

*Seminar Sommersemester 2002
Rahmenthema „Ressourcen“*

***Entstehung und Verbreitung der festen fossilen
Brennstoffe Braunkohle und Steinkohle
und ihre wirtschaftliche Bedeutung***



*Bearbeiter: Florian Jurgeit
eingereicht bei: Prof. Hans Stöffer, Prof. Klaus Frantz*

1. Einleitung – Allgemeines, Summary

1. Einleitung

Die folgende Arbeit entstand im Rahmen des geographischen Seminars im Sommersemester 2002 mit dem Rahmenthema „Ressourcen“, wobei eine nicht allzu exakte Themendefinition vorgenommen wurde, sodass der Einzelne entsprechenden Spielraum in der Auslegung des Themas hat.

Das Thema *Kohle* bietet eine Vielzahl von Literatur, je nachdem welchen Bezug man sucht; für eine geographische Arbeit scheint es mir selbstverständlich nicht nur den physiogeographischen Aspekt (Entstehung etc.) zu betrachten, sodass die Arbeit folgende Themen bearbeiten wird:

- *Entstehung der Kohle und daraus resultierend die versch. Kohlen und ihre Eigenschaften*
- *Förderung und Verarbeitung von Kohle*
- *Verbreitung der Lagerstätten, Quantifizierung der Ressourcen, Zukunftsaussichten*
- *Stellung der Kohle in der Weltwirtschaft, Regionale wirtschaftliche Bedeutung*

Über all diese Punkte kann im Rahmen einer Seminararbeit nur ein Überblick gegeben werden, denn insbesondere das Thema Entstehung, welches in der Arbeit dominieren wird, kann als „Fass ohne Boden“ betrachtet werden und erfordert in seiner Gesamtheit ein großes Maß an naturwissenschaftlichen Kenntnissen (Botanik, Geologie, Chemie, ...) und ist in seinen Details kaum zu fassen.

2. Summary

The following work tries to explain the origins of coal, the spatial distribution (main coal-mining countries, spatial distribution in Europe) and its economic importance.

Coal is the altered remains of prehistoric vegetation that originally accumulated as plant material in swamps and peat bogs. The accumulation of silt and other sediments, together with movements in the earth's crust (tectonic movements and deformations) buried these swamps and peat bogs, often to great depth.

The great depth and the tectonic movements caused elevated temperatures and pressures, which caused the processes of biochemical and geochemical

transformations to coal; the first developing type of coal is brown-coal (or lignite coal), a coal with low organic maturity and high water concentration.

Over many more millions of years the continuing effects of pressure and temperature produced additional changes in the lignit. Increasing its maturity; the next developing types of coal are hard-coals (bituminous coals) and finally anthrazite.

The degree of „metamorphism“ has an important influence on its chemical and physical properties: Low rank coals are typically softer, friable materials with an earthy appearance; high moisture levels and low carbon contents cause a low energy content. Higher rank coals are typically harder and stronger and often have a black vitreous lustre; low moisture contents and higher carbon contents cause a high energy content.

Coal could be found nearly all over planet earth, but the most important coal-mining countries are represented by the „economic“-coal distribution: Russia (50%), China (15%) and the United States (15%) - all three together 85% !

Mainly coal is used for producing electric energy – 37% of the electricity generated worldwide is produced from coal, in germany 90% of the brown-coal is used for producing electric energy. The iron- and steel industry is the second important 'consumer' of coal.

At current production levels, known coal reserves will last for over 185 years.

2. Definitionen

Auf eine umfangreiche Begriffsdefinition des Begriffs Kohle wird in diesem Fall verzichtet, da sich diese in ihren Details aus den Eigenschaften und der Entstehung der Kohle ergibt und darauf im Rahmen der Arbeit eingegangen wird – folgend aber zwei kurze Definitionen um einen ersten Anhaltspunkt zu haben:

- „Unter Kohle versteht man ein aus den Resten vorweltlicher Pflanzen aufgebautes, brennbares Gestein, das – früheren geologischen Zeiträumen entstammend und gegenüber dem Ausgangsmaterial weitgehend umgewandelt – dem Schichtaufbau der

Erdrinde eingefügt ist.“ (JURASKY, 1936)

- „Kohle: allgemein Umwandlungs- und Zersetzungsprodukt organischer Substanz mit brauner bis schwarzer Farbe, das brennbar ist und maximal 30% nicht brennbare Bestandteile aufweist. [...]“ (LESER, 1997)

3. Entstehung

1. Einleitung. Historische Betrachtung

Der Ursprung der Kohle liegt, wie schon aus den Definitionen hervorgeht, in einer vor geologischen Zeiten vorhandenen Vegetation, die sich folglich durch verschiedene Prozesse zu Kohle entwickelt hat, somit die Aufbaustoffe der Kohle geliefert hat; man spricht von einer Entwicklungsreihe, die auch als Inkohlung bzw. Inkohlungsreihe bezeichnet wird.

Somit sind zwei Fixpunkte dieser Entwicklungsreihe bereits vorhanden: *Pflanzen/Tiere(organ. Substanz)* ▶ *Kohle*; dazwischen liegt eine Vielzahl von Prozessen und Zwischenstufen bzw. Abgrenzungen.

„Die Zwischenstufen und Abgrenzungen sind bergrechtlichen Ursprungs und nicht von der Natur vorgezeichnet, sondern müssen durch eine Gruppe im Übereinkommen willkürlich festgelegter physikalischer und chemischer Reaktionen vorgenommen werden.“ (JURASKY, 1936)

JURASKY (1936) drückt damit eine wesentliche zu beachtende Eigenheit der Inkohlungsreihe aus: Die Einzelstadien sind eine vom Menschen definierte Systematik innerhalb der Genese und in der Natur nicht immer eindeutig zuzuordnen !

Historisch hatte die Erklärung der Entstehung von Kohle viele „Tiefschläge“ einstecken müssen: Bis ins späte Mittelalter hielt man Steinkohle für ein Mineral, das, wie die anderen Gesteine, von Anfang an auf der Erde vorkommt. Bis ins 18. Jahrhundert hat es Gelehrte gegeben, die bei Kohle von einem Produkt aus der Verdichtung der Luft sprechen (vgl. Anaximenes, 588 bis 524 v. Chr.: Luft wird durch Verdichtung zu Wasser, Erde und Steinen), obwohl bereits 1592 ein Balthasar Klein die Entstehung der Stein- und Braunkohle aus Holz angenommen hat. (s.

POTONIE, 1920)

Im folgenden soll nun die Inkohlung in ihren einzelnen Abschnitten erläutert werden.

2. Der Inkohlungsprozess im Detail: Von den Pflanzen zur Steinkohle

PETRASCHECK (1963) stellt folgendes fest: „Die Inkohlung besteht aus zwei Phasen, die erste ein biochemischer Prozess, die zweite ein geochemischer. Den biochemischen Teil nennen wir Vertorfung. Für die Qualität der entstehenden Kohle ist es von Einfluss, bei welchem Stadium der Vertorfungsprozess unterbrochen wurde. Je weiter er vor geschritten war, um so edler wird unter sonst gleichen Bedingungen die Kohle.“

Zusammenfassend muss man die Entwicklungsreihe *Organische Substanz (Pflanzen)*

► *Kohle* um die biochemischen- und geochemischen Prozesse erweitern (*Organische Substanz (Pflanzen)* ➡ *biochemische- und geochemische Prozesse* ➡ *Kohle*).

Im Rahmen der Inkohlung entfernt sich das Material in seinen formlichen, physikalischen und stofflichen (chemischen) Eigenschaften immer weiter von der Beschaffenheit des Ausgangsmaterials.

Einerseits sind die Entwicklungsstadien im Rahmen der Inkohlung visuell verfolgbar, wobei insbesondere Farbe und Struktur wesentliche äußere Merkmale sind, andererseits müssen auch chemischen Parameter betrachtet werden. JURASKY (1936) formuliert die visuellen Veränderungen wie folgt: „Die äußeren Eigenschaften der Kohlen können gegenüber dem Ausgangsmaterial sehr verschieden sein: Ihre Farbe schwankt vom hellen Gelb bis zum dunklen Braun der meisten Braunkohlen und bis zu dem matten oder glänzenden, ja selbst metallglänzenden (Anthrazit) Schwarz der Steinkohlen. Braunkohlen kommen meist als feuchte, erdige, zerreibliche und abfärbende Masse zutage; die Steinkohlen hingegen sind weitgehend verfestigt, steinartig hart und färben im Allgemeinen nicht ab. Die äußeren Formen der Pflanzenreste, die im Torf noch sehr gut erkennbar sind, verschwinden immer mehr. Schon die Hauptmasse der normalen Braunkohlen lässt nichts mehr davon erkennen.[...]“

Die Inkohlung, die im wesentlichen ein chemischer Prozess ist, bewirkt auch Veränderungen im Chemismus des Materials, wobei in der Regel die Elemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) erfasst werden, sowie der Heizwert und der Wassergehalt (s. APFELBECK, 1963; JURASKY, 1936).

	Kohlenstoff (C)	Wasserstoff (H)	Sauerstoff (O)	Stickstoff (N)	Wassergehalt	Heizwert
	(in %)	(in %)	(in %)	(in %)	(in %)	(in WE)
Holz	49-50	6	43-44	1	-	5000
Torf	55-60	05.05.06	34-39		-	5000-5700
Braunkohle	67-78	5	17-28		50-55	6000-7300
Steinkohle	80-91	4,5-5,0	4,5-15,0		5,0-10,0	7600-8700
Anthrazit	96	2	2		-	7600-8700

Tabelle 1: Elementaranalyse (Quelle: JURASKY 1936)

Die Tabelle zeigt deutlich, dass es im Rahmen der Inkohlung zu einer Anreicherung mit Kohlenstoff und einer Abnahme des Sauerstoff in der Substanz kommt; der Anstieg des C-Gehaltes ist im wesentlichen die Ursache für den Anstieg des Heizwertes.

