

Das Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier

Geologie, Bergbaugeschichte und Schuldidaktik

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Magisters der Naturwissenschaften

an der Karl-Franzens-Universität Graz

vorgelegt von

Sebastian KAPOTSCHI

am Institut für Erdwissenschaften

Begutachter: Hubmann, Bernhard, Ao.Univ.-Prof. Dr.phil.

Graz, 2019

Danksagung

Das Erstellen einer Diplomarbeit erfordert neben persönlichem Eifer auch die Unterstützung durch mehrere Personen, ohne die die Bearbeitung eines solchen Themas nicht möglich gewesen wäre.

Zu allererst möchte ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr. Bernhard Hubmann bedanken, der während des Arbeitsprozesses für etwaige Fragen und Anliegen immer zur Verfügung stand und durch sein Fachwissen stets hilfreiche Anregungen gab.

Weiters sei meinen Eltern ein besonderer Dank ausgesprochen, die mir nicht nur während des Verfassens dieser Arbeit, sondern über meiner gesamte Studienzeit hinweg immer unterstützend zur Seite gestanden sind.

An dieser Stelle gilt auch Herrn Dr. Martin Groß, der mir eine Vielzahl an Exponaten des Naturkundemuseums Joanneum zum Erstellen von Bildmaterial zur Verfügung stellte, sowie Herrn Prof. Dr. Ernst Lasnik, der meinen Betreuer und mich durch das Bergbaumuseum Karlschacht führte und dabei durch sein Wissen auf diesem Gebiet ebenfalls wichtige Anregungen lieferte, ein großer Dank.

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, eine Art für den Schulunterricht verschiedener Unterrichtsfächer gedachtes „Skriptum“ zu erstellen, das zum einen die fachwissenschaftlichen Grundlagen zum Thema „Kohle“ und zum anderen konkret die Paläoökologie, die Bergbaugeschichte sowie die schuldidaktischen Erschließungsmöglichkeiten des Köflach-Voitsberger Braunkohlereviers behandelt.

Die Entstehung von Kohle ist an die günstige Ausprägung mehrerer Parameter gebunden. So müssen etwa die abgestorbenen Pflanzenreste vor Luftsauerstoff geschützt werden, um Verrottung zu verhindern. Diese Möglichkeit besteht am ehesten in sumpfbartigen Landschaften. Weiters sind auch geomorphologische Gegebenheiten entscheidend für die Bildung von Kohleflözen. Und auch die Anforderungen an die zum Beginn der Kohlebildung lebenden Pflanzenvergesellschaftungen, welche wiederum stark vom vorherrschenden Klima abhängen, müssen hier genannt werden.

Es wird gezeigt, dass der Inkohlungsprozess auf einer Verschiebung der Anteile der Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff im Pflanzenmaterial beruht. Die Charakteristika der unterschiedlichen, durch einen verschieden weit fortgeschrittenen Inkohlungsprozess entstandenen Kohlearten werden, auch anhand von Abbildungen, erläutert.

Im Köflach-Voitsberger Revier waren die oben erwähnten geologischen und botanischen Anforderungen in der Zeit vor rund 17,5 Millionen Jahren erfüllt, sodass sich mehrere Kohleflöze ausbilden konnten, die ab der Mitte des 18. Jahrhunderts abgebaut wurden. Im Jahr 2004 wurde die letzte Braunkohle aus der Oberdorfer Mulde in Bärnbach gefördert.

Weiters wird auch die Rolle der Kohle in der Wirtschaft, in der Energieversorgung und am Klimawandel skizziert.

Den Abschluss der Arbeit bildet eine Erarbeitung der Möglichkeiten, das behandelte Thema in den Schulunterricht in den Fächern Biologie und Umweltkunde, Physik, Geographie und Wirtschaftskunde sowie Geschichte und Sozialkunde/Politische Bildung zu integrieren. Dazu zeigt eine Analyse der Gymnasiallehrpläne, dass das Thema „Kohle“

durchaus Teil des Schulunterrichts in mehreren Fächern sein kann. Außerdem werden die für eine schuldidaktische Bearbeitung des Themas geeigneten, im ehemaligen Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier vorhandenen Ressourcen vorgestellt und beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	7
2. Geologische/paläontologische Grundlagen, Verwendung von Kohle.....	8
2.1 Was ist Kohle?.....	8
2.1.1 Grundlagen der Fossilisation von Pflanzen	8
2.1.2 Historische Entwicklung der Erkenntnisse zum Thema „Kohle“	12
2.2 Entstehung von Kohle	15
2.2.1 Voraussetzungen für die Entstehung von Kohle	15
2.2.2 Paläobotanische Aspekte der Kohlebildung.....	18
2.2.3 Inkohlungsprozess	31
2.3 Verwendung von Kohle.....	44
3. Das Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier	47
3.1 Geologische/paläoökologische Ausgangslage im Bezirk Voitsberg im Neogen	47
3.2 Bergbaugeschichte des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevieres	58
3.2.1 Piberstein-Lankowitzer und Pichlinger Mulden.....	60
3.2.2 Karlschacht-Grube.....	63
3.2.3 Karlschacht Tagbau	65
3.2.4 Marienschacht.....	66
3.2.5 Karlschacht Tagbau II	66
3.2.6 Piber, Bärnbach, Grubhof.....	67
3.2.7 Oberdorf	68
3.2.8 Zangtal	71
3.2.9 Kowald	73
4. Ökologische/ökonomische Betrachtung der Kohlenutzung	75
4.1 Kohle als fossiler Energieträger	75
4.2 Wirtschaftliche Bedeutung von Kohle	80
4.2.1 Heutige Situation	80

4.2.2 Auswirkungen des Köflach-Voitsberger Revieres auf die Region.....	82
4.3 Nachnutzung ehemaliger Tagebaugelände.....	83
5. Schuldidaktische Aufbereitung	87
5.1 Lehrplananalyse.....	87
5.1.1 Unterstufe	87
5.1.2 Oberstufe	89
5.2 Vorhandene Ressourcen	91
5.2.1 Bergbaumuseum Karlschacht	91
5.2.2 Montanhistorischer Wanderweg Bärnbach	93
5.2.3 Energieerlebnispark Zangtal.....	94
6. Abbildungsverzeichnis	96
7. Tabellenverzeichnis	98
8. Literaturverzeichnis	99

1. Einleitung

Die Geschichte des Kohleabbaus in Österreich reicht bis in die Anfänge des 18. Jahrhunderts zurück. Zunächst wurde der neuartige Brennstoff von verschiedenen Bevölkerungsgruppen noch abgelehnt; vor allem in der Steiermark aber erfuhr der damals allgemein als „Steinkohle“ bezeichnete Brennstoff auf Grund des damals vorherrschenden Holz Mangels gezwungenermaßen immer größere Beliebtheit (vgl. WEBER & WEISS 1983: 8).

In den folgenden Jahrhunderten sollte sich Kohle sowohl im Haushalt, als auch in der Wirtschaft zu einem der wichtigsten energieliefernden Rohstoffe entwickeln.

In dieser Arbeit werden zum einen allgemeine Grundlagen zum Thema, wie etwa historische Entwicklung der Kohlenutzung, geologische und botanische Gesichtspunkte oder die biologischen/chemischen/physikalischen Kohlebildungsprozesse, beleuchtet.

Zum anderen wird, auch auf Grund der Herkunft des Autors, besonders auf das ehemalige Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier Augenmerk gelegt und im Zuge dessen die Bergbaugeschichte der Region sowie das vor allem auf die Flora bezogene Erscheinungsbild des Bezirkes Voitsberg zur Zeit der Braunkohlebildung umrissen.

Ebenso kommt die Bedeutung von Kohle, und dabei im Speziellen die der Braunkohle, als ökonomischer und ökologischer Faktor zur Darstellung. Dazu werden energiewirtschaftliche Daten aufbereitet, regionale wirtschaftliche Aspekte des Kohleabbaus betrachtet sowie Nachnutzungsmöglichkeiten ehemaliger Tagebaugelände diskutiert.

Große Bedeutung kommt auch einer schuldidaktischen Aufbereitung der oben genannten Themenbereiche zu. Diese Arbeit enthält allerdings keine konkreten Stundenplanungen; vielmehr werden Möglichkeiten, das Thema „Kohle“ in den Unterricht verschiedener Fächer zu integrieren, aufgezeigt und dazu geeignete, bereits vorhandene Ressourcen auf ihren Nutzen für den schulischen Einsatz untersucht.

2. Geologische/paläontologische Grundlagen, Verwendung von Kohle

Um sich in dieser Arbeit näher mit dem Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier sowie mit einer schuldidaktischen Erschließung des Themas „Kohle“ (vor allem für den Biologie- und Umweltkunde-Unterricht) auseinanderzusetzen, ist es meiner Ansicht nach unverzichtbar, die geologischen und paläontologischen Aspekte dieses Sedimentgesteines sowie seine Verwendung näher zu beleuchten. Weiters wird in diesem Kapitel der Versuch unternommen, die Voraussetzungen für die Entstehung von Kohlelagerstätten und die Prozesse, die bei selbiger ablaufen, zu erklären.

