erkennbar. Häufig Einlagerung von braunem Holz und Baumstümpfen sowie von Brandhorizonten. Die Kohle wird an der Luft rasch rissig und zerfällt mit Ausnahme des faserigen Holzes schliesslich zu Gries und dunkelt dabei nach. Kommt in flach lagernden oder schwach gefalteten Lockergesteinen bis in wenige hundert Meter Tiefe vor.

b) Hartbraunkohlen, mit dem Messer nicht schneidbar.

Maltbraunkohle hat schwarzbraune Farbe, ist dicht und matt im Querbruch. Hölzer zeigen beginnende Vergelung; sie sind als leicht glänzende Streifen oder als schwarzes dichtes Holz eingelagert. Bricht kleinstückig bis würfelig nach Klüftung und Schichtung. Wird beim Trocknen etwas rissig, ohne aber gänzlich zu zerfallen. Splittert, wenn man mit dem Messer zu schneiden versucht.

Glanzbraunkohle (Pechkohle) ist eine schwarze, harte, völlig vergelte, makroskopisch den Steinkohlen nahestehende Kohle mit muscheligen und glänzendem Querbruch, stark geklüftet. Sie kann beim Lagern etwas rissig werden, zerfällt aber nicht. Sie liegt in wenig verfestigtem Gestein bis in grosse Tiefen und meist in gefalteten Schichten.

Steinkohlearten

Diese treten nur in verfestigtem Gestein auf; Nebengesteine und Kohlen sind deutlich geklüftet, mit zunehmendem Rang der Kohlen wird der Kluftabstand kleiner. Sie sind makroskopisch voneinander schwer unterscheidbar. Der Glanz nimmt mit der Reife zu, die höchsten Stufen sind härter. Für die Unterteilung massgebend sind der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und das Verhalten bei der Verkokung.

Flammkohle und *Gasflammkohle* sind immer gut geschichtet und weisen dünne, mehr oder weniger glänzende Streifen auf. Oft ist auf den Schichtflächen in kleinen Bruchstücken Fusain (Brandhorizont) sichtbar. Deutlich geklüftet und in grossen Stücken anfallend. Das Nebengestein verwittert leicht. Die Kohle brennt mit langer, leuchtender Flamme. Der Verkokungsrückstand ist pulverig, nicht verfestigt. Diese Kohlen enthalten in der asche- und wasserfreien Substanz (awf) 35-43% flüchtige Bestandteile.

Gaskohle ist etwas dünnstreifiger und im Querbruch etwas glänzender als Flammkohle. Der Verkokungsrückstand ist zusammengesintert und stark gebläht; die Kohle brennt mit langer, leuchtender Flamme. 30-35% flüchtige Bestandteile.

Fett-, Back- oder Kokskohle ist mürber als Gaskohle, weil stärker geklüftet (Kluftabstand meist kleiner als 1cm). Schmilzt beim Erhitzen im geschlossenen Tiegel und gibt einen festen, silbergrauen, niedrigen Kokskuchen. 20-30% flüchtige Bestandteile. Die Fettkohlen sind wegen der direkten Verkokbarkeit die wertvollsten Steinkohlen.

Mager- und Esskohlen sind stärker glänzend und härter als die vorhergehenden; matte und glänzende Streifen sind nicht mehr unterscheidbar. Die Nebengesteine stärker verfestigt, langsam verwitternd; Sandstein ist bereits als Bausandstein verwendbar. Der Verkokungsrückstand ist gesintert. Diese Kohle brennt mit kurzer Flamme. 10-20% flüchtige Bestandteile.

Anthrazit ist stark glänzend, hart, in völlig lithifiziertem Gestein eingelagert. Kurze, nicht rauchende Flamme, der Verkokungsrückstand pulverig. 4-10% flüchtige Bestandteile.