APFELBECK (1963) stellt die Änderung des Chemismus im Rahmen der Inkohlung in Form von Dreistoff-Diagrammen dar, wobei er sich auf die Elemente Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff beschränkt.

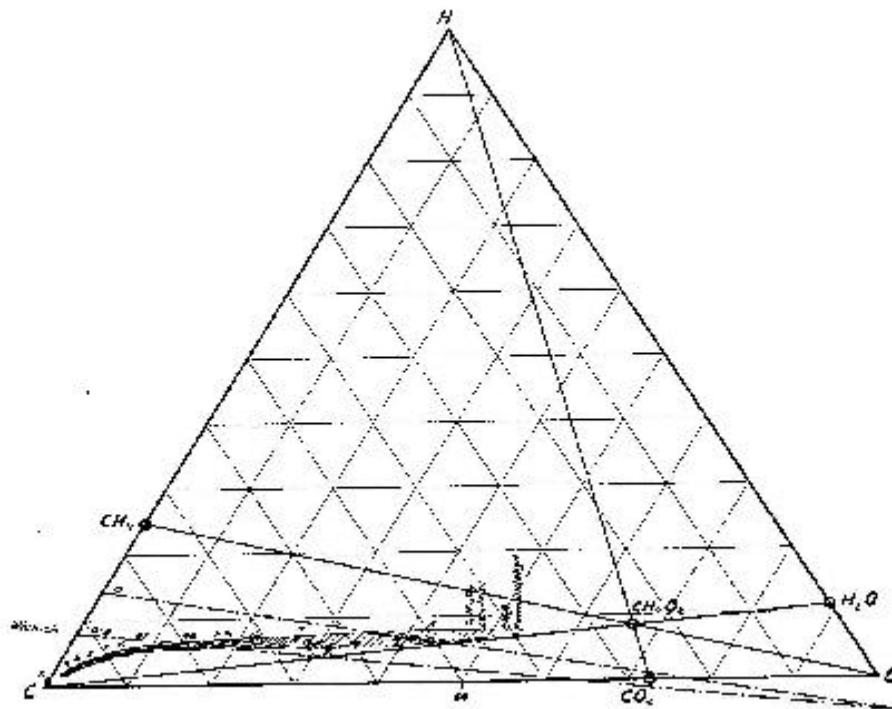


Abbildung 1: Dreistoff-Diagramm Inkohlung (Quelle: Apfelbeck, 1963)

Die chemischen Grenzwerte definieren die wesentlichen Entwicklungsstadien der Inkohlungsreihe:



Die einzelnen Entwicklungsschritte werden auch als „Reife“ bezeichnet, wobei diese zum Beispiel bei PETRASCHECK (1963) über den Wassergehalt, den Sauerstoffgehalt und die flüchtigen Bestandteile definiert wird.

Den ersten Entwicklungsschritt stellt die Bildung von Torf dar (=Vertorfung) – ein biochemischer Prozess, der in seinen Details schwer zu fassen ist – dennoch stellt sich die Frage nach dessen Genese und Bedeutung für die Bildung von Kohle.

Torf ist ein Produkt einer so genannten „gehemmten Zersetzung“ und kann als Gemenge aus hellbraunen bis braunschwarzen, zersetzten, mehr oder weniger humifizierter abgestorbener Pflanzenteile bezeichnet werden, in dem kleine Pflanzenteile noch erkennbar sind (s. LESER, 1997; s. PRESS/SIEVER, 1995).

Die Vertorfung ist somit kein 'vollständiger' Zersetzungsprozess bei dem keinerlei kohlige (siehe C-Gehalt bei Torf liegt bei 55-60%) Reste zurückbleiben würden (vgl. zum Beispiel „Verwesung“), sondern wie es JURASKY (1936) formuliert, ein „Prozess wo durch gehemmt oder mangelnden Sauerstoffzutritt die Tätigkeit der aeroben Bakterien gemindert wird und somit Zersetzungs Vorgänge verlangsamt oder verhindert werden und sich Pflanzenreste zu nennenswerten Ablagerungen anhäufen können“.

„Ein sehr häufiger Zersetzungsprozess ist die Vertorfung. Hierunter versteht man die Zersetzung der organischen Bestandteile zunächst in derselben Weise wie bei der Bildung des Moders, also unter Zutritt von Sauerstoff, aber doch nicht dauernd unter genügendem Zugang dieses Elements. Da nun in den Mooren, die gerade dem Vertorfungsprozess unterliegen, das Pflanzenwachstum so fortschreitet, daß eine Anhäufung von Humus dadurch stattfindet, daß die neuen Pflanzengenerationen

immer auf den in Zersetzung begriffenen Teilen ihrer Vorfahren emporsprießen, so wird dadurch ein immer weiter gehender Abschluß für die in Zersetzung begriffenen Bestandteile und schließlich ein völliger Luftabschluß erreicht, was dem Prozess der Fäulnis entspricht“. (POTONIE, 1920)

Die Vertorfung kann zusammengefasst als Zersetzungsprozess unter aneroben Bedingungen gesehen werden, in der Regel an semiterrestrischen Standorten, wie zum Beispiel Mooren – oder wie JURASKY (1936) es in seiner „einfachsten Formel“ definiert: „eine überaus gehemmte Verbrennung unter langsamen Verbrauch des in den Pflanzenresten selbst enthaltenen Sauerstoffs.“

Will man den Prozess der Vertorfung noch genauer betrachten, stellt sich die Frage was mit den Hauptstoffgruppen der Pflanzen (Zellulose, Lignin, Hemizellulosen, Pektinstoffe, Eiweißkörper, sowie Fette, Wachse und Harze) im Rahmen der Vertorfung geschieht.

	Pinus silvestris	Fagus silvatica	Cannabis sativa	Sphagnum parvifolium
	<i>Kiefer</i>	<i>Buche</i>	<i>Hanf</i>	<i>Torfmoos</i>
Zellulose	60,54	67,09	40,57	35,2
Lignin	26,35	22,46	23,34	9,2
Hemizellulosen	13,25	25,88	24,16	46,1
Pektinstoffe	1,11	1,75	-	
Eiweißkörper	0,8	1,05	-	-
Wachse, Fette, Harze	3,32	1,2	2,85	9,5

Tabelle 2: Stoffgruppen der Pflanzen (Angaben in %) - Quelle: JURASKY, 1940

Die Tabelle zeigt, dass zwei Stoffgruppen besondere Bedeutung haben: die Zellulose und das Lignin, die meist die Hauptmasse bilden – und somit auch eine wesentliche Stellung in der Hauptmasse des Torfs und in weiterer Folge der Kohle haben könnten.

Zellulose ist dominant am Aufbau der Zellwände beteiligt und ist chemisch gesehen ein mit der Stärke verwandtes Kohlenhydrat mit Beta-D-Glucose als Grundbaustein; des weiteren ist sie chemischen Angriffen gegenüber sehr beständig (in verdünnten Säuren unlöslich). Früher wurde die Bedeutung für die Kohlenbildung sehr hoch

eingeschätzt, jedoch hat sich dies als Irrtum herausgestellt, da Zellulose nicht nur bei Luftzutritt (aerobes Milieu) abgebaut wird, sondern auch im anaeroben Milieu durch anaerobe Bakterien und Pilze abgebaut wird, dabei entstehen flüchtige Substanzen (Methan, Kohlensäure) – aber keine kohlenaufbauenden Huminstoffe. (s. LESER, 1997; JURASKY, 1936)

Lignin ist der Stoff der die so genannte „Verholzung“ bildet, also ein in den Zellwänden gebildeter „Holzstoff“, der die Stabilität (Steife) der Pflanze fördert. Ligninen sind chemisch gesehen gerüstartig aufgebaute Mischpolymerisate aus Abkömmlingen des Phenylpropan. Lignine sind widerstandsfähiger als Zellulose und werden von Pilzen und Bakterien nicht zerstört, sondern in Huminstoffe umgewandelt. (s. LESER, 1997; JURASKY, 1936)

Die anderen Stoffgruppen sind nicht sehr widerstandsfähig und werden abgebaut – mit Ausnahme der Gruppe der Fette, Wachse und Harze; diese sind quantitativ gesehen (s. Tabelle 2) eher unbedeutend, können aber den Charakter der Kohle beeinflussen: Die Pflanzenwachse überstehen lange Zeiträume nahezu unverändert und werden zum Beispiel als *Montanwachs* aus der Braunkohle extrahiert (s. www.romonta.de).

PETRASCHECK (1936) weist auf eine verzögernde Wirkung des Harzes bei der Vertorfung hin, sodass indirekt auch der Flora eine Bedeutung zukommt (Harzgehalt des Holzes – konservierende Wirkung).

Bei der Vertorfung, die in ihrem Anfangsstadium als Humifizierung bezeichnet werden kann, werden wie oben bereits erwähnt die ebenfalls in den Kohlen nachweisbaren Huminstoffe gebildet.

Die Humifizierung wird bei ungünstigen Lebensbedingungen (Standortbedingungen) gefördert – zum Beispiel bei Wasserüberschuss, saurem Milieu und dem Vorhandensein schwer zersetzbarer Substanz (s. Bedeutung der Lignine).