2.1 Was ist Kohle?

Wie schon in der Kapiteleinleitung erwähnt, handelt es sich bei Kohle um ein *Sedimentgestein*. Sie entsteht durch Ablagerung organischer Substanz pflanzlicher Lebewesen an Land (genauer gesagt in sumpf- oder moorartigen Gebieten).

2.1.1 Grundlagen der Fossilisation von Pflanzen

Werden Lebewesen und/oder ihre Spuren nach oder während ihres Absterbens eingebettet, kann es in weiterer Folge zur sogenannten *Fossilisation* kommen.

Der Zeitraum vom Tod eines Lebewesens bis zu seiner Einbettung wird *Biostratinomie* genannt. Im Gegensatz dazu steht der Begriff der *Fossildiagenese* für die Prozesse, die sich von der Einbettung eines Organismus bis zur Entdeckung des Fossils abspielen. Zusammengefasst werden beide Begriffe unter dem Ausdruck *Taphonomie* (alle Vorgänge vom Tod bis zur Entdeckung eines Organismus).

Es lässt sich beobachten, dass bei der Fossilisation tierischer Lebensformen häufig Knochen- und Gehäuseteile, kaum aber Weichteile erhalten bleiben. Bei Pflanzen hingegen bleiben häufiger auch der feinzellige Aufbau sowie die widerstandsfähige Außenhaut bestehen (vgl. KLAUS 1987: 54).

Außerdem ist der Zerfall der Pflanze ein weiteres Charakteristikum der „botanischen“ Fossilisation. Dieser lässt sich in zwei Phasen unterteilen:

- Ablösen einzelner Pflanzenorgane zu Lebzeiten der Mutterpflanze sowie
- vollständiger Zerfall des Pflanzenkörpers beim Transport zur Einbettungsstelle.

Erstere hat hauptsächlich biologische Ursachen, wie zum Beispiel Abwurf von Laubblättern und Früchten oder Verbreitung des Pollens. Zweitere beruht auf physikalischen Erscheinungen aus dem Bereich der Mechanik, wie etwa auf Druck- und Reibungskräften (vgl. KLAUS 1987: 54).

Der Zerfall abgestorbener Pflanzen hat zur Folge, dass bei pflanzlichen Fossilien *dispergierte* (= losgelöste) Organe deutlich häufiger zu finden sind als solche, die noch *in situ*, also im ursprünglichen Verbund mit der Mutterpflanze, vorliegen (vgl. KLAUS 1987: 54).

Auch bei der *Einbettung* pflanzlicher Fossilien muss man Unterscheidungen treffen. Diese erfolgen zum einen auf Grundlage des Ortes, zum anderen auf Grundlage des Zeitpunktes der Ablagerung.

Werden Pflanzenteile noch an ihrem ursprünglichen Lebensort überliefert, spricht man von *autochthoner* Einbettung. Die zugehörige Bezeichnung der *primären Lagerstätte* meint eben diesen Ort, an dem sich autochthon überlieferte pflanzliche Fossilien befinden. Ein weiterer Begriff, der in diesem Zusammenhang erwähnt werden muss, ist die sogenannte *Thanatozönose* (= Totengemeinschaft). Hierbei handelt es sich um eine autochthone Überlieferung abgestorbener Lebensgemeinschaften.

Entspricht der Ablagerungsraum nicht mehr dem ursprünglichen Lebensraum des fossilisierten Organismus, liegt eine *allochthone* Einbettung vor. Zu einer solchen kommt es, wenn die betreffenden Pflanzenteile mehr oder weniger weit, meist durch fließendes Wasser, von ihrem Standort zu Lebzeiten wegtransportiert werden. Dazu passt der Begriff der *Taphozönose* (= Grabgemeinschaft). Hierbei handelt es sich um Organismenreste, die nach ihrem Tode aus unterschiedlichen Lebensräumen zusammengeführt wurden.

Mit zeitpunktbezogenen Angaben zur Einbettung von abgestorbenen Organismen verhält es sich wie folgt: „Erfolgt die Einbettung [...] ungeachtet der Entfernung vom Lebensraum in gleichzeitig gebildeten Sedimentschichten, so bezeichnet man ihre Lagerung als ‚synchron‘. Es lässt sich demnach je nach Distanz vom einstigen Lebensort zwischen *synchron autochthoner* und *synchron allochthoner* Ablagerung unterscheiden“ (KLAUS 1987: 56).

Allerdings kann auch der Fall vorliegen, dass Fossilien in solchen Sedimentschichten zu finden sind, die viel jünger als sie selbst sind. Ursachen hierfür wären die Freilegung der Fossilien aus ihrer ursprünglichen Lagerstätte durch Erosion und der anschließende (Weiter-)Transport. In einem solchen Fall spricht man von einer *heterochron allochthonen* Lagerung in einer *sekundären Lagerstätte* (vgl. KLAUS 1987: 57).

Folgende Grafik (Abb. 1) fasst die geografischen und chronologischen Definitionen in Bezug auf die Einbettung und Lagerung von Fossilien nochmals zusammen:

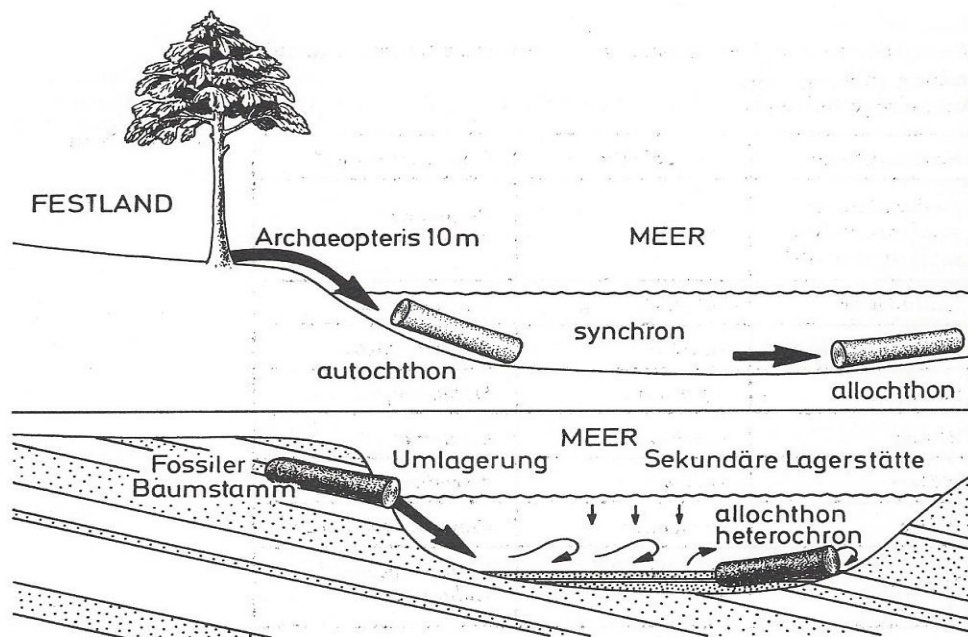


Abb. 1: Schema der Einbettung und Lagerungsmöglichkeiten eines Pflanzenrestes nach KLAUS (1987: 56)

An dieser Stelle ist auch die Frage zu klären, in welcher Form pflanzliche Überreste überhaupt erhalten bleiben können. Nach KLAUS (1987) gibt es dazu folgende Möglichkeiten:

- Organische Erhaltung (z. B. Kohle)
- Anorganische Erhaltung (Echte Versteinierung)
- Anorganische Abformung (z. B. Steinkerne, Abdrücke)
- Pflanzen mit Mineralskelett, wie es beispielsweise bei einigen Algen auftritt.

Im Folgenden sind Fotos aus der Steiermark stammender Beispiele zu eben genannten vier Möglichkeiten der Fossilisation abgebildet.



Abb. 2: Steinkohle aus Turrach, mit Farnabdrücken



Abb. 3: Verkieselter Baumstamm aus Gleichenberg



Abb. 4: Schnecken-Steinkern aus Weissenegg bei Wildon

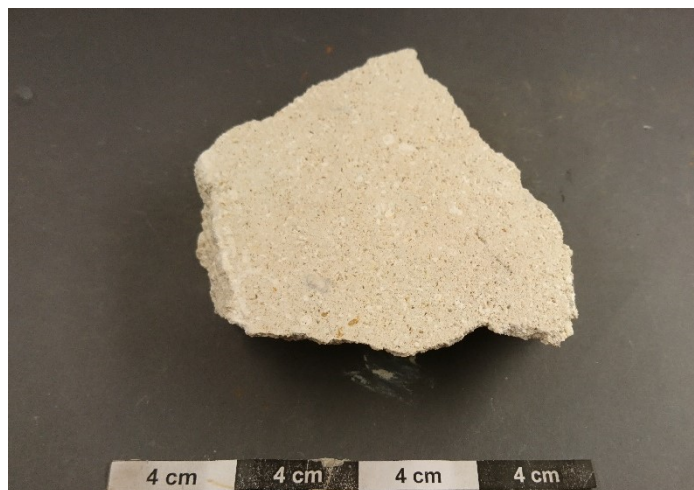


Abb. 5: Leithakalk, Fundort unbekannt

2.1.2 Historische Entwicklung der Erkenntnisse zum Thema „Kohle“

Vor dem 18. Jahrhundert vermutete man, dass es sich bei der zur damaligen Zeit allgemein als „Steinkohle“ bezeichneten Kohle nicht um ein Sedimentgestein, sondern vielmehr um ein vulkanisches Produkt, verdichtetes Erdöl oder umgewandeltes Gestein handle.