Meta-Anthrazit hat weniger als 4% flüchtige Bestandteile (awf) und bildet den Übergang zu Semigraphit und Graphit (reiner Kohlenstoff).

aber auch Flöze von über 100 Meter Mächtigkeit vor (in Australien ist mit maximal 320 m Kohle das mächtigste Flöz der Erde bekannt). Die durchschnittlich geringere Mächtigkeit von Steinkohlenflözen beruht darauf, dass mit zunehmender Reifung eine Verdichtung, respektive Setzung der Kohle eintritt. Die Abnahme der Mächtigkeit von Torf zu Braunkohle zu Steinkohle steht in einem Verhältnis von etwa 6:3:1.

Je tiefer die Kohle liegt, desto weniger Sauerstoff und desto mehr Kohlenstoff hat sie und desto grösser ist ihr Heizwert. Während Braunkohle einen Kohlenstoffgehalt von ca. 60–70% und einen hohen Wasser-, Asche- und Bitumengehalt aufweist, ist Steinkohle kohlenstoffreicher (75–92%) und ärmer an Wasser und Asche sowie an Bitumen und daher wertvoller. Anthrazit hat mehr als 92% Kohlenstoff.

Die wichtigsten Kohlenbildungszeiträume und Kohlenprovinzen der Welt

Kohle tritt vorwiegend in grossräumigen, zusammenhängenden Provinzen auf. Innerhalb dieser werden die Vorkommen sowohl nach den Bildungsbedingungen als auch nach dem erdgeschichtlichen Bildungsalter unterschieden. Die Kohlevorkommen der Erde (Abb. 8) sind in Raum (auf den Kontinenten) und Zeit (in den Epochen der Erdgeschichte) sehr unregelmässig verteilt. Die ältesten, bekannten Kohlen stammen aus dem Proterozoikum. Es handelt sich hierbei



Abb. 4: Lebensraum im Karbon. Quelle: Internet

um Algenkohlen, das heisst um Ablagerungen von Meerespflanzen, die in Nord-Michigan und Südwest-Grönland heute noch auftreten. Erst vom Silur an existieren Landpflanzen, wobei das Maximum der Florenentwicklung erst im Karbon erreicht wird. Ursachen für diese enorme Florenentwicklung sind das tropisch-humide Klima bedingt durch die äquatornahe Position Eurasiens und Amerikas sowie die Phyllogenie, d.h. die Entwicklung der Pflanzen (Abb. 4). Wirtschaftlich bedeutend sind flach liegende, ungefaltete mächtige Flöze mit grosser horizontaler Erstreckung (sie machen ca. 60% der Weltvorräte aus). Die Weltkohlenvorräte verteilen sich auf folgende erdgeschichtlichen Zeitalter:

- Karbon und früher (bis ca. 280 Mio. Jahre): 20%
- Perm (ca. 280 – 225 Mio. Jahre): 35%
- Jura (ca. 136 – 190 Mio. Jahre): 17%
- Kreide (ca. 65 – 136 Mio. Jahre): 13%
- Tertiär (ca. 12 – 65 Mio. Jahre): 13%
- Sonstige: 2%

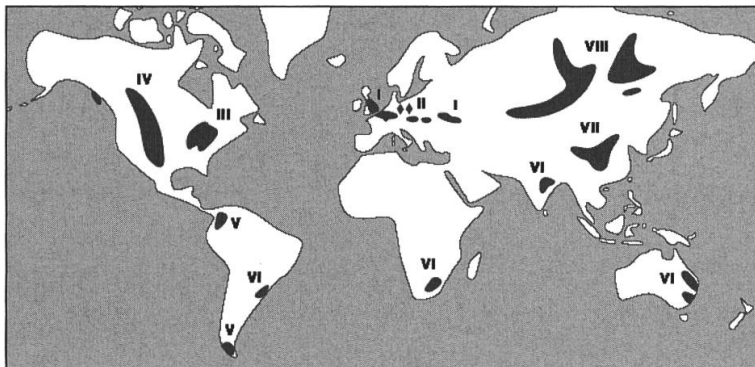


Abb. 5: Verteilung der wichtigsten Kohlenprovinzen. – Quelle: British Geological Survey, Mineral Profile, Coal; June 2003 (BGS, Internet).