Huminstoffe sind stabil (schwer Abbaubar), braun bis schwarz gefärbt und weisen eine Größe von $< 2\mu$ auf; ihre Zusammensetzung ist im einzelnen nicht definierbar, jedoch werden sie auf Basis mehrerer Parameter (Farbe, Polymerisationsgrad,

Kohlenstoffgehalt, Stickstoffgehalt und Lösungsbereitschaft) in 3 Hauptstoffgruppen gegliedert: Fulvosäuren, Huminsäuren und Humine (hoher C-Gehalt, schwarz). Die große spezifische Oberfläche ermöglicht eine Ionen- und Wassermolekülanlagerung (Wasserbindung). (s. PETRASCHECK, 1963; LESER, 1997; JURASKY, 1936)

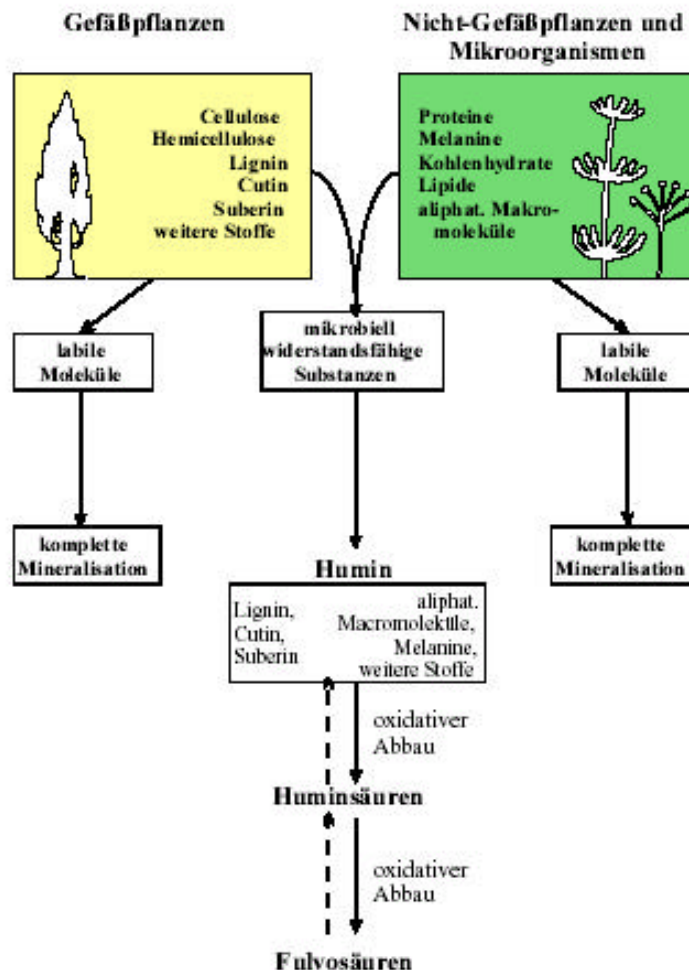


Abbildung 2: Bildung von Huminstoffen (Quelle: www.igb-berlin.de)

Die Bedeutung für die Kohle („Gesamtkohle“) beschreibt bereits JURASKY (1936): „Die Huminstoffe sind die Träger der kennzeichnenden Eigenschaften der Gesamtkohle, wie der Farbe, des unangenehmen 'Braunkohlengeruchs', wie ihn glimmende Briketts abgeben, und schließlich der Erscheinung, daß stark getrocknete Braunkohle an der Luft wieder Wasser aufnimmt (Hygroskopizität)“.

Torfe können wiederum nach verschiedenen Kriterien differenziert werden (zum

Beispiel nach den typischen Pflanzengesellschaften an einem Standort); im Rahmen der Inkohlung stellt die Farbe ein wichtiges Kriterium dar: „Zunächst schließen verschiedene Torfe an, und zwar heller Torf zuerst und dunkler Torf in größerer Entfernung, [...]“. (APFELBECK, 1963)

Die Farbe ist somit ein Indikator für die Reife, im wesentlichen dem Grad der Huminstoffbildung (s. oben – Huminstoffe) und somit auch der Kohlenstoffanreicherung.

Eine wesentliche Eigenschaft des Torfes, die auf den C-Gehalt von mindestens 50% zurückzuführen ist, stellt seine Brennbarkeit dar, wobei dies natürlich nur für den trockenen Zustand ('Trockendorf') gilt. (s. PRESS/SIEVER, 1995)

Neben der Entwicklung von Kohlen durch Vertorfung (*Torf* ▶ *Kohle*), wobei diese als Humus-Kohlen bezeichnet werden (s.o. - Bedeutung von Lignin und Zellulose), wird auch noch die Entwicklung von Kohlen aus Sapropel (= Faulschlamm; subhydrische Humusform mit viel Ch_x und H_2S) immer wieder erwähnt, wobei diese quantitativ eine geringere Bedeutung hat (Bitumen-Kohlen), da die Humus-Kohlen über 80% aller Kohlen ausmachen. (s. LESER, 1997; KERSCHNER: VO „Boden und Landschaft“¹)

PETRASCHECK (1963) betont die Bedeutung der Huminstoffe und Bitumina: „Im Laufe der Reifung der Kohle verbleiben zwei Hauptstoffe: Huminstoffe und Bitumina. [...] Pflanzliches Wachs, Sporen und Harze sind es, die Bitumen liefern.“

In diesem frühen Stadium liegt auch die Ursache für zwei im Zusammenhang mit Kohlen immer wieder auftretenden Begriffen: autochthon und allochthon.

Humus-Kohlen, also die durch Vertorfung gebildeten, sind in der Regel autochthon, da die Moorpflanzen am Bildungsort des Torfes (? der Kohle) gewachsen sind, dies kann man natürlich auch rezent an Torfmooren feststellen; die Sapropel-Kohlen sind allochthon, da diese aus zusammengeschwemmtem organischen Material entstehen (vgl. rezente Sapropel-Bildung, Gytjtja).

Betrachtet man rezente Torflagerstätten oder Kohlegruben, so stellt man sich die

1 Vorlesung am Institut für Geographie an der Universität Innsbruck

Frage, wie sich solche Ablagerungen bezüglich der Mächtigkeit gebildet haben.

Voraussetzung müssen große Moore gewesen sein, in denen sich mächtige Humusschichten und in weiterer Folge Torfhorizonte gebildet haben – am Beispiel der „Hambach-Kohle“ (BRD) muss die vertikale Mächtigkeit in etwa 400m betragen haben (s. v. D. RUHREN, 1997).

Die Frage nach dem Zeitfaktor lässt sich anhand rezenter Moore abschätzen: in den heutigen Mooren wächst die Torfschicht pro Jahr nur um 1/2 mm und sie wurde bei der Umwandlung(Inkohlung) noch wesentlich reduziert, sodass es 30 000 bis 40 000 Jahre in Anspruch nimmt bis die Substanz für ein 10 Meter Flöz gebildet wird. (s. www.gkb.at)

Das Kohlerevier bei Köflach in der Steiermark (Weststeirisches Braunkohlerevier) kann als Beispiel für die Entstehung vieler Kohlelagerstätten gesehen werden: Mit der alpidischen Gebirgsbildung, die vor 20 Mio. Jahren, im Miozän, endete, haben sich die Alpen aus dem Meer emporgehoben und das Wasser drang nur noch randlich in Buchten und Becken vor. Schließlich trennten Landschwellen das Festland vom Meer und der Süßwasserkreislauf begann. Man geht davon aus, dass sich in den Becken (Geosynklinalen) ausgedehnte Moore und Sümpfe gebildet haben, welche sich über Jahrtausende ungestört entwickeln konnten und somit enorme Mengen an organischer Substanz zur Verfügung standen.

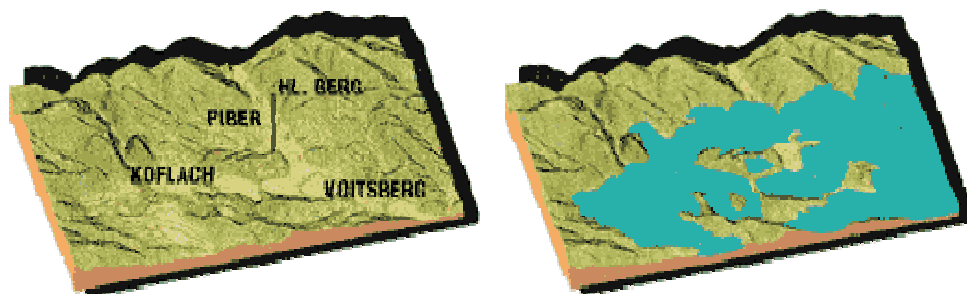


Abbildung 3: Modellierung des Moores im Weststeirischen Kohlerevier (Quelle: GKB)

Damit die für die Vertorfung notwendige Durchfeuchtung gegeben war, müssen unter Annahme eines nahezu konstanten Wasserspiegels bei einer Entwicklung der Vegetation nach oben hin Senkungsprozesse stattgefunden haben, sodass der

Prozess der Vertorfung unter dem Wasserspiegel stattfinden hat können (s. PRESS/SIEVER, 1995; www.geologieknoten.de(ARBEITSGEMEINSCHAFT GEOLOGIE); V.D. RUHREN, 1997; THOMAS, 1992; JURASKY, 1936).

Über die klimatischen Verhältnisse und die Zusammensetzung der Vegetation gibt es zahlreiche Untersuchungen, insbesondere aus der Disziplin der Paleobotanik.

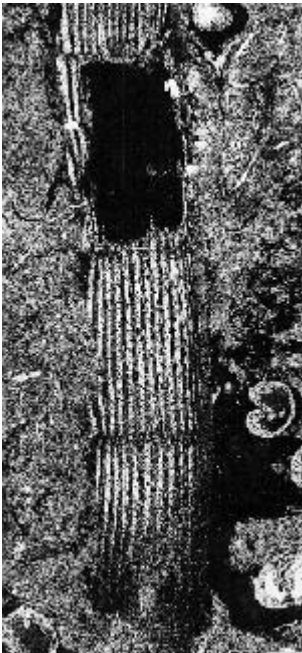


Abbildung 4: Längsschnitt Calamit (aus: Kerp, 1996)



Abbildung 5: Stamm und Wurzel einer Siggalarie (aus: Kerp, 1996)

Es scheint festzustehen, dass die Entfaltung der Flora im Erdaltertum erst die Voraussetzungen geschaffen hat – die Pflanzen entwickelten sich im Devon auf dem Festland, im Karbon dürfte es zu Waldmoorbildungen gekommen sein (zum Beispiel Sigillarien-Wälder und Calamiten-Röhricht). (s. www.romonta.de; KERP, 1996).