Diese Ansicht teilte Ende des 17. Jahrhunderts auch Johann Philipp BÜNTING (1625-1693), Angestellter einer deutschen Bergbau-betreibenden Gewerkschaft: *„Daß die Steinkohlen nichts anderes als in der Syntflut untergegangene Wälder und unter der Erde vermoderte Holzklötzen seyn sollen, ist eine sehr lächerliche und kindliche raison, dadurch diese Leute an den Tag geben, daß sie wenig Bergwerke gesehen, viel weniger aber unter die Erde gekommen seyndt und die mineras beschauet haben, denn ihre rationes und motiven haben gantz keinen Grund noch Verstand“* (BÜNTING 1693, zitiert nach WEBER & WEISS 1983: 12).

In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts machte man sich erneut Gedanken über die Entstehung sowie über die Brennbarkeit der Kohle und führte zumeist auf sich in der Kohle befindliches Erdöl zurück (vgl. LASNIK 2004: 20). Zur Kohlenentstehung meint Johann Heinrich ZEDLER (1706-1751) in seinem in der Erstauflage mehrbändigen *Universallexikon*: *„Daß die Stein-Kohlen insgesamt vom Anfange der Welt sollten dagewesen sein, ist eine Meinung, welche denen sehr vorteilhaft ist, die entweder nicht nachdenken können oder wollen. [...] Der gelehrte Hamburgische Bürgermeister Herr Anderson hat eine ganz besondere Meynung hiervon. Er sagt [...], daß die Steinkohlen ihren Ursprung von abgestandenen, umgefallenen, oder durch Überschwemmungen, umgestürzten und vermoderten Wäldern haben [...]“* (ZEDLER 1737, zitiert nach LASNIK et al. 1997: 20).

Ebenfalls verweist ZEDLER (1737) auf zur damaligen Zeit offenbar relativ häufige Grubenbrände.

Weiters wurden bereits Vor- und Nachteile der langsam Fahrt aufnehmenden Verwendung der „Steinkohle“ gegenüber der Verwendung von Holzkohle diskutiert. Die fossile Kohle solle Schmieden zwar ihre Arbeit erschweren, da Eisen beim Schmelzen mit selbiger *„[...] mit dem Hammerschlage wegspringet“* (ZEDLER 1737, zitiert nach LASNIK 2004: 21), allerdings sei das geschmiedete Produkt deutlich geschmeidiger. Außerdem stand der neuartige Brennstoff vor allem in England, wo seine Nutzung zu dieser Zeit viel weiter fortgeschritten war als etwa in Österreich und so zum Beispiel bereits im Haushalt eingesetzt

wurde, im Verdacht, durch die starke Rauch- und Rußentwicklung diverse Krankheiten zu verursachen sowie metallische Gegenstände zu beschädigen (vgl. LASNIK 2004: 21).

Auch Wissen darüber, dass es mehrere Ausprägungsformen der fossilen Kohle gibt, lag bereits vor. „*Es ist ein Unterschied zwischen denenjenigen, so in den Bergwerken zuoberst, und denen, welche unterhalb gefunden werden*“ (ZEDLER 1737, zitiert nach LASNIK et al. 1997: 21).

Nach ZEDLER (1737) sei Kohle umso hochwertiger, wenn sie folgende Eigenschaften besitzt:

- Ursprung möglichst tief unter der Erdoberfläche
- Möglichst helle Flammenfärbung
- Schwere Entzündbarkeit
- Möglichst schwacher Harz- bzw. Schwefelgeruch
- Möglichst steinerne, aber keinesfalls bröckelige Konsistenz
- Schwarzer Rauch bei Verbrennung
- Schwarze Färbung sowie Vorliegen in großen Stücken
- Kein Öl auspressbar

Im Gegensatz zu den Engländern des 18. Jahrhunderts glaubte ZEDLER (1737) selbst nicht daran, dass der Rauch der „Steinkohle“ gesundheitsschädlich sei. Vielmehr war er der Ansicht, dass selbiger sogar zu medizinischen Zwecken eingesetzt werden könne. Auch dem Öl, das aus der Kohle gewonnen werden konnte, wurden gesundheitsfördernde Eigenschaften zugesprochen (vgl. LASNIK et al. 1997: 22).

Ende des 18. Jahrhunderts lagen bereits recht detaillierte Aufzeichnungen über bergmännisches Fachwissen vor. In Denis DIDEROTS (1713-1784) etwa 70.000 Artikel umfassender *Encyclopédie*, einem der wichtigsten Schriftstücke der Aufklärung, sind den Bergbau und seine technischen Hilfsmittel betreffende Arbeiten zu finden, die den Stand der Technik in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts veranschaulichen (vgl. LASNIK et al. 1997: 22 f.).

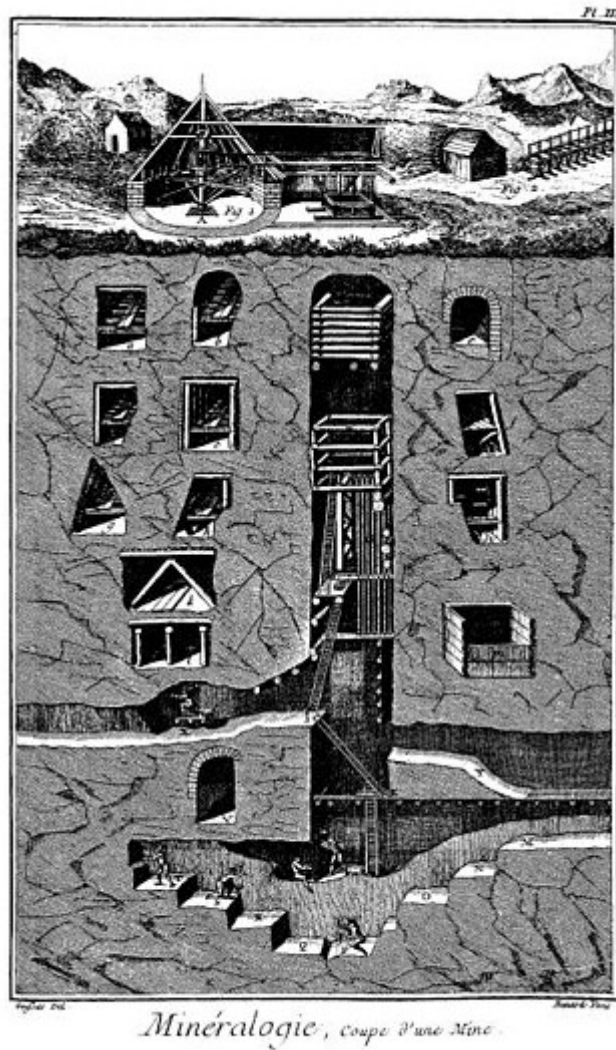


Abb. 6: Bergwerksstollen nach DIDEROT & D'ALEMBERT (1781)

Um nun eine dieses Unterkapitel abschließende, aktuelle Definition von Kohle wiederzugeben, möchte ich mich auf jene des Weltkohleinstitutes (WCI) beziehen:

„Kohle ist der veränderte Überrest von prähistorischer Vegetation, die sich vor sehr langer Zeit in Sümpfen und Torfmooren abgelagert hat“

(World Coal Institute 2005: 2).

2.2 Entstehung von Kohle

Laut World Coal Institute (2005) handelt es sich bei Kohle also um Fossilien abgestorbener Pflanzen, die in sumpf- oder moorartigen Gebieten gelebt haben.

Nun stellen sich aber die Fragen, welche Voraussetzungen für die Entstehung von Kohle gegeben sein müssen, aus welchen Pflanzen sich Kohle überhaupt bildet/gebildet hat und wie der Prozess der Kohleentstehung im Detail abläuft. Im Folgenden wird versucht, diese drei Fragen zu beantworten.

2.2.1 Voraussetzungen für die Entstehung von Kohle

Dass es zur Entstehung von kohleführenden Sedimentschichten kommt, müssen nach WEBER & WEISS (1983) eine Vielzahl von Bedingungen erfüllt sein. Dabei handelt es sich keineswegs nur um topografische Gegebenheiten; auch botanische, klimatische und geologische Faktoren müssen für die Ausprägung nennenswerter Kohleflöze günstig ausgeprägt sein.