Der Inkohlungsprozess

Als *Inkohlung* wird der natürliche Prozess, der zur Entwicklung der Kohle führt, bezeichnet, im Gegensatz zur *Verkohlung*, wo durch Erhitzung unter Luftabschluss (z.B. Holzkohlenmeiler) Holzkohle entsteht. Die Inkohlung führt in Zeiträumen von Jahrmillionen von frischem Pflanzenmaterial zu Huminsäuren und Torf, dann zur Braunkohle und schliesslich zur Steinkohle, in einzelnen Fällen sogar zum Graphit. Der Anteil an Wasser und flüchtigen Bestandteilen nimmt dabei laufend ab, der Kohlenstoffanteil nimmt zu. Ablauf und Produkte der Inkohlung sind vom Ausgangsmaterial (Torfzusammensetzung) stark beeinflusst.

Die Inkohlung findet in zwei Phasen statt. Direkt nach dem Absterben der Pflanzen setzt die *biochemische Phase* ein, die Verrottung, in der Pilze und Bakterien Zellulose und Lignin in Huminstoffe umwandeln. Durch zunehmenden Einfluss der Erdwärme (Überdeckung, Versenkung) beginnt danach die *geochemische Phase* der Inkohlung, die hauptsächlich durch die Temperatur- und Druckverhältnisse beeinflusst wird. Die Inkohlung entspricht in etwa der Diagenese und dem niedrigsten Grad der Metamorphose (Gesteinsumwandlung) in der Gesteinskunde.

Biochemische Phase: Nach Absterben der Pflanzenteile beginnt die Umkehrung der Prozesse, die zu Lebzeiten stattfanden. Mikroorganismen bauen zuerst Kohlenhydrate und Proteine, schliesslich auch Zellulose und Lignin (der in die Zellulose eingelagerte Holzstoff, ca. 30% des Holzes) ab. Insbesondere durch die komplexe und teilweise unbekannt chemische Struktur der Lignine und Huminstoffe ist eine genaue chemische Darstellung der Prozesse nicht restlos bekannt. Während der ersten Phase nimmt der Kohlenstoffgehalt rasch von ca. 40% auf über 60% zu. Durch das kontinuierliche Ablagern neuer Pflanzenteile wird der Torf zusammengepresst und entwässert. Viele dieser Veränderungen laufen in den obersten 50 Zentimetern des Torfprofils ab. Mit zunehmender Tiefe (ca. 10 m) verschlechtern sich die Lebensbedingungen für Mikroorganismen und die weitere Inkohlung wird abiotisch fortgesetzt. Der wichtigste chemische Prozess bei der Verrottung ist die Humifizierung des Pflanzenmaterials, was als langsame Oxidation aufgefasst werden kann. Sobald das Torfmoor durch fluviatile, limnische oder marine Sedimente überlagert wird, endet der biochemische Prozess und der geochemische Inkohlungsprozess beginnt.

Geochemische Phase: In der zweiten Phase nimmt der Wassergehalt weiter ab: Von 60% am Übergang Torf/Braunkohle bis auf 10% an der Grenze Braunkohle/Steinkohle. Durch Abgabe von Wasser, Kohlenstoffdioxid und Methan nimmt der Kohlenstoffanteil weiter zu. Während in jungen Braunkohlen noch Zellulose und Lignin sind, verschwindet mit weiterem Fortschreiten des Prozesses zuerst die Zellulose und am Übergang zur Steinkohle auch das Lignin. Im Steinkohlestadium ist die Abspaltung von Methan bestimmend, es werden aber auch zunehmend komplexere Kohlenwasserstoffe abgespalten. Geringe Mengen von erdölartigen Bitumina können in humosen Kohlen entstehen, diese verbleiben aber in der Regel in der Kohle.

Bei Braunkohlen hat sich der Gehalt an gebundenem Wasser als brauchbares Merkmal für die Klassierung erwiesen, bei Steinkohlen kann anhand der flüchtigen Bestandteile

der Inkohlungsgrad festgestellt werden. In jüngerer Zeit hat sich als Gradmesser der Inkohlung die quantitative, mikroskopische Bestimmung des Reflexionsvermögens des Vitrinites (dunkelbraune bis schwarze Bestandteile, die von der Humifizierung des holzigen Materials stammen) in polierten Anschliffen mittels Fotometer durchgesetzt (Vitrinit-Reflex).