Das nächste Entwicklungsstadium im Rahmen der Inkohlungsreihe stellt die Braunkohle dar, zu deren Bildung bereits geochemische Prozesse beitragen, der Übergang zwischen geo- und biochemischen Prozessen kann genau wie der Übergang Torf-Braunkohle nicht exakt definiert werden – es handelt sich vielmehr um einen Übergangssaum.

Braunkohle weist einen Kohlenstoffgehalt von ca. 70 % auf (s. Tabelle 1), wobei die

Erhöhung des Wertes im Gegensatz zum Torf auf eine Sedimentüberdeckung (s. Abbildung 6) zurückzuführen ist.

„Im Laufe der Zeit und mit zunehmender Überdeckung (Anm.: durch Sedimentation) wird der Torf zusammengepresst und entwässert“ (PRESS/SIEVER, 1995).

Es entwickelt sich in einem ersten Schritt die so genannte Weichbraunkohle, die einen Wassergehalt von 20-50% (deutsche Einteilung: 45-60%) frisch gefördert (=„grubenfeucht“, „Rohkohle“) aufweist.

Braunkohle unterscheidet sich neben den chemischen Parametern auch visuell vom Torf: Während der Torf noch deutlich erkennbare Pflanzenreste aufweist, ist die Umwandlung des Materials bei der Braunkohle weiter fortgeschritten – PETRASCHECK (1963) bezeichnet dies treffend als „Homogenisierung“ - Einlagerungen sind jedoch häufig vorhanden, diese sind auch der deutlichste Beweis für den Ursprung der Kohle. (s. JURASKY, 1936)

Mit fortschreitender Überdeckung (Sedimentation) steigt der Auflastdruck und der Prozess der Entwässerung wird verstärkt – eine höherwertige Braunkohle entsteht, die Hartbraunkohlen; diese weisen gegenüber den Weichbraunkohlen einen geringeren Wassergehalt auf (PETRASCHECK (1963) gibt einen Wert von ~1% Wassergehaltverlust pro 100m stratigraphischer Teufe an), sind „homogenisierter“ und stärker verfestigt (dadurch höheres spezifisches Gewicht). Man kann somit feststellen, dass – bis auf lokale Ausnahmen – Kohle aus größerer Tiefe höherwertiger ist, die Inkohlung weiter fortgeschritten ist.

JURASKY (1936) weist darauf hin, dass es Hartbraunkohlen gibt, die äußerlich der Steinkohle ähneln und nur chemisch als Braunkohle identifiziert werden können.

Allgemein weisen Braunkohlen eine gelbbraune bis braunschwarze Farbe auf (abfärbend !), und treten in Flözen von wenigen cm bis über 100m Mächtigkeit auf mit einem hohen Wassergehalt (s.o.) und somit geringem Heizwert. Die Beschaffenheit kann von locker und zerreiblich (Weichbraunkohle) bis hin zu verfestigt mit muscheligen Bruch reichen (s. JURASKY, 1940).

Neben dem verbrennbaren Teil und dem Wassergehalt setzt sich Kohle auch noch

aus mineralischen Stoffen (zum Beispiel toniges und sandiges Material durch Einschwemmung ins Torfmoor oder gelöste Mineralstoffe aus überlagernden Schichten), die nicht verbrennbar sind zusammen; diese bleiben nach der Verbrennung als Rückstand zurück und werden als „Asche“ bezeichnet. Je mehr Asche zurückbleibt, desto minderwertiger ist eine Kohle. JURASKY (1936) formuliert die Güte einer Kohle bezüglich des Aschenrückstandes wie folgt: „Liegt der Aschenrückstand bei guten Braunkohlen unter 10%, so steigt er bei anderen auf über 20% und darüber – bis eben nicht mehr von Kohle gesprochen werden kann, sondern von kohligen Gestein.“

Die folgende Tabelle zeigt die Verschiedenheit der chemischen Parameter unterschiedlicher Braunkohlen:

	Rohkohle								Reinkohle					
	C	H	O	N	S	Asche	Wasser	Heizwert	C	H	O	N	S	Heizwert
	%	%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	
Dem Torf nahestehende Braunkohle	18,13	1,91	9,65		0,37	33,69	36,25	1300	60,31	6,35	32,1		1,23	5051
Niederrheinische BK	27,1	2,3	11			2,5	57,1	2090	67,07	5,69	27,22			6328
Eozäne sächsische BK	29,86	2,76	10,38		0,39	3,49	53,12	2540	68,82	6,36	23,92		0,9	6931
Durch Gebirgsbildung veredelte	56,92	4,4	13,23	1,43	3,35	9,28	11,39	5466	74,91	5,79	17,41	1,88	4,4	7276
Durch vulkanische Wärme veredelte Glanzkohle	59,71	3,2	24,42	0,34	0,1	4,15	8,08	5073	68,03	3,65	27,82	0,39	0,11	6032

Tabelle 3: Kennwerte verschiedener Braunkohlen (aus: JURASKY, 1936)

Braunkohlen nehmen in der Inkohlungsreihe eine mittlere Position ein und haben somit zeitlich gesehen eine längere Entwicklung als der Torf hinter sich, jedoch eine wesentlich kürzere als die Stoffe höherer Reife (Steinkohle, Anthrazit), sodass sie in der Regel als jünger zu bezeichnen sind. Die Literatur spricht vom Tertiär als Braunkohlenformation, da insbesondere in Mitteleuropa in diesem Abschnitt der Ursprung der großen Braunkohlenlagerstätten liegt (zum Beispiel Mitteldeutsches

Revier). (s. GEOGRAPHIE UND SCHULE, 1997; JURASKY, 1936; KERP, 1996; www.wci-coal.com (WORLD COAL INSTITUTE)).

Tabelle 3 gibt einen Einblick in die verschiedenen Ausprägungen von Braunkohlen, einen Überblick über die verschiedenen Braunkohlen gibt zum Beispiel JURASKY (1936):

- Gemeine Braunkohle (erdige Braunkohle): Dichte, stückig oder flachmuschelartig brechende bis erdige, zerreibliche Kohlen, meist dunkelbrauner Farbe – können aber auch hell auftreten. Rohmaterial für Briketts.
- Schwelkohle: Hoher Gehalt an bituminösen Stoffen; hellgelbe bis gelbbraune Farbe und hoher Anteil an Wachsen und Harzen (s. o. - Sapropel). Verwendung vorwiegend für die Verschwelung (Trockene Destillation).
- Lignit: Braunkohlenholz in Form von Baumstämmen, Stämmen und Holzbruchstücken und eignet sich vorwiegend zur Verfeuerung.
- Pech- und Glanzkohle: Braunschwarze bis tiefschwarze Färbung, gilt als steinkohleähnlich. Zeichnen sich durch glasähnlichen Glanz, völlig homogene Beschaffenheit, muschelartig-splittrigen Bruch, geringen Wassergehalt und hohen Heizwert aus.
- Faserkohle: Eine Art fossile Holzkohle.

APFELBECK (1963) hat eine graphische Zusammenstellung einer Systematik der Kohlen auf Basis der chemischen Parameter geschaffen (s. Abbildung 7).

Die weitere Entwicklung von der Braunkohle zur Steinkohle erfolgt wie es PRESS und SIEVER (1995) kurz formulieren durch „eine tiefere Versenkung (Anm.: Senkung und Überdeckung), Druck und Temperatur“.

Es muß also zur weiteren Absenkung der Synklinale (des Moores) und Überdeckung kommen, wobei durch den Auflastdruck und der zunehmenden Tiefe die Temperatur ansteigt. Der tektonischen Deformation kommt ebenfalls eine bedeutende Rolle zu, wobei sich dies bei den rezenten Lagerstätten nachweisen lässt: PETRASCHECK (1963) betont die wichtige Rolle des Gebirgsdrucks und

dass „je härter die Gesteine sind, um so besser die Kohle“; er sieht somit einen Zusammenhang zwischen Gesteinsmetamorphose (nur Sand- und Tongesteine) und Reife der Kohle.

Einen Rückschluss, den man aufgrund der Inkohlungsreihe oft gezogen hat, ist, dass die Zeit einen wesentlichen Faktor darstellt; dies verneint PETRASCHECK (1963) mit der Begründung, dass ältere Kohlen aufgrund einer längeren Einwirkdauer der erwähnten Faktoren reifer sind und postuliert: „Die Qualität der Kohle ist unabhängig vom Alter.“

Diese Aussage kann mit der Tatsache begründet werden, dass Material bei einer Erwärmung schneller dem Prozess der Kohlenstoffanreicherung unterliegt – bekannt sind Beispiele aus der Nachbarschaft von Eruptivgesteinen: In Handlowa liegt beispielsweise eine große Eruptivgesteinmasse unter der Kohle, auch Fälle von einer höheren Qualität der Kohle in der Nähe des Eruptivgesteins (im Bereich der Kontaktzone) und einer Abnahme der Qualität mit zunehmendem Abstand kommen vor (s. PETRASCHECK, 1963).

Abgesehen von diesen Fällen, spielt die Zeit natürlich schon eine, wenn auch sozusagen indirekte, Rolle und daher wird Steinkohle häufig als ältere Kohle mit Ursprung im Devon/Karbon bezeichnet.

Aufgrund des Entstehungsprozesses der Steinkohle (vgl. Senkungsvorgänge) kann auch abgeleitet werden, dass in der Regel die Qualität (Reife) mit der vertikalen Tiefe (Teufe) zunimmt, wobei PETRASCHECK (1963) eine Abnahme des Sauerstoffgehalts mit der Tiefe feststellt.