(Anmerkung: Bei einem *Flöz* handelt es sich um eine Lagerstätte, die parallel zur umgebenden Gesteinsschicht vorliegt.)

Entscheidend für die Kohlebildung ist, dass die zu Boden fallenden Pflanzenorgane möglichst schnell vom Sauerstoff in der Luft geschützt werden. Das bewirkt, dass durch das unter Sauerstoffmangel stattfindende Absterben aerober Mikroorganismen Verrottung (= Zersetzung von Pflanzenmaterial unter aeroben Bedingungen) weitgehend verhindert wird. Am ehesten möglich ist das in stehenden Gewässern, wo die pflanzliche Substanz vom Bodenschlamm überdeckt wird (vgl. KLAUS 1987: 61).

Kohle kann zudem ausschließlich in Gebieten entstehen, in denen es zu einer ausgeprägten Ablagerung von Sedimenten kommt. Gemeint sind hier nicht nur die Bestandteile der Kohle (also Pflanzenreste) selbst, sondern auch solche, die die angereicherte Pflanzensubstanz überdecken. In Österreich handelt es sich nach WEBER & WEISS (1983) bei diesen Gebieten vorrangig um Becken und Senken.

(Anmerkung: Kohle aus Kohlelagerstätten in Beckenregionen wird als *intramontane* Kohle bezeichnet. Im Vergleich dazu nennt man Kohle aus Ablagerungsgebieten in

Meeresküstennähe *paralisch*, solche aus Ablagerungsgebieten an Ufern von Flüssen und Seen *palustrisch*.)

Dabei sind Beckengebiete mit schwacher Einsenkung gegenüber solchen mit starker, schneller Einsenkung eher für die Bildung von Kohle geeignet. Der Grund dafür ist, dass bei zu schneller und tiefer Einsenkung der Grundwasserspiegel zu schnell steigt und sich dadurch ein stehendes Gewässer (*limnisches Regime*) im Becken ausbildet, was vielmehr die Bildung anderer Sedimentgesteine begünstigt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 13).

Gibt es (bei konstantem Grundwasserspiegel) keine oder eine zu langsame Einsenkung des Beckens, so kann sich nicht genug pflanzliches Material anreichern, da selbiges den Grundwasserspiegel bald übersteigt und so der Verrottung ausgesetzt sein wird (vgl. PETRASCHECK 1956: 29).

Es muss sich also in gewisser Weise ein Gleichgewicht zwischen Pflanzenablagerung und Bodensenkung (= *Subsidenz*) einstellen.

Auch darf die Sedimentationsgeschwindigkeit in Beckenteilen, in denen Kohle entstehen soll, nicht zu groß sein, da sonst der Anstieg des Grundwassers zu langsam erfolgt und sich Fließgewässer (*fluviatiles Regime*) ausbilden, die die Kohleentstehung ebenfalls nicht begünstigen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 13).

Geeignet für die Entstehung von Kohleflözen sind nach WEBER & WEISS (1983) lediglich Beckengebiete, in denen *telmatische* (also sumpffartige) Verhältnisse vorherrschen. „*Wo also die Geschwindigkeit der Bodensenkung bei stets oberflächennah bleibendem Grundwasser gleich groß ist wie die Geschwindigkeit des Nachwachsens der Moorvegetation, dort werden [...] Kohleflöze gebildet*“ (PETRASCHECK 1956: 29).

Das konnte auch NEBERT (1982) zeigen, indem er bei Untersuchungen an Sedimentstapeln aus Becken mit Kohlevorkommen feststellte, dass Kohle immer in Sedimentschichten eines Sedimentationszyklus zu finden ist, die eine Phase repräsentieren, die zeitlich nach einer fluviatilen, aber vor einer limnischen Sedimentationsphase liegt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 12 f.). Da es nach NEBERT (1982) in Becken zu mehreren Sedimentationszyklen kommen kann, können auch mehrere solcher telmatischer, kohleführender Phasen innerhalb eines Sedimentstapels vorliegen.

Folgende Abbildung (Abb. 7) zeigt das stratigraphische Profil des Wies-Eibiswalder Braunkohlerevieres in der Steiermark. Erkennbar sind dabei vier Sedimentationszyklen, die jeweils eine kohleführende Schicht (schwarze Balken) aufweisen.

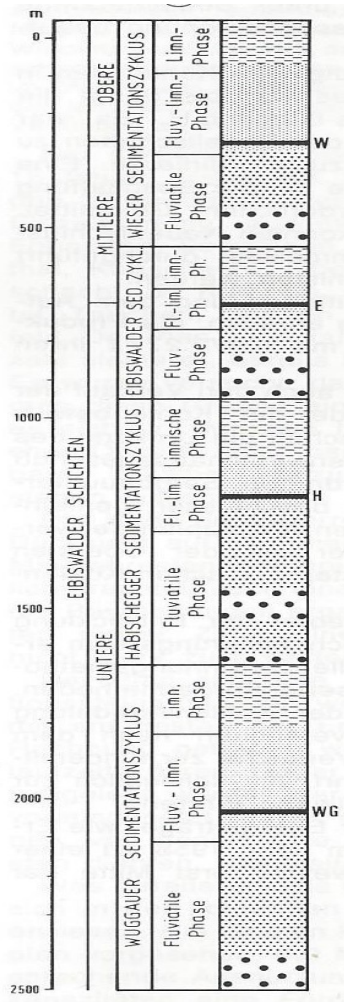


Abb. 7: Profil des Wies-Eibiswalder Braunkohlerevieres nach NEBERT (1982)

Für die Entstehung eines Sumpfes sind nach LÜTTIG (1971) bestimmte Positionen innerhalb des Beckens gegenüber anderen bevorteiligt. Demnach sind solche Beckenregionen für die Bildung eines Telmaticums besonders vorteilhaft, die hinter einer Aufragung des Beckengrundes und nicht in der Nähe von Beckenhauptzufluss und Beckenabflüssen liegen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 13).

Erwähnt sei außerdem noch ein weiterer wichtiger Faktor für die Kohlebildung, nämlich das zu Lebzeiten der inkohlten Pflanzen vorherrschende Klima. Betrachtet man den Temperaturverlauf des Känozoikums, also des Erdzeitalters der letzten 65 Millionen Jahre, stellt man fest, dass zu Lebzeiten der in der heute bekannten Braunkohle enthaltenen

Pflanzen ein deutlich wärmeres Klima herrschte als heute. Aufschlüsse über den erdgeschichtlichen Temperaturverlauf gibt unter anderem der $\delta^{18}\text{O}$ -Wert in Sedimenten eingeschlossener, karbonatischer Reste verschiedener Lebensformen (zum Beispiel Foraminiferen). Dabei handelt es sich um ein Verhältnismaß der stabilen Sauerstoff-Isotope ^{16}O und ^{18}O (vgl. ZACHOS et al. 2001: 2 f.).

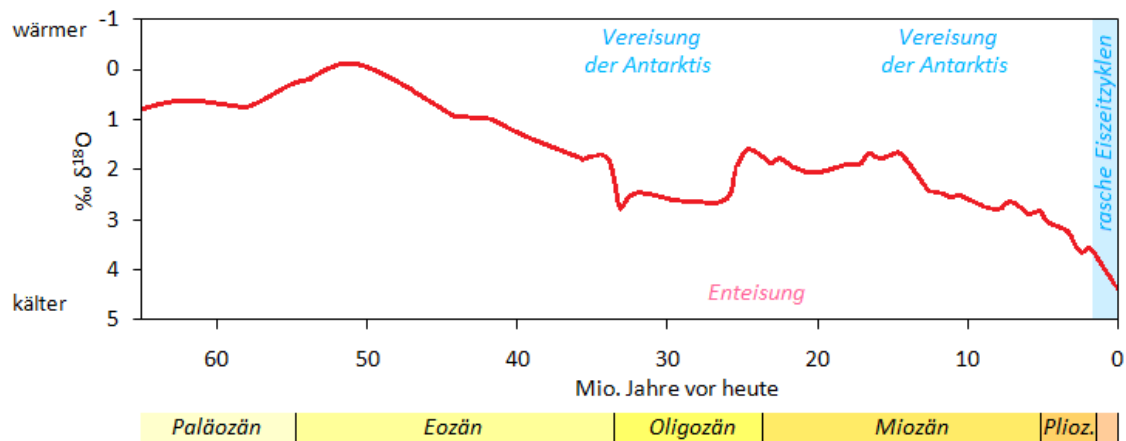


Abb. 8: Temperaturverlauf des Känozoikums, rekonstruiert anhand $\delta^{18}\text{O}$ -Daten, nach ZACHOS et al. (2001)

Der Grund für die Temperaturabhängigkeit der Kohlebildung liegt nach KLAUS (1987) darin, dass Pflanzengesellschaften aus tropischen oder subtropischen Gefilden (zu denen etwa zu Zeiten des Oberkarbons oder des Neogens auch Mitteleuropa gehörte) eine weit höhere Stoffproduktion haben als solche aus gemäßigten Klimazonen.