Abbau und Aufbereitung der Kohle

Kohlenlagerstätten werden sowohl im *Untertagebau* (Stollenbau, Bergbau, underground mining) als auch im *Tagebau* (Gruben, open pit, open cast) abgebaut. Steinkohle als tieferliegende Kohlenart wird vorwiegend unter Tage in Stollen und Schächten abgebaut, heute sind Abbautiefen von rund 1000 Metern kein Problem mehr. Die weiter oben liegende Braunkohle wird meistens im Tagebau abgebaut, wobei hier Überdeckungen von bis zu 200 Meter mechanisch umgelagert werden, um das Kohlenflöz wirtschaftlich abzubauen (Abb. 1).

Der untertägige Abbau erfolgt heute nach zwei Abbausystemen; in langen, fortschreitenden *Abbaufonten* (*longwall mining*), wo die ausgebeuteten Kohlenbereiche später kontrolliert kollabieren oder im sogenannten *Säulen und Hallenabbau* (*room and pillar mining*), wo regelmässig Säulen aus Kohle stehen gelassen werden, um die Hohlräume auch langfristig abzustützen. Tiefliegende Kohlenlager werden üblicherweise nach der *Longwall-Methode* abgebaut. Hierbei wird ein Bereich (Kompartiment) des Kohlenflözes, welches man mittels tiefen Schächten erreicht, auf zwei Seiten durch parallele Tunnels (Stollen) erschlossen. Mittels dazu senkrecht angelegter Stollen werden diese Tunnels verbunden. Die so erschlossene Abbaufont, die bis einige hundert Meter lang sein kann, wird dann mit automatischen Kohlenhobeln oder Fräsen abgebaut (Abb. 6 und 7). Die Arbeitsbereiche werden durch mobile, hydraulische Stützen und Schilde während dem Abbau gesichert. Man erreicht mit dieser Methode eine Ausbeute des Kohlenflözes von ca. 50%.

Säulen und Hallenabbau wird meistens in weniger tief liegenden Kohlenflözen angewandt, wo man Setzungen an der Oberfläche vermeiden will. Je nach Anordnung der Säulen und Abbauhallen kann man bis 60% des Kohlenflözes ausnutzen.