JURASKY (1936) beschreibt die Steinkohle im Vergleich zur Braunkohle wie folgt: „In typischen Fällen erscheint die Steinkohle gegenüber der Braunkohle – abgesehen von chemischen Eigenschaften (Anm.: s. Tabelle 1) – viel mehr verfestigt; höheres spezifisches Gewicht, stark verminderter Wassergehalt, schwarze Farbe und erhöhter Glanz sind weitere Unterschiede zur Braunkohle.“

Steinkohle gilt als „Muttergestein“ für die Bildung von Erdgas ! (s. Seminararbeit 'Erdöl und Erdgas')

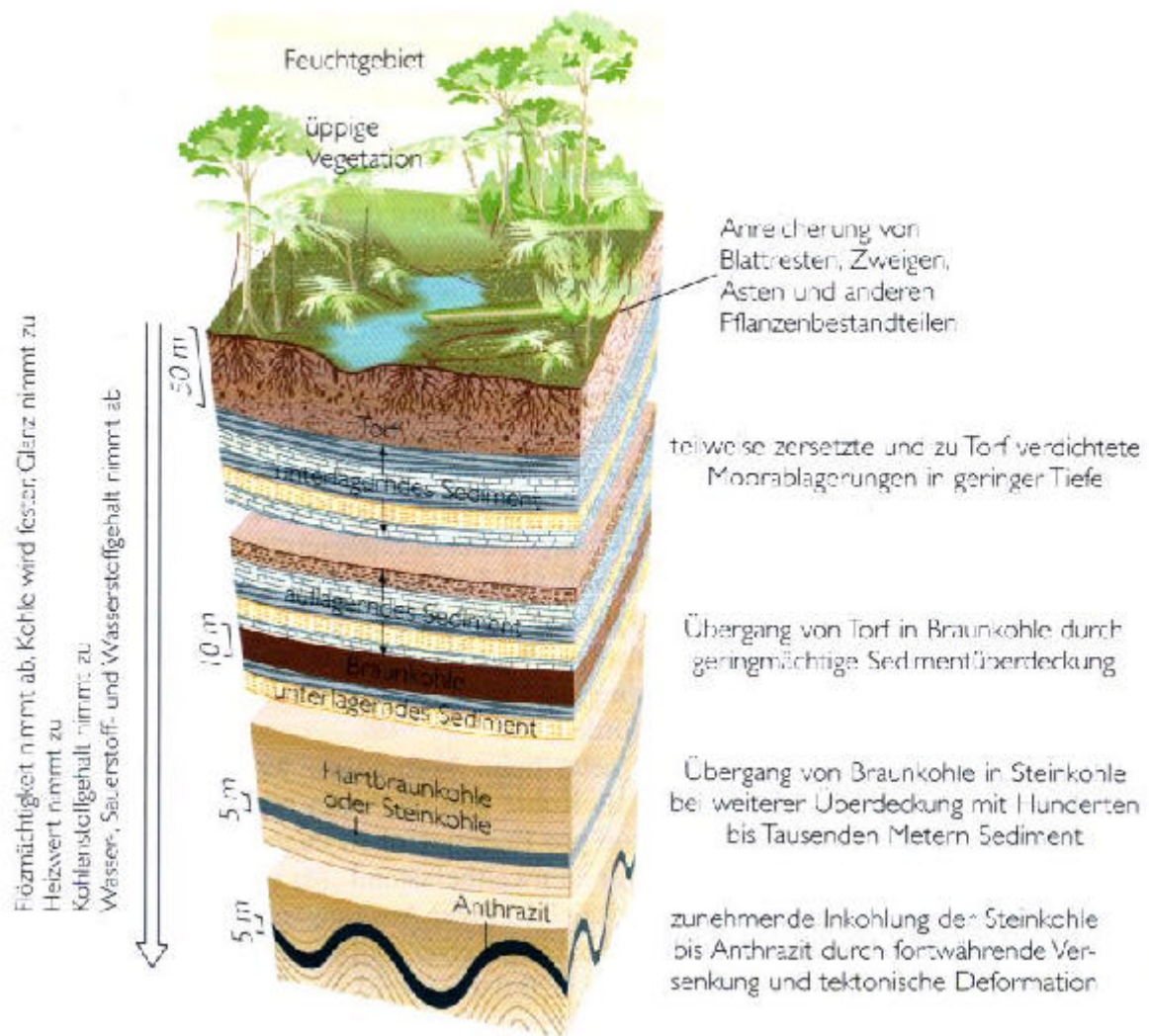


Abbildung 6: Übersicht Inkohlung (Quelle: Press/Siever, 1995)

4. Förderung und Verarbeitung

Die Gesellschaft benötigt und verbraucht immer größere Mengen an Rohstoffen und die Kohle spielt in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle, sodass neben ihrer Entstehung, die bereits in ihren Grundzügen erläutert wurde, auch die Möglichkeiten

der Gewinnung und Verarbeitung kurz erläutert werden sollten.

1. Förderung

Bei der Förderung von Kohle werden grundsätzlich 2 Abbauverfahren unterschieden: Tagebau und Tiefbau (=Untertagebau).

Das Abbauverfahren geht auf die Entstehung zurück – für den Tagebau muss die Kohle von der Erdoberfläche aus erreichbar sein, also nur eine geringe Deckschicht (Überdeckung) aufweisen, jedoch werden im Tagebau bereits Tiefen von 500m (vertikale Tiefe) erreicht. Betrachtet man nun die Entstehung so wird klar, dass die Braunkohle insbesondere für den Tagebau in Frage kommt (vgl. Senkungsvorgänge) und die Steinkohle eher für den Tiefbau; natürlich gibt es auch zahlreiche Fälle, die nicht diesem Grundsatz folgen. Die Möglichkeit des Steinkohleabbaus im Tagebau stellt somit einen erheblichen Wettbewerbsvorteil dar.

Die Förderung muss natürlich wirtschaftlich erfolgen, wobei in diesem Zusammenhang die Braunkohle problematisch ist: Der hohe Wassergehalt (s. Tabelle 1) und der geringere Heizwert erfordern eine effektive und kostengünstige Gewinnung, sodass Braunkohle wirtschaftlich nahezu nur im Tagebau gewonnen werden kann; der hohe Wassergehalt verursacht hohe Transportkosten in der Relation zum Heizwert und dem „Konkurrenten“ Steinkohle (Eine Tonne Rohbraunkohle entspricht im Durchschnitt dem Heizwert von 0,31 Tonnen Steinkohleneinheiten – also einem Verhältnis von ca. 3/1), sodass die Verwendung meist nur ortsnahe rentabel ist. (s. SCHIFFER, 2001; LESER, 1997; REDLICH, 1930)

„Im Einzelnen wird die Wirtschaftlichkeit der Braunkohlegewinnung vornehmlich durch die Tiefenlage der Vorkommen, bergmännisch Teufe genannt, die Mächtigkeit der Flöze, die Zusammensetzung der Deckgebirgsschichten und die Art der Oberflächennutzung, insbesondere die Besiedlung, bestimmt.“ (SCHIFFER, 2001)

2. Verarbeitung

Kohle kann neben der Verfeuerung mit zahlreichen Verfahren zu anderen Stoffen weiterverarbeitet werden. Eines der wichtigsten Verfahren stellt die Trocknung dar,

da diese insbesondere bei Braunkohlen hohen Wassergehalts Vorteile (zum Beispiel bzgl. Transport) bringt; ein bekanntes Produkt der Trocknung von Braunkohle sind Briketts – der Braunkohle wird das Wasser entzogen und anschließend wird diese mit einem Bindemittel in Form gepresst.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen nur die wichtigsten Verarbeitungsverfahren angesprochen werden:

- Kohlenchemie: Die Kohlenchemie beschäftigt sich mit der chemischen Umwandlung von Kohlen und der Weiterverarbeitung der entstehenden Stoffe. Eine der energiepolitisch interessantesten Anwendungen war, besonders in den siebziger Jahren, die Umwandlung von Kohle in gasförmige und flüssige Brennstoffe (Kohleverflüssigung, Kohlehydrierung), wie zum Beispiel Benzin. Die Kohleverflüssigung verursacht verhältnismäßig hohe Kosten, sodass in Zeiten niedriger Rohölpreise dieses Verfahren nicht kostendeckend anwendbar ist; eine Verknappung der Ölreserven, sei es durch Rückgang der Welt-Ölreserven oder auch durch politische Instabilität, insbesondere im Nahen Osten, könnte die Anwendbarkeit dieser Verfahren erhöhen.

Etwa 15% des Benzols, 90% des Naphtalins, 25% des Rußes und nahezu 100% des Anthracen, Chinolin und Elektrodenpechs werden aus Kohle gewonnen. (s. PRESS/SIEVER, 1995; LESER, 1997; REDLICH, 1930)

- Kohleentschwefelung: Im Rahmen dieser Verfahren wird der Kohle der Schwefelanteil entzogen, sodass die Emission von Schwefeldioxid bei der Verbrennung vermindert wird. Kohle enthält organisch gebundenen Schwefel und in Form von Pyrit (FeS_2). Pyrit kann mechanisch durch Aufschlammung entzogen werden, da sich dieser schneller absetzt; es gibt auch noch chemische (mit Eisensulfatlösung) und mikrobielle Verfahren.

5. Verbreitung und Quantifizierung

Im Zusammenhang mit Rohstoffen, die wir aus der Erde gewinnen, stellen sich immer 2 wesentliche Fragen:

- Wie viel ist noch vorhanden ?

- Wie lange wird man damit auskommen ?

Kohle muss als nicht erneuerbarer Rohstoff gesehen werden, da sie durch natürliche Prozesse erheblich langsamer wieder aufgefüllt wird, als die Gesellschaft sie verbraucht.