Das deutet schon darauf hin, dass die inkohlte Materie mitteleuropäischer Kohlevorkommen nicht hauptsächlich aus Pflanzen besteht, die unser heutiges Landschaftsbild prägen. Im Folgenden sollen die botanischen Gesichtspunkte des Themas „Kohle“ näher betrachtet werden.

2.2.2 Paläobotanische Aspekte der Kohlebildung

Um zu untersuchen, aus welchen Pflanzenresten Kohle zusammengesetzt ist, sowie aus diesen Erkenntnissen Rückschlüsse über das Landschaftsbild zu Lebzeiten der inkohlten Pflanzen zu gewinnen, ist eine detaillierte Betrachtung der kohlebildenden Fossilien notwendig. Das Arbeitsgebiet, das sich mit dieser Thematik auseinandersetzt, ist die sogenannte *Paläobotanik*. Nach Wilhelm KLAUS (1921 - 1987), einem der bedeutendsten österreichischen Forscher auf diesem Gebiet, untersucht die Paläobotanik die Evolution

pflanzlicher Organismen im Laufe der Erdgeschichte sowie die Arealverschiebungen von Pflanzentaxa (vgl. KLAUS 1987: 17).

Die Arbeitsmethoden dieses Forschungsgebietes lassen sich in morphologische und histologische Untersuchungen der im Sediment eingebetteten Fossilien unterscheiden. Bei morphologischen Analysemethoden werden die äußere Struktur und Form der Pflanzenreste untersucht. Da allerdings auf Grund des Zerfalls pflanzlicher Organismen vor ihrer Einbettung oftmals nur sehr kleine fossile Reste erhalten bleiben, sind histologische (also den Gewebeaufbau betreffende) Untersuchungsmethoden, die sich mikroskopischer Verfahren bedienen, ebenfalls unverzichtbar, um eine Fossilienprobe taxonomisch einordnen zu können (vgl. KLAUS 1987: 128 ff.). Konkret unterscheidet KLAUS (1987) folgende Analyseverfahren:

- Großfossilanalyse:

Dabei handelt es sich um die morphologische, ohne stark vergrößernde Hilfsmittel durchgeführte Betrachtung gut erhaltener Blätter, Früchte, Samen, Blüten, Stammoberflächen oder Wurzeln.

- Kutikularanalyse:

Die mikroskopische Untersuchung der Cuticula (= Wachsüberzug der Epidermis von Pflanzenblättern) gibt Aufschluss über die Blattoberflächenbeschaffenheit im Sediment eingeschlossener Blätter.

- Stelenanalyse/Xylotomie:

Dünnschnittpräparate fossiler Gehölze zeigen unter mikroskopischen Apparaten den histologischen Holzaufbau.

- Palynologie:

Auch die mikroskopische Untersuchung des Pflanzenpollens kann Aufschluss über die taxonomische Zugehörigkeit einer fossilen Pflanzenprobe geben, da Pollenkörner verschiedener Pflanzentaxa unterschiedliche Struktur aufweisen.

Schon JURASKY (1936) erkannte, dass die heutigen botanischen Verhältnisse unserer Breiten nicht besonders förderlich für die Entstehung von Kohle sind. Bei der Bodenuntersuchung in einem mehr oder weniger ursprünglichen Laubwald fällt auf, dass trotz des jährlichen Laubabwurfes der Bäume, der schon seit vielen Jahrzehnten stattfindet, O- und A-Horizont (also die organische Bodenaufgabe sowie die Humusschicht) sehr dünn sind. Das hat damit

zu tun, dass die Produktion an pflanzlichem, organischem Material heimischer Gewächse verglichen mit dem rasch stattfindenden mikrobiologischen Abbau zu gering ist.

Daher kam bei der Untersuchung der Kohlebildung schnell die Frage auf, wie es möglich war, dass derartig viel pflanzliches Material abgelagert werden konnte, sodass heute im Sediment teils meterdicke kohleführende Phasen zu finden sind (vgl. KLAUS 1987: 75).

Unter günstigen Umständen lässt sich auch in heimischen Wäldern, nämlich vor allem in Nadelwäldern, bei denen der Boden von einer Streuschicht bedeckt ist, beobachten, dass sich durchaus beachtliche *Humus- und Torfschichten* bilden (im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird sich zeigen, dass es sich bei solchen Schichten um Vorstufen von Kohleflözen handeln kann). Dazu müssen aber, wie schon erwähnt, die pflanzlichen Überreste vor Verrottung weitestgehend geschützt werden. Das kann nur dadurch erfolgen, dass feuchtes, kühles Klima zu einer Durchfeuchtung des Bodens führt, die eine gute Bodendurchlüftung zusammen mit der aufliegenden Streuschicht verhindert. Durch die dadurch deutlich reduzierte Bodenmikroflora laufen von der aeroben Verrottung verschiedene, anaerobe Zersetzungs Vorgänge ab, bei der sich Humussäuren bilden, die die bodenbiologischen Verhältnisse noch ungeeigneter für aerobe Mikroorganismen machen und so die Bildung mächtiger Humus- und Torfschichten weiter begünstigen (vgl. JURASKY 1936: 3).

Solche Ereignisse können in weiterer Folge zur Entstehung eines *Hochmoores* führen. Bestimmte Moosarten, zum Beispiel solche aus der Gattung *Sphagnum*, siedeln bevorzugt auf stark durchnässten, versauerten Böden. Da diese Moose in der Lage sind, ein Vielfaches ihres eigenen Gewichtes an Wasser aufzunehmen und im Laufe der Zeit dicke, in die Höhe wachsende Polster bilden, wird den Bäumen nach und nach der Zugang zu Bodennährstoffen entzogen und der Wald stirbt ab (vgl. JURASKY 1936: 3).



Abb. 9: Torfstich im Wurzacher Ried in Baden-Württemberg
(Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Torfstich#/media/File:Torfabbau-im-wurzacher-ried.jpg> [29.10.2018])

Die mächtigen Torfschichten eines Hochmoores werden häufig abgebaut („*Torfstich*“, siehe Abb. 9) und in getrockneter Form vor allem als Brennstoff verwendet, was dazu führt, dass dieses Ökosystem mit seiner zum Teil sehr speziellen Flora und Fauna als stark gefährdet gilt.

Allerdings ist ein Hochmoor auf ausreichenden Niederschlag angewiesen, da ihm keine anderen Quellen für die Durchfeuchtung des Bodens zur Verfügung stehen. Nach heutiger Auffassung muss es aber für Kohlenentstehung einen periodischen Wechsel der Pflanzengesellschaften geben, der nur durch klimatische Schwankungen (vor allem bezogen auf die Niederschlagsmenge) auftreten kann. Daher sind Hochmoore zwar Beispiele dafür, wie es zur Anreicherung großer Mengen an pflanzlichem Material im Boden kommen kann; sie sind aber für die Bildung von Kohlelagerstätten eher ungeeignet (vgl. JURASKY 1936: 4).

In *Niederungsmooren* hingegen ist nicht der Niederschlag, sondern das Grundwasser hauptverantwortlich für die Bodennässe. Solche Lebensräume entstehen bei der *Verlandung* von stehenden Gewässern. Dieser in mehreren typischen, je nach Nährstoffreichtum des Sees leicht unterschiedlichen Phasen ablaufende Vorgang führt ebenso zur Bildung von Torfablagerungen (vgl. PETRASCHECK 1956: 36).

Der auf die Kohlebildung bezogene Vorteil gegenüber Hochmooren besteht darin, dass die Vegetation in Niederungsmooren nicht vom Niederschlag abhängig ist, sondern vom

Grundwasser gespeist wird. Dadurch können die Pflanzen eines Niedermoores auf mehr Nährstoffe zugreifen, was die Produktion an organischem Material erhöht. Außerdem entfällt das Risiko einer durch eine Trockenperiode bedingten Austrocknung (vgl. JURASKY 1936: 3 f.).

Erhaltung größerer Mengen an abgestorbenem, pflanzlichem Material geschieht also offenbar nur in moorartigen Landschaftsteilen, da dort aerobe Zersetzung der Pflanzenreste verhindert wird. Wie allerdings schon am Ende des Unterkapitels zu den Voraussetzungen für die Kohleentstehung (2.2.1) erwähnt, reicht die von heute heimischen Gewächsen geleistete Produktion an organischem Material trotz verhinderter Verrottung nicht aus, um mächtige Kohleablagerungen zu bilden.

„Die Kohlen sind überwiegend aus tropischen und subtropischen Niedermooren entstanden“
(PETRASCHECK 1956: 37).

Der österreichische Botaniker Franz UNGER (1800 – 1870), der unter anderem auch einige Schriften zur fossilen Flora verfasste, konnte bereits zeigen, dass Fossilien aus steirischen Braunkohlelagern nicht recht zur heute vorherrschenden Pflanzenwelt dieser Region passen, sondern eher Übereinstimmungen mit Pflanzen aus wärmeren Breiten aufweisen (vgl. GRÄF 1988: 2).