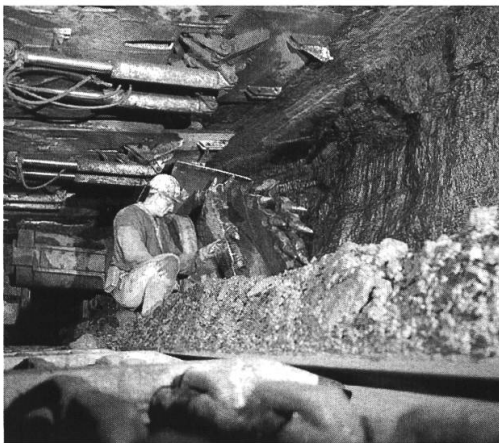
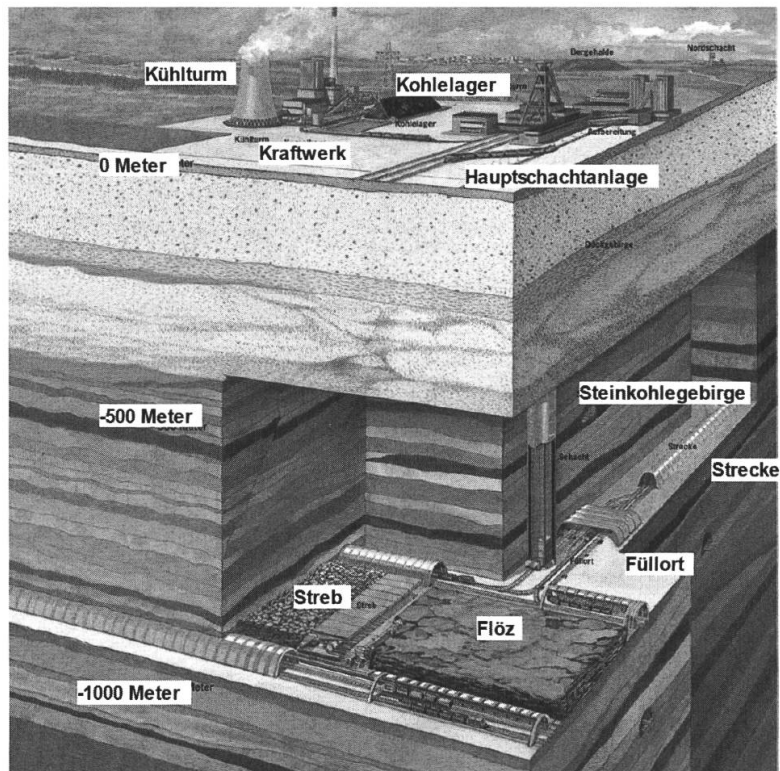
Tagebaumethoden kommen hauptsächlich bei oberflächennah gelegenen Kohlenflözen zum Einsatz (normalerweise bis 100 Meter, in England bis 200 Meter). Hier muss zuerst das überliegende Gesteinsmaterial weggeschafft werden, allenfalls auch Zwischenschichten zwischen einzelnen Kohlenflözen. Dafür werden riesige Bagger und Förderbandanlagen eingesetzt. Ganze Landstriche werden so abgebaut, wobei oftmals Kulturland und ganze Siedlungen nach und nach verschoben werden (Abb. 8 und 9). In den ersten Jahrzehnten der Braunkohlengewinnung hatte sich der Abbau naturgemäss auf die Vorkommen konzentriert, die besonders dicht unter der Erdoberfläche lagerten. In der Folgezeit mussten immer grössere, als Abraum bezeichnete, Deckgebirgsmassen abgetragen werden. 2002 betrug das Leistungsverhältnis zwischen Abraum und Kohle («ökologische Rucksäcke») im Bundesdurchschnitt 5,1 : 1 (jeweils 5.1 m³ Abraum zu 1 t Kohle). In den Tagebauten tragen Schaufelradbagger zunächst

Abb. 6 a-c: Blockdiagramm mit einem typischen, deutschen Steinkohlenbergwerk, gekoppelt mit einem Kohlenkraftwerk.

b) Minenarbeiter bei der Kontrolle der Fräse. Das Dach über dem Arbeitsbereich wird mittels hydraulischen Stützen gesichert.

c) Kohlenhobel im Longwall Einsatz.

Quelle: DSK Deutsche Steinkohle AG (Internet)



die obere Bodenschicht, den fruchtbaren Lösslehm, ab und baggern anschliessend den sogenannten Abraum: Ton, Kies und Sand. Die grössten Bagger sind 96 Meter hoch, 225 Meter lang, 13'500 Tonnen schwer und werden von vier bis fünf Personen bedient. Die Bandanlagen haben mittlerweile eine Förderkapazität von bis zu 37'000 t je Stunde und gehören damit zu den leistungsfähigsten weltweit.

PS: Im Kohlenbergwerk Riedhof bei Aeugst am Albis (zweitgrösstes Kohlenbergwerk im Kanton Zürich) wurden gesamthaft von 1896 bis 1947 gut 30'000 Tonnen Kohle abgebaut – also 1 Stunde Arbeit bei heutiger Tagebautechnologie.

Die im Abbau gewonnene Rohkohle wird mit Förderwagen oder auf Förderbändern zum Schacht gebracht. Im Förderturm kommt die Kohle über Tage an. Das geförderte Gut ist ein Gemenge aus reiner Kohle, Verwachsenem und Steinen, den sogenannten «Bergen». Da meistens verschiedene Kohlenarten gleichzeitig abgebaut werden, sind



Abb. 7 a,b: Braunkohlentagebau im Ruhrgebiet (Hambach und Garzweiler der Rheinbraun AG). Das Kohlenflöz ist an der Basis im oberen Bild sichtbar. Mehrere Schaufelradbagger mit Tagesleistungen von je 240'000 Tonnen lagern das überliegende Gesteinsmaterial um (unteres Bild). Die Kohle wird über kilometerlange Förderbandanlagen zu dem im Hintergrund sichtbaren Kohlenkraftwerk transportiert. Bilder: R. Kündig.