Wichtig ist zwischen zwei oft unklar verwendeten Begriffen zu differenzieren: „Reserven sind Lagerstätten, die bereits entdeckt sind und derzeit wirtschaftlich abgebaut werden können – und auch rechtlich zum Abbau freigegeben sind. Wenn man von Ressourcen spricht, versteht man darunter die weltweit vorhandene Gesamtmenge eines bestimmten Rohstoffs, die gefördert werden kann. Die Ressourcen schließen also die Reserven ebenso ein wie die bekannten Lagerstätten, die derzeit nicht wirtschaftlich abgebaut werden können, weil der Lagerstätteninhalt zu gering ist, der Abbau nur unter großen Schwierigkeiten möglich ist oder neue Technologien erfordert oder weil die Weltmarktpreise zu gering sind. Die Ressourcen umfassen schließlich auch die bisher noch nicht entdeckten Lagerstätten, die Geologen bei weiterer Exploration für Auffindbar halten.“ (PRESS/SIEVER, 1995)

Aus dieser Begriffsdefinition ergibt sich die Problematik, dass nur die Reserven zu einem bestimmten Zeitpunkt eine verlässliche Bewertung erlauben, unter der Voraussetzung, dass sich wirtschaftlichen und technologischen Bedingungen nicht ändern. Die Ressourcen schließen den schwer bewertbaren Faktor der noch nicht entdeckten Rohstoffe ein (s. Abb. 8).

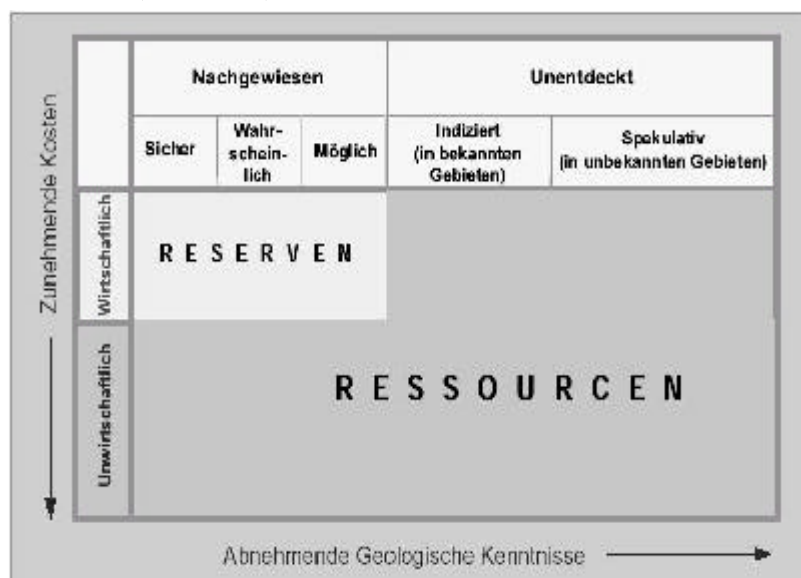


Abbildung 8: Reserven u. Ressourcen (Quelle: Stahl, 1998)

PRESS/Siever (1995) geben Schätzungen von etwa 6,5 Billionen Tonnen auf der Erde lagernder Kohle an. Die führenden Förderländer sind die USA, die ehemalige Sowjetunion und China mit insgesamt 85% der Welt-Kohlevorräte, wobei die ehemalige Sowjetunion 50%, China 20% und die USA 15% Anteil haben. (s. BP, 1998; BARATTA, 1998; PRESS/SIEVER, 1995; www.kohlenstatistik.de)

STAHL (1998) beziffert das Auskommen mit den Kohlereserven bei gleichbleibendem Energieverbrauch mit 185 Jahren (s. Abb. 9)

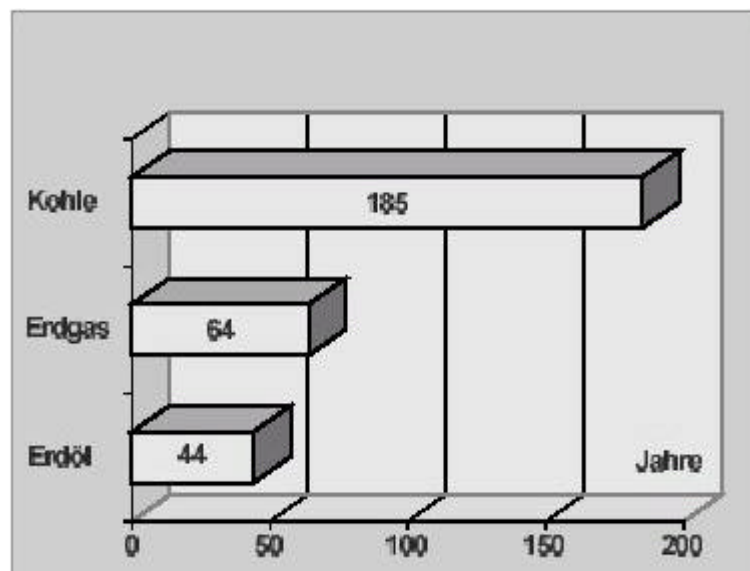


Abbildung 9: Reserven (Quelle: Stahl, 1998)

Bei der Betrachtung der Abbildung ist jedoch zu beachten, dass sich diese Werte auf die Reserven beziehen – unter Berücksichtigung der Ressourcen ergeben sich längere Zeiträume !

In der EU sind die größten Kohleförderer England, Deutschland und Spanien – siehe folgende Tabelle:

	Steinkohle	Braunkohle
BR Deutschland	43849	161282
Frankreich	4033	894
Italien	0	19
Niederlande	0	0
Belgien	0	0
GB	36356	0
Irland	0	2855
Griechenland	0	61469
Portugal	0	0
Spanien	15433	8831
Österreich	0	1054
Schweden	0	0
Finnland	0	8157

Tabelle 4: Kohlenförderung in 1000t, 1999 (Quelle: www.kohlenstatistik.de)

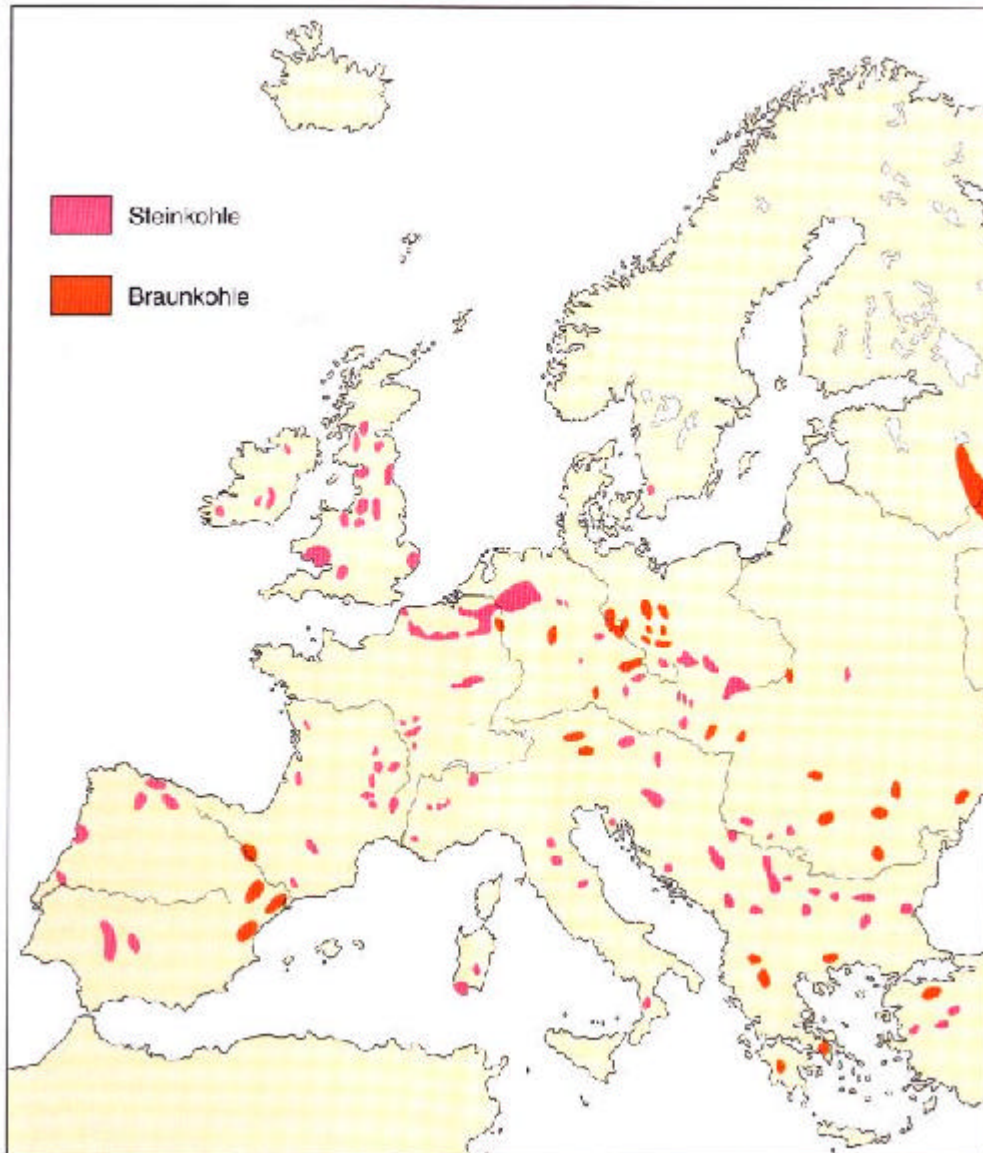


Abbildung 10: Verbreitung der Kohlelagerstätten in Europa (Quelle: Press/Siever, 1995)

6. Stellung der Kohle in der Weltwirtschaft, Regionale Bedeutung

Kohle dient als Energieträger nicht nur der Aufrechterhaltung unseres Gesellschaftssystems, sondern ist aus diesem Grund auch ein wesentlicher Faktor unseres Wirtschaftssystems.