Die bei derartigen Fossilienuntersuchungen gefundenen Pflanzentaxa führten dazu, dass im Laufe der Zeit mehrere Theorien über den Lebensraum der inkohlten Gewächse hervorgebracht wurden. Der deutsche Paläobotaniker Henry POTONIÉ (1857 – 1913) vertrat Ende des 19. Jahrhunderts die Ansicht, dass Kohle lediglich in Sumpfmoores, die mit den heutigen „Cypress-Swamps“ im Süden der USA vergleichbar waren, gebildet wurde („Swamptheorie“).



Abb. 10: Sumpfyypressen (*Taxodium* sp.) im Lake Martin wildlife preserve, Louisiana
(Quelle: <https://www.maxpixel.net/Lake-Martin-Louisiana-Cypress-Swamp-Lake-Green-1158162>[31.10.2018])

Er stützte seine Annahmen dadurch, dass in der von ihm untersuchten Braunkohle sehr häufig Überreste der Echten Sumpfyypresse (*Taxodium distichum*) zu finden waren. Und auch andere typische Vertreter der nordamerikanischen Sumpfwälder konnten nachgewiesen werden, wie etwa der Tupelobaum (*Nyssa* sp.) (vgl. KLAUS 1987: 75 f.).

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Swamptheorie allerdings in Frage gestellt, da Walther GOTHAN (1879 – 1954) und einige andere Paläobotaniker vor allem auf Grund der ebenfalls in der mitteleuropäischen Braunkohle nachweisbaren Arten der Unterfamilie *Sequoioideae*, deren heutiger Standort aber keinesfalls Sumpfgebiete, sondern die subtropischen Küstenregionen Kaliforniens sind, die „Trockentorftheorie“ formulierten. Dieser Hypothese zufolge bildete sich Kohle aus Waldtorf, der in feuchten Wäldern abgelagert wurde. Typische Funde, die diese Theorie stützten, waren den Arten Küstenmammutbaum (*Sequoia sempervirens*) und Riesenmammutbaum (*Sequoiadendron giganteum*) zuzuordnen (vgl. GRÄF 1988: 4). Das häufige Auftreten der Echten Sumpfyypresse wurde dadurch erklärt, dass es zu Verwechslungen der Mexikanischen Sumpfyypresse (*Taxodium mucronatum*) gekommen ist, deren Standort trockenere Gebiete als die Sumpfwälder der Swamptheorie sind (vgl. KLAUS 1987: 76).



Abb. 11: Küstenwald mit Küstenmammutbäumen (*Sequoia sempervirens*)
(Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Redwood_and_fog.jpg [31.10.2018])

Bei weiteren Braunkohleuntersuchungen, die im Verlauf der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vorgenommen wurden, konnten überraschenderweise beide Annahmen über die in der Kohle erhaltene Pflanzengesellschaft (also sowohl die Swamptheorie, als auch die Trockentorftheorie) bis zu einem gewissen Grad bestätigt werden, da sowohl Pflanzen aus Sümpfen, als auch Pflanzen aus trockeneren Wäldern auf Grund neuerer Analyseverfahren gesichert nachgewiesen werden konnten. Federführend war dabei unter anderem der österreichische Geologe Karl Alfons JURASKY (1903 – 1945), der sich bei der Kohleuntersuchung erstmals der Kutikularanalyse bediente (vgl. KLAUS 1987: 76).

Es blieb allerdings noch die Frage zu klären, wie es möglich ist, dass sich in der Braunkohle Pflanzen aus offenbar sehr unterschiedlichen Lebensräumen befinden. Dazu entwarf die deutsche Geologin Marlies TEICHMÜLLER (1914 – 2000) ein Modell der Abfolge verschiedener Pflanzenverbände („*Sukzession*“) im Zuge der Verlandung eines stehenden Gewässers (vgl. KLAUS 1987: 76). Nach TEICHMÜLLER (1958) ist dieser Wechsel der Pflanzenvergesellschaftungen durch Veränderungen des Grundwasserspiegels bedingt, der wiederum geologische Ursachen hat. Die folgende Abbildung (Abb. 12) soll dieses Modell veranschaulichen:

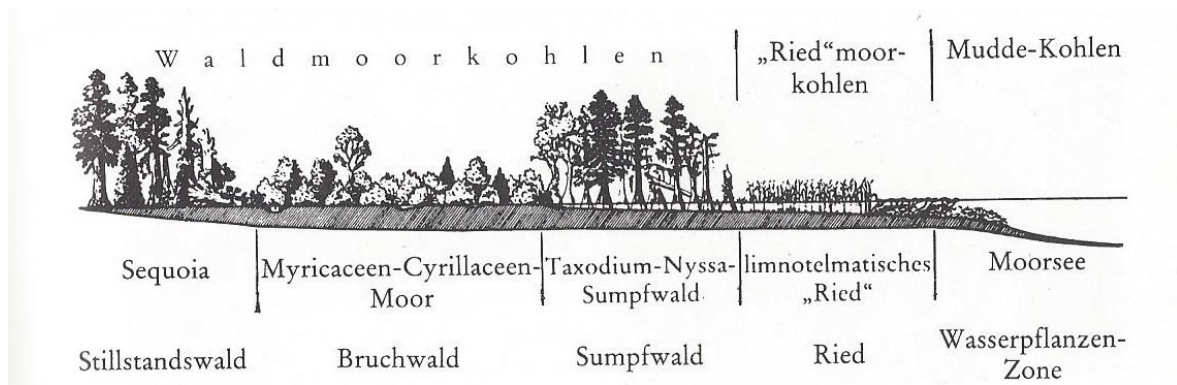


Abb. 12: Schema der Bildung eines Braunkohlemoors nach TEICHMÜLLER (1958)

Bei der Erstellung dieser Hypothese verglich TEICHMÜLLER die im Zuge der heute beobachtbaren Moorsukzession der Sumpfbiete im Süden der USA auftretenden Pflanzengesellschaften mit den in mitteleuropäischen Braunkohlen gefundenen Überresten pflanzlicher Lebewesen. Dabei stellte sich heraus, dass die Flora der braunkohlebildenden Sümpfe des paläogenen und neogenen Mitteleuropas der der rezenten subtropischen Moore sehr ähnlich gewesen sein musste (vgl. KLAUS 1987: 76 f.).

Demnach folgte die Sukzession in einem „Braunkohlemoor“ folgendem Muster (vgl. KLAUS 1987: 77 ff.):

- *Moorsee:*

Flaches, stehendes Gewässer, in dem sich *Mudde* (Schlamm mit hohem Anteil an organischem Material) abgelagert. In der heute bekannten Braunkohle werden Schichten, die aus der Diagenese der Mudde entstanden sind, als „Muddekohle“ oder „Brandschiefer“ bezeichnet. In diesen Schichten sind vor allem Pollenkörner gut erhalten, die im „Braunkohlezeitalter“ hauptsächlich vom Wind in den Moorsee getragen wurden.

- *Riedmoor:*

Wird durch die Muddeablagerung der Wasserstand so niedrig, dass bereits Wasserpflanzen den Boden erreichen können, geht ein Moorsee in ein Riedmoor über und es entwickelt sich eine charakteristische *limnotelmatische Pflanzengesellschaft*. Reste (darunter zum Teil auch Rhizome und Blätter) von Seerosengewächsen (*Nymphaeaceae*), Schilfrohren (*Phragmites*), Rohrkolbengewächsen (*Typhaceae*), Sauer- (*Cyperaceae*) und Süßgräsern (*Poaceae*) sind typische Anzeiger für Kohleschichten („Riedmoorkohle“; hell gefärbt!), die sich aus Riedmooren gebildet haben.

- *Sumpfwald* (siehe Abb. 10):

Ab Wassertiefen ≤ 1 m kann das sumpfige Milieu von Bäumen besiedelt werden. Besonders häufige Vertreter in den paläogenen und neogenen Sumpfwäldern waren Arten aus den Gattungen der Sumpfzypressen (*Taxodium*), wobei von selbigen vor allem die Überreste des stark harzhältigen Holzes einen großen Anteil der rezenten Braunkohle ausmachen, und der Tupelobäume (*Nyssa*), von denen allerdings weniger das Holz, sondern eher Pollenkörner, Steinkerne der Früchte sowie Blätter erhalten blieben. Häufig wurden in Braunkohleflözen auch inkohlte *Pneumatophore* (= Atemwurzeln) der Echten Sumpfzypresse (*Taxodium distichum*) gefunden (siehe Abb. 13).



Abb. 13: *Pneumatophor* der Echten Sumpfzypresse (*Taxodium distichum*) aus der Braunkohle von Parschlug, Steiermark nach PETRASCHECK (1956: 37)

Kohle, die sich aus dem Sumpfwaldstadium eines Moores gebildet hat, wird (wie auch Kohle aus den beiden im Folgenden beschriebenen Sukzessionsstadien) als „Waldmoorkohle“ bezeichnet.