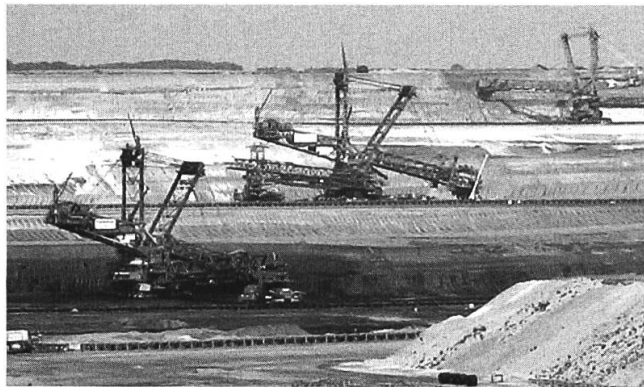


Abb. 8 und 9: Die Nutzung der Braunkohlelagerstätten im Ruhrgebiet und die damit verbundenen «Wühlarbeiten» zeigen ihre Spuren in der Landschaft. Auf Satellitenbildern sind die Braunkohletagebauten im Grossraum Köln sehr gut sichtbar (Kohlenflöze als schwarze Streifen). Bilder: R. Kündig und ESA/Nasa (Internet).

Asche- und Schwefelgehalt sowie Verkokungsverhalten der geförderten Rohkohlen oft sehr unterschiedlich. Diese mit Steinen durchsetzte, in ihren Eigenschaften schwankende und in Stückgrößen bis zu 300 mm Durchmesser über Tage ankommende Rohkohle ist in dieser Form nicht verkäuflich.

Aufbereitung der Kohle

Aufgabe der Aufbereitung ist es, die Kohlenarten, je nach Bedarf, entweder zu trennen oder zu mischen, Berge abzuscheiden und die gewaschenen Reinkohlen nach Stückgröße in die handelsüblichen Kohlsorten zu unterteilen. Erst durch die Aufbereitung werden aus der unverkäuflichen Rohkohle marktfähige Produkte. Für die Aufbereitung gelangt die Kohle über Förderbänder in die Sieberei. Danach wird die Rohstückkohle in einem Brecher auf bestimmte, handelbare Korngrößen zerkleinert. Die Kohle aus den verschiedenen Flözen wird in Bunkern in Lagen übereinander geschichtet und beim Abziehen (Entladen) so vermischt, dass sie homogenisiert wird und ihre Eigenschaften gleichmässig werden.

Auf die Klassierung folgt als wichtigste Stufe der Aufbereitung die Trennung von *Kohle*, *Verwachsenem* und *Bergen*. Dabei wird das unterschiedliche, spezifische Gewicht ausgenutzt: Kohle $< 1.5 \text{ kg/dm}^3$, reine Berganteile $> 1.8 \text{ kg/dm}^3$; dazwischen liegt das «Verwachsene»). In der anschliessenden Nachklassierung wird die Feinkohle mit weniger als 10 mm Grösse von der Rohkohle getrennt und in verschiedene Fraktionen aufgeteilt. Feinmittelgut und Feinberge werden wie die groben Sorten behandelt und verwendet. Die gewaschene Feinkohle wird in Zentrifugen entwässert. Aus ihr wird in Kokereien der Koks hergestellt, der zur Erzeugung von Eisen im Hochofen unentbehrlich ist (siehe unten). Das Mittelgut ist ein ballastreicher Brennstoff, der meist in nahe gelegenen Kraftwerken in elektrischen Strom umgewandelt wird (Verstromung, siehe Abb. 7b). Die Berge finden z.B. im Strassen- oder Dammbau Verwendung.

Kohlenveredelung

Unter der Bezeichnung Kohlenveredelung werden *mechanische, thermische und chemische Verfahren*, die zur Wertsteigerung der geförderten Kohle dienen, zusammengefasst.