Der Ursprung liegt in der Industriellen Revolution des 18. und 19. Jahrhunderts, die ihre Energie vorwiegend aus der Kohle bezog; die 'klassischen' Industrie- und Bergbauggebiete (England, Wales, Ruhrgebiet, Kölner Bucht) sind teilweise rezent oder haben aufgrund der Verdrängung durch andere Energieträger und des Strukturwandels an Bedeutung verloren. Der Bedeutungsverlust der Kohle ist auf eine Verdrängung durch Energieträger wie Öl, Gas, Kernenergie und der „erneuerbaren Energieträger“ zurückzuführen.

Die fossilen (nicht erneuerbaren) Brennstoffe sind aber nach wie vor die wichtigsten Energierohstoffe:

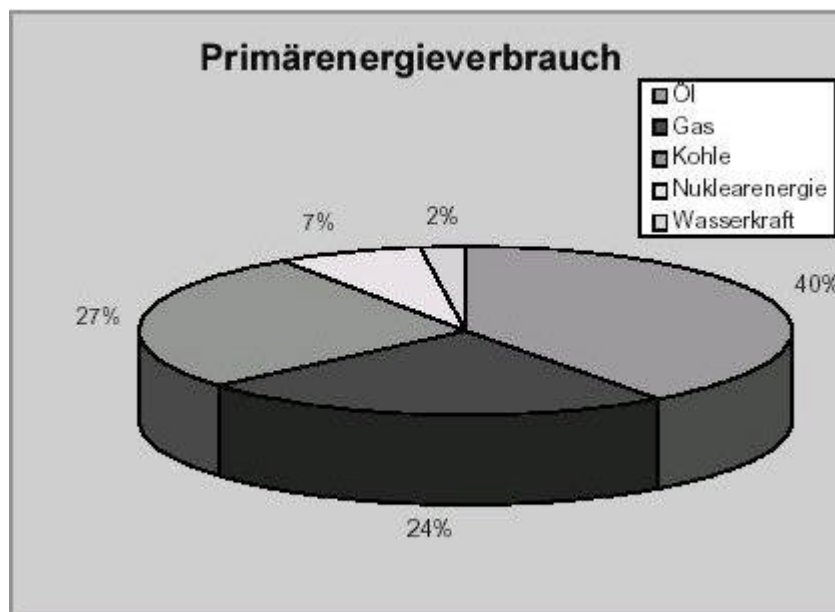


Abbildung 11: Primärenergieverbrauch 1997 (Quelle: BP, 1998)

Die Abbildung verdeutlicht, dass die fossilen Energieträger einen Anteil von 91% am weltweiten Primärenergieverbrauch haben, davon entfallen 27% auf die Kohle.

Der Energieverbrauch wird in Zukunft steigen, wobei das Bevölkerungswachstum ausschlaggebend sein wird – insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern. Eine industrielle Entwicklung und Steigerung des Lebensstandards

in diesen Ländern wird zu einem massiven Anstieg des Pro-Kopf-Verbrauchs führen. Bezogen auf den Energieträger Kohle prognostiziert das WCI (A2-Szenario) einen Anstieg des Anteils am Primärenergieverbrauch (s. Abb. 12) – auffallend ist der massive Rückgang an Nuklear-Energie.

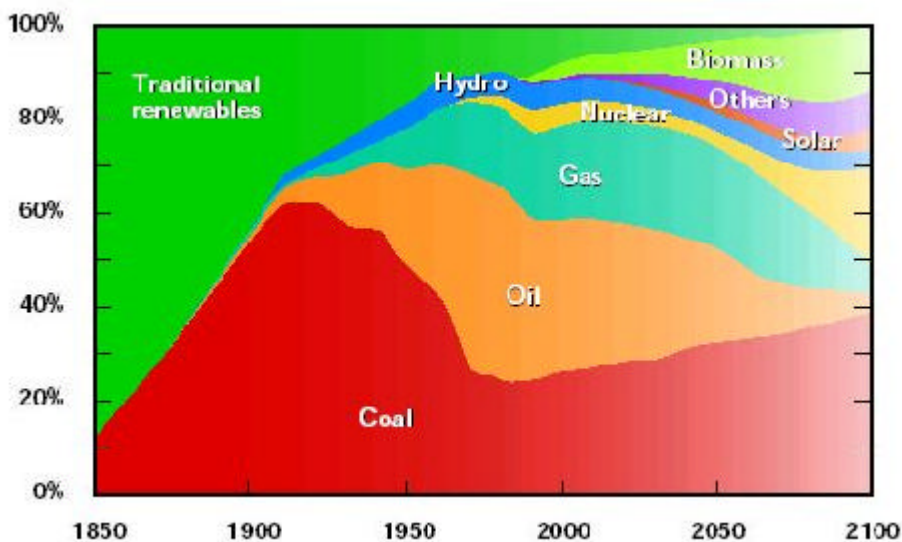


Abbildung 12: A2-Szenario (Quelle: www.wci-coal.com)

Hauptabnehmer von Kohle ist die Elektrizitätswirtschaft, sowie die Eisen- und Stahlindustrie; Schätzungen gehen von einem weltweiten Anteil der Kohle in der Elektrizitätserzeugung von 37% (WCI) bis 45% (STAHL, 1998) aus.

In Deutschland gehen über 90% (www.kohlenstatistik.de) der Braunkohle in die Verstromung, der Anteil der Braunkohle an der Primärenergiegewinnung beträgt 44% (s. Abb. 13).

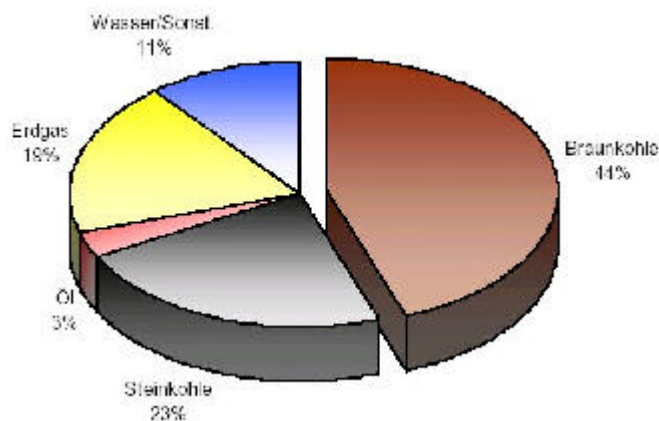


Abbildung 13: Primärenergie BRD (Quelle: www.kohlenstatistik.de)

Der Weltkohlehandel muss entsprechend der Qualität der Kohle differenziert werden: Die Braunkohle weist aufgrund ihrer Entstehung und Stellung in der Inkohlungsreihe einen hohen Wassergehalt und geringeren Heizwert auf (s. Kapitel 2) und ist daher nicht mit Transportkosten belastbar, sondern wird in der Regel im Inland beziehungsweise ortsnah zur Lagerstätte verarbeitet.

Steinkohlen und Hartbraunkohle weisen bessere Eigenschaften auf, dennoch beträgt insgesamt der Anteil der Kohle, die weltweit gehandelt wird, nur 10% der Förderung.

Für Deutschland gibt der Verband der Kohlewirtschaft (www.kohlenstatistik.de) für das Jahr 2001 für die Steinkohle einen Ausfuhrwert von 0,2 Mio. t an (von 31,3 Mio. t Förderleistung), Braunkohle wird nicht bzw. nur in statistisch nicht erfassten Werten exportiert.

Die Kohlewirtschaft ist in den Förderstaaten ein wichtiger Arbeitgeber, jedoch haben sich die Beschäftigtenzahlen aufgrund von Rationalisierungsmaßnahmen reduziert:

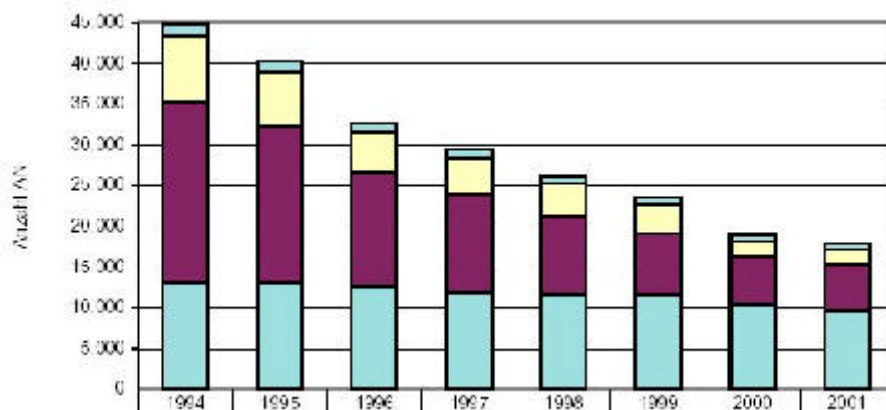


Abbildung 14: Beschäftigte Kohlebergbau (Quelle: www.kohlenstatistik.de)

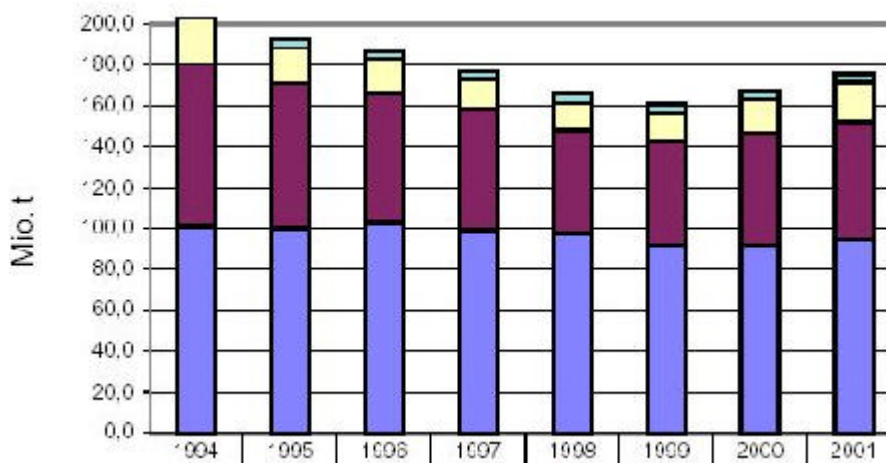


Abbildung 15: Förderung Braunkohle BRD (Quelle: www.kohlenstatistik.de)

Die Grafiken zeigen deutlich den Effekt der Rationalisierung im Braunkohlebergbau in Deutschland: Während die Förderleistung nur geringfügig sinkt beziehungsweise um den Wert von 180 Mio. t schwankt (seit 1994) hat sich die Anzahl der Beschäftigten kontinuierlich nach unten entwickelt. Dies ist Arbeitsmarktpolitisch problematisch, jedoch ein Beispiel einer effektiv durchführbaren Rationalisierung (Förderleistung in etwa konstant bei geringeren Kosten für Personal) und sichert auf lange Sicht die Zukunft des Braunkohlebergbaus, der auch auf Subventionen angewiesen ist.