- *Buschmoor/Bruchwald*:

In Folge der weiter fortschreitenden Verlandung kommt es zur zumindest temporären Trockenlegung des Sumpfwaldes. Dadurch wird die Vegetation zwar üppiger, aber auch von kleineren Gewächsen bestimmt. Konkret sind in Kohlen aus Buschmoor und Bruchwald vor allem bedecktsamige Pflanzen (*Magnoliopsida*) zu finden. An feuchteren Standorten wuchsen beispielsweise noch immer Arten der Gattung

Tupelobäume (*Nyssa*) sowie Weidengewächse (*Salicaceae*). Auch Gagelstrauchgewächse (*Myricaceae*) und Farne, wie zum Beispiel der Königsfarn (*Osmunda regalis*), müssen in diesem Biotop häufig vorgekommen sein. In mitteleuropäischen Braunkohlen wurden etwa auch *Cyrilla racemiflora* und Arten der Gattung Stechwinden (*Smilax*) nachgewiesen. Bei diesem von Laubböhlzern dominierten Stadium der Verlandung wird die höchste Produktion an organischem Material erreicht und es bildete sich daher auch der Hauptanteil der rezenten Braunkohle aus Buschmoor- und Bruchwaldflora. Dieser sogenannte *Braunkohlendurit* zeichnet sich durch einen sehr homogenen Aufbau aus, der dadurch zustande kommt, dass das Holz der Laubbäume sehr wenig Harz enthält und so bei der Inkohlung bis in seine feinsten Bestandteile abgebaut wird.

Im heute in Mitteleuropa vorherrschenden, weniger feuchtwarmen Klima entsteht bei dieser Stufe der Moorsukzession der bekannte Birken-Erlenbruchwald.

- *Stillstandswald:*

Bei diesem abschließenden Stadium der Verlandung hat sich bereits ein so stabiler Boden ausgebildet, dass sich darauf mächtige Nadelwälder ansiedeln können. Im warmen Klima des Braunkohlezeitalters handelte es sich dabei insbesondere um *Sequoia*-Wälder. In solchen Wäldern konnte sich Kohle nur noch unter feuchten Klimaverhältnissen bilden.

Typische Gewächse sind in diesem Zusammenhang etwa der Küstenmammutbaum (*Sequoia sempervirens*) und der Riesenmammutbaum (*Sequoiadendron giganteum*). Das Holz dieser Pflanzen ist sehr reich an Harz, was dazu führt, dass es zu relativ häufiger fossiler Erhaltung selbiger kam. Bekannt sind dabei vor allem die sogenannten „Stubben“ (aufrecht stehende, fossil erhaltene Baumstümpfe), die zum Teil lagenweise in Braunkohleflözen auftreten (siehe Abb. 14).



Abb. 14: Stubbenhorizont in einem Braunkohleflöz in Welzow, Deutschland nach JURASKY (1936: 35)

Auch Arten aus der Gattung Kletterfarne (*Lygodium*), der Kletternde Giftsumach (*Toxicodendron radicans*), einige Leguminosenarten (beispielsweise aus der Gattung *Gleditsia*) und mehrere Arten der Gattung Kiefern (*Pinus*) konnten nachgewiesen werden.

Die unterschiedliche botanische Zusammensetzung der Braunkohle aus verschiedenen Stadien der Verlandung führt dazu, dass Braunkohleflöze keine einheitliche Gestalt haben, sondern im Allgemeinen aus mehreren unterschiedlich gefärbten Schichten aufgebaut sind. Dabei deuten helle Schichten eher auf Kohle aus anfänglicheren, dunkle Schichten auf Kohle aus späteren Stadien der Moorsukzession hin (vgl. KLAUS 1987: 87).

Es kam offenbar immer wieder vor, dass durch die Absenkung des Bodens und dem damit einhergehenden Grundwasseranstieg Moore, die bereits vollständig verlandet waren, erneut überflutet wurden. Das führt bei moderater Absenkungsgeschwindigkeit zu einem neuerlichen Sukzessionszyklus, der wiederum mit dem Moorsee- oder Riedmoorstadium (helle Lagen) begann. Markiert werden solche Ereignisse häufig auch durch sogenannte *Stubbenhorizonte* (siehe Abb. 14), also Lagen in Braunkohleflözen, in denen völlig gerade „abgeschnittene“ Stümpfe von *Sequoia*-Bäumen nebeneinander auftreten. Diese entstehen dadurch, dass durch die Überflutung zwar der größte Teil des Baumes (nämlich jener, der sich über der Wasseroberfläche befindet) verrottet, der Teil unter der Wasseroberfläche auf Grund des Luftabschlusses aber erhalten bleibt. Die darüber liegenden Schichten im Flöz

folgen dann wieder dem üblichen schichtförmigen Aufbau, der auf die einzelnen Sukzessionsstadien hindeutet (vgl. GRÄF 1988: 4).

Theodor TEUMER (1879 – 1941), der als Oberingenieur in einem Niederlausitzer Braunkohletagebau angestellt war, untersuchte die Profile der dort ausgebildeten Braunkohleflöze. In der ehemaligen Grube Anna-Mathilde im Ort Sedlitz ergab sich dabei folgendes Bild (vgl. TEUMER 1922: 36):

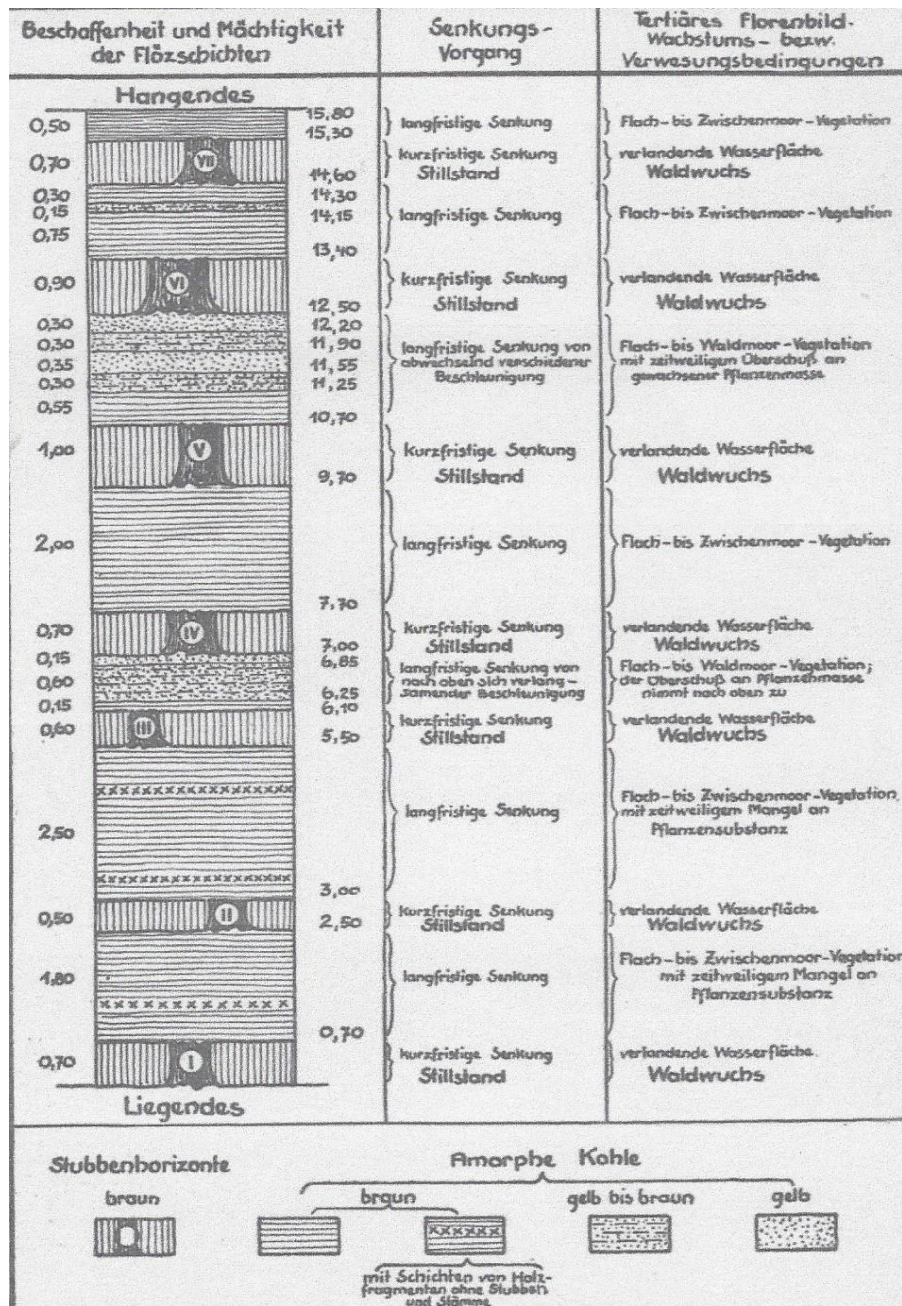


Abb. 15: Profil des Oberflözes der Grube Anna-Mathilde bei Sedlitz, Deutschland nach TEUMER (1922: 36)

Außerdem kommen in Kohleflözen häufig auch Zwischenschichten („*taube Mittel*“) ohne inkohlte Substanz vor. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Tonlagen, die dadurch zu Stande kamen, dass sich der Untergrund für kurze Zeit zu schnell gesenkt hat und sich somit offene Wasserflächen ausbilden konnten, an deren Grund sich Schlamm ablagerte (vgl. PETRASCHECK 1956: 30 f.).