Beim *Schwelen* (Tief- oder Niedertemperaturentgasung) werden durch Erhitzen von Stein- oder Braunkohle unter Sauerstoffausschluss bei Temperaturen von 450 bis 600 Grad Celsius flüchtige und niedrig siedende Bestandteile (Kohlenwasserstoffe) wie Schwelgas, Schwelteer und Schwelwasser aus der Kohle entfernt; als Rückstand verbleibt der feste Schwelkoks. Das Schwelgas enthält Methan, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid und wird als Heizgas verwendet. Der Braunkohlenschwelteer besteht v.a. aus Paraffinen und Olefinen (ungesättigte Kohlenwasserstoffe, z.B. Propylen), der Steinkohlenschwelteer aus Aromaten, insbesondere Phenolen. Braunkohlenschwelkoks und Steinkohlenschwelkoks finden als Brennstoffe und zur Stromerzeugung Verwendung teilweise bei der Erzverhüttung.

Bei der *Verkohlung* (*Hochtemperaturentgasung*) werden bei höheren Temperaturen die aus den Kohlen ausgetriebenen flüchtigen Bestandteile z.T. thermisch gespalten und in neue Produkte umgewandelt.

Die *Verkokung* wird in Kokereien (und Gaswerken) vorgenommen und dient heute vor allem zur Gewinnung von Koks, der als Reduktionsmittel, Stabilisator und Brennstoff bei der Erzverhüttung (Hochofen) benötigt wird. Zur Verkokung wird die Kohle (v.a. Steinkohle) in Kammeröfen, die stets in grösserer Anzahl zu «Koksofenbatterien» zusammengeschlossen sind, auf über 900 Grad Celsius erhitzt. Dabei fällt neben dem Koks das Kokereigas (Rohgas) an, aus dem Teer abgeschieden wird, woraus man durch fraktionierte Destillation zahlreiche aromatische Verbindungen (v.a. Benzol, Pech) gewinnt.

Als *Kohlehydrierung* oder *Kohleverflüssigung* bezeichnet man die Umsetzung von Stein- oder Braunkohle mit Wasserstoff zu flüssigen Kohlenwasserstoffen. Diese Reaktion diente in Deutschland zwischen 1927 und 1944 zur Gewinnung von Otto- und Dieselmotortreibstoffen aus Kohle, hat aber heute wegen der billigeren Gewinnung aus Erdöl kaum mehr Bedeutung.

Als *Kohlevergasung* bezeichnet man die Umsetzung von Kohle oder Koks mit einem Vergasungsmittel (Luft, Wasserdampf) zur Gewinnung von Heiz- oder Synthesegasen. Sie wird meist in einem schachtofenartigen Gaserzeuger (Generator) durchgeführt. Durch abwechselndes Einblasen von Luft (Heissblasen) und Wasserdampf (Kaltblasen) oder durch gleichzeitiges Einblasen von Luft und Wasserdampf erhält man über gekoppelte Reaktionen *Generatorgas*, *Wassergas* und *Mischgas*.

Braunkohleflugasche ist ein industrielles Nebenprodukt welches bei der Verbrennung von trockener Braunkohle in Kraftwerken anfällt. Eingesetzt wird sie im Strassenbau und im Erdbau zur Bodenverbesserung, sowie als Ersatz für Bindemittel und als Zusatzstoff in Zement und Beton.

Quellen:

Dieser Artikel beruht auf Vorlesungsunterlagen «Technische Mineralogie und nichtmetallische Rohstoffe» von R. Kündig, F. Schenker & V. Dietrich (ETH-Zürich, 2004/05). Einzelne Textpassagen wurden auch dem Lehrbuch «Mineralische- und Energie-Rohstoffe» (W. L. Pohl, 2005 - Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (W. und W.E. Petrascheck's Lagerstättenkunde)) entnommen. Sehr gutes Informationsmaterial ist auch auf den Internetseiten der Deutschen Steinkohle AG (<http://www.deutsche-steinkohle.de>) enthalten, darunter ein spannendes «virtuelles Bergwerk».

Adresse des Autors: Dr. Rainer Kündig
Schweizerische Geotechnische Kommission
ETH-Zentrum CAB E77
8092 Zürich
rainer.kuendig@erdw.ethz.ch