Die lokale und regionale Auswirkung ist in auf einseitig auf den Bergbau ausgerichteten Gebieten oft problematisch für den Arbeitsmarkt.

Der Steinkohlebergbau hat in Deutschland massive Einbrüche seit 1945 hinnehmen müssen:

Beschäftigte im Steinkohlebergbau (BRD)

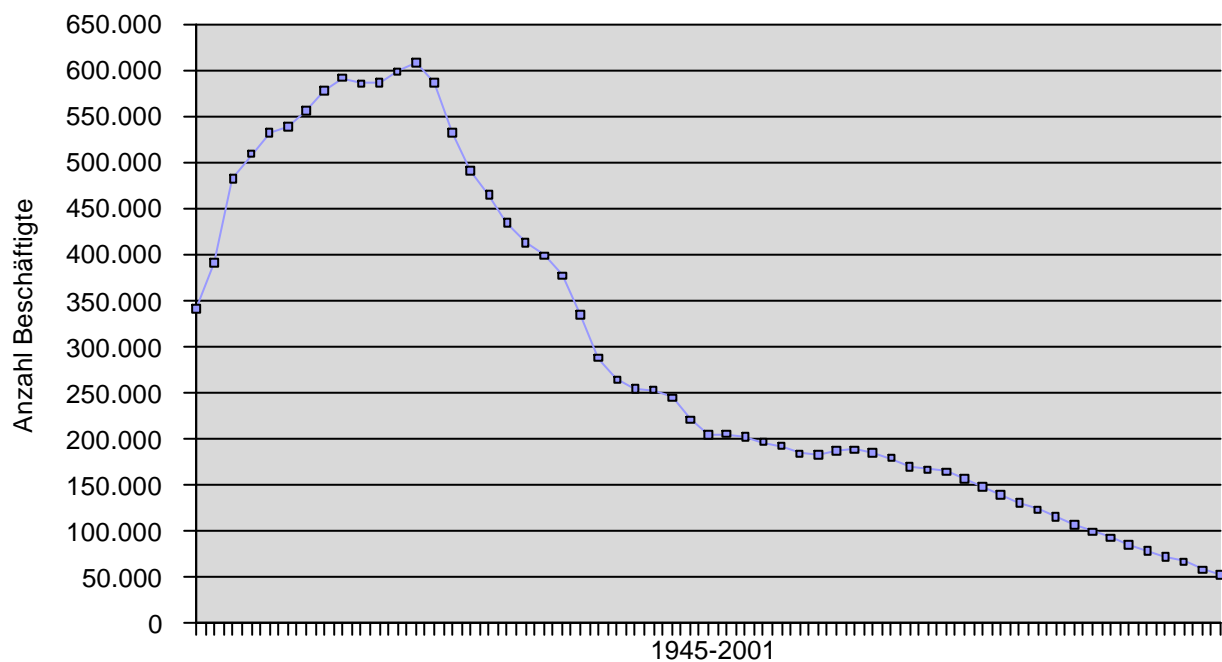


Abbildung 16: Beschäftigte im Steinkohlebergbau 1945-2001 (Quelle: www.kohlenstatistik.de)

Der massive Abbau an Beschäftigten liegt vor allem an der Tatsache, dass eine Förderung im Tiefbau in Deutschland nicht mehr kostendeckend durchgeführt werden kann.

Die Zukunft des Bergbaus, insbesondere der Braunkohle, muss global mit einer

Zunahme der Förderung gesehen werden, sofern es nicht gelingt den künftigen Energiebedarf aus anderen, erneuerbaren, Energieträgern zu decken.

STAHL (1998) schätzt die Zukunft der Kohle wie folgt ein: „In den nächsten 50 Jahren muß die Förderung von Erdöl um fast ein Drittel, von Kohle auf etwa das Doppelte und von Erdgas auf rund das Dreifache gesteigert werden.“

7. Persönliche Schlussbemerkungen

Die Beschäftigung mit dem Thema Kohle im Rahmen dieser Seminararbeit hat wie schon in der Einleitung erwähnt eine Herausforderung bezüglich verschiedener Disziplinen dargestellt – insbesondere neue Literatur befasst sich ausschließlich mit Teilprozessen der Inkohlung und baut dabei auf fundiertes chemisches und biochemisches Grundwissen auf, das einem als Geographen fehlt. Trotz des Besuchs mehrerer Vorlesungen rund ums Thema Vegetation und Boden (Boden- und Vegetationsgeographie, Boden und Landschaft) hab ich teilweise zu Basiswissen wie Zersetzungsprozessen in anderen Büchern nachschlagen müssen und festgestellt, dass diese Vorlesungen mehr „handfeste“ Grundlagen bieten sollten (wie z. Bsp. die VO Boden und Vegetationsgeographie an der ETH).

Einige interessante Fragestellungen, die sich im Rahmen der Arbeit aufgetan haben, konnten nicht mehr in die Arbeit einfließen – zum Beispiel die Fragen rund um die Umsiedlungen (Raumplanerische Problematik, Planungssicherheit), Landschaftsbeeinflussung und Umweltbeeinflussung (Sackungen, Grundwasser, Abraum etc.), sowie das Thema Rekultivierung.

8. Literatur:

APFELBECK, H.: Die Darstellung der Inkohlung im Dreistoff-Diagramm und ihre Nutzenanwendung für die Kohleveredelung. - Montan-Verlag, Wien 1963.

BARATTA, M. (Hrsg.): Der Fischer Weltalmanach. - Fischer, Frankfurt 2000.

BP (Hrsg.): BP Statistical Review of World Energy 1998. - The British Petroleum Company 1998.

HÄRLE, J.: Bergbau und Umwelt. - in: Praxis Geographie, Jg. 28, H. 11. Westermann, München 1998.

JURASKY, K.: Deutschlands Braunkohlen und ihre Entstehung. - Borntraeger, Berlin 1936.

JURASKY, K.: Kohle. - Springer, Berlin 1940.

KERP, H.: Der Wandel der Wälder im Laufe des Erdaltertums. - in: Natur und Museum, Vol. 126, No. 12. Frankfurt 1996.

LESER, H. (Hrsg.): Wörterbuch Allgemeine Geographie. - Deutscher Taschenbuchverlag und Westermann Schulbuchverlag, München 1997.

LITTKÉ, R.: Aufbau und Entstehung von Flözen der Dorstener, Horster und Essener Schichten des Ruhrkarbons am Beispiel der Bohrung Wulfener Heide 1. - in: Bochumer Geologische Schriften, 18. Inst. f. Geologie Ruhr-Univ., Bochum 1985.

PETRASCHECK, W.: Beziehungen zwischen Eigenschaften der Kohle und ihrer Geologischen Geschichte. - Montan-Verlag, Wien 1963.

POHL, W.: Petraschecks Lagerstättenlehre. - Schweizerbart, Stuttgart 1992.

POTONIE, H.: Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt. - Borntraeger, Berlin 1920.

PRESS, F. und SIEVER, R.: Allgemeine Geologie. - Spektrum Akademischer Verlag, Berlin 1995.

REDLICH, C.: Entstehung, Veredelung und Verwertung der Kohle. - Borntraeger, Berlin 1930.

SCHIFFER, H.W. (Hrsg.): Unsere Braunkohlen. - DEBRIV, Köln 2001.

SCHIFFER, H.W. (Hrsg.): Rheinbraun – Gegenwart und Zukunft. - DEBRIV, Köln 1998.

STAHL, W.: Die weltweiten Reserven der Energierohstoffe. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover 1998.

STEININGER, F.: The Early Miocene lignite deposit of Oberndorf N Voitsberg (Styria, Austria) . - in: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 140. Wien 1997.

THOMAS, L.: Handbook of practical coal geology. - Wiley, Chichester 1992.

TOULA, F.: Die Steinkohlen. - Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse , Wien 1888.

v.d. RUHREN, N. (Hrsg.): Braunkohle in Deutschland – Entstehung, Lagerung, Förderung. - in: Geographie und Schule, Sonderheft Oktober 1997.

Internet-Quellen:

www.kohlenstatistik.de: Verband der Kohlenwirtschaft Deutschlands

www.wci-coal.com: World Coal Institute

www.mining-technology.com: Mining Technology – Website for the Mining Industry

www.geologieknoten.de: Arbeitsgemeinschaft Geologie

www.gkb.at: Graz-Köflach Bergbau

www.romonta.de: Romonta GmbH.

www.igb-berlin.de: Leibniz-Institut für Gewässerökologie