In diesem Unterkapitel wurde hauptsächlich die Paläobotanik der Braunkohle behandelt, da in dieser Arbeit im späteren Verlauf vor allem auf das Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier Augenmerk gelegt werden soll.

Die Bildung der Steinkohle, die auf das mittlere Paläozoikum (Karbon, Perm; vor etwa 250 – 350 Millionen Jahren) zurückgeht, folgte prinzipiell ähnlichen Mustern wie die Bildung der Braunkohle. Auch hier mussten Bodensenkung günstig ausgeprägt und eine hohe pflanzliche Stoffproduktion vorhanden sein. Erwähnt sei allerdings, dass Steinkohle häufiger in Mooren, die sich in der Nähe der Meeresküste befanden, entstanden ist. Somit waren oftmals Meereseinbrüche (= *Transgressionen*) für den wechselnden Wasserspiegel im Sumpfgebiet verantwortlich (vgl. KLAUS 1987: 94 f.).

TEICHMÜLLER entwarf auch für Steinkohle Moore ein Sukzessionsmodell (siehe Abb. 16), das die botanische Zusammensetzung der Steinkohle erklären soll:

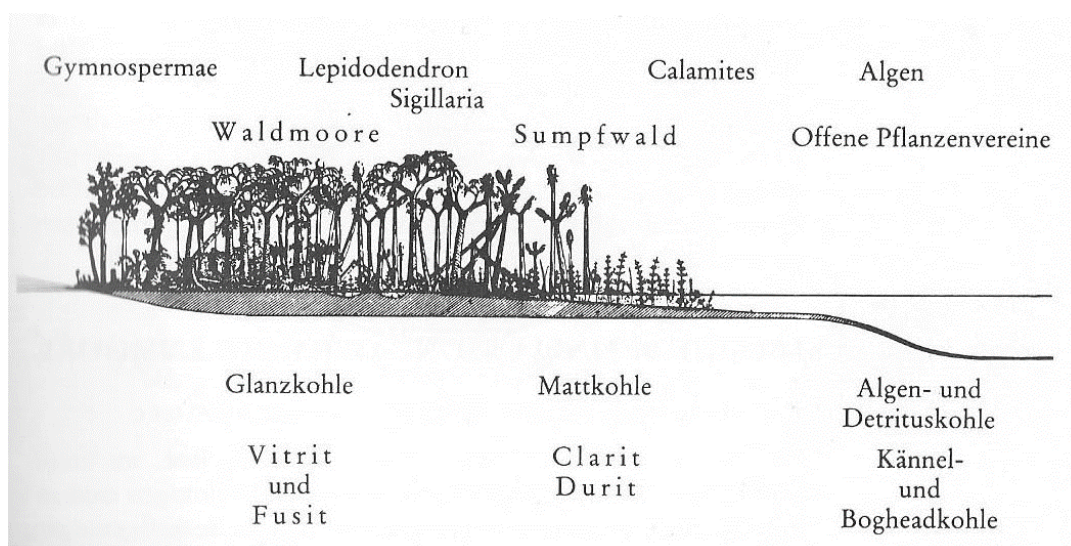


Abb. 16: Schema der Bildung eines Steinkohlemoores nach TEICHMÜLLER (1958)

Die botanische Zusammensetzung von Kohle kann also durch die Rekonstruktion der Abfolge von Pflanzengesellschaften in bestimmten Moorlandschaften erklärt werden. Im

folgenden Unterkapitel soll nun geklärt werden, was mit der vor Verrottung geschützten Pflanzensubstanz passiert, dass sie einen derartigen Strukturwandel, nämlich vom Rohmaterial bis hin zur Braun- und Steinkohle, durchläuft.

2.2.3 Inkohlungsprozess

Um aus der vom Luftzutritt geschützten pflanzlichen Substanz ein Gestein entstehen zu lassen, sind chemische Vorgänge nötig, die eine Verschiebung der Stoffverhältnisse verursachen. Im Falle der Kohle kommt es bei diesem als *Inkohlung* bezeichneten Prozess zu einer Erhöhung des relativen Kohlenstoffanteils der pflanzlichen Überreste (vgl. KLAUS 1987: 61).

In folgender Tabelle (Tab. 1) sind Kohlearten (sowie Holz als Referenzwert) und ihre zugehörigen relativen Massenanteile w_i an den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O) und Stickstoff (N) aufgelistet.

Tab. 1: Elementare Massenzusammensetzung verschiedener Kohlearten, mit Holz als Vergleichswert, nach PETRASCHECK (1956: 20 f), geändert

Kohleart	w_C	w_H	w_O	w_N
Holz	0,50	0,06	0,43	0,01
Torf	0,58	0,055	0,345	0,02
Braunkohle	0,70	0,05	0,24	0,008
Steinkohle	0,82	0,04	0,12	0,008
Anthrazit	0,94	0,03	0,03	-
Graphit	0,98 - 1	0 - 0,02	-	-

Schon JURASKY (1936) erkannte, dass diese unterschiedliche chemische Zusammensetzung verschiedener Kohlearten kaum durch verschiedenartige Pflanzengesellschaften, die an deren Bildung beteiligt waren, bedingt ist. Vielmehr machte er folgende Parameter für die Ausbildung der verschiedenen Kohlearten verantwortlich:

- Wechselnde klimatische, vor allem auf Niederschlagsmengen bezogene Bedingungen zu Zeiten der Anhäufung des pflanzlichen Materials
- Durch diese Klimaschwankungen beeinflusste, verschiedenartig ausgeprägte Zersetzungs Vorgänge am pflanzlichen Material
- Auslese und Anreicherung bestimmter, chemisch besonders charakterisierter Pflanzenteile
- Hauptsächlich aber geologische Einflüsse auf die abgelagerte Pflanzensubstanz

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts war noch nicht klar, welche Moleküle hauptverantwortlich für den Inkohlungsvorgang sind. In folgender Tabelle (Tab. 2) sind die molekularen Massenanteile w_i von vier heute bekannten Pflanzen aufgelistet. Diese können nach STADNIKOV (1931) durchaus auf die Pflanzenwelt des Braunkohlezeitalters und mit nur kleinen Abweichungen auch auf die Pflanzenwelt des Steinkohlezeitalters übertragen werden:

Tab. 2: Molekulare Massenzusammensetzung heutiger Gewächse nach STADNIKOV (1931), geändert

Pflanzenart	WZellulose	WLignin	WHemizellulosen	WPektinstoffe	WEiweißkörper	WWachse, Fette, Harze
Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)	0,6054	0,2635	0,1325	0,0111	0,0080	0,0332
Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i>)	0,6709	0,2246	0,2588	0,0175	0,0105	0,0120
Hanf (<i>Cannabis sativa</i>)	0,4057	0,2334	0,2416	-	-	0,0285
Torfmoos (<i>Sphagnum parvifolium</i>)	0,3520	0,0920	0,4610	-	-	0,0950

POTONIÉ war der Ansicht, dass Kohle lediglich auf den Zelluloseanteil der inkohlten Pflanzen zurückzuführen ist. Franz FISCHER (1877 – 1947) und Hans SCHRADER (1869 – 1948), zwei deutsche Chemiker, glaubten hingegen, dass die Zellulose nicht erhalten bleibt und stattdessen hauptsächlich Lignin Ausgangsstoff für Kohlebildung ist. TEICHMÜLLER sah schließlich fast alle Pflanzensubstanzen an selbiger beteiligt; neben Zellulose und Lignin nämlich auch Cutin, Suberin, Sporopollenin, Pektine, Proteine und Chitin. Obwohl all diese Moleküle im Zuge der Inkohlung Strukturänderungen hin zu einer relativen Erhöhung des Kohlenstoffanteiles durchlaufen, bleibt die äußere Gestalt der Pflanzenteile in der Kohle oftmals gut erhalten (vgl. KLAUS 1987: 64 f.).

(Anmerkung: *Zellulose* ist ein Vielfachzucker, der Hauptbestandteil von pflanzlichen Zellwänden ist. *Lignine* sind Polymere aus aromatischen Molekülen, die bei Einlagerung in die Zellwand eine Verholzung von pflanzlichen Zellen bewirken. *Cutin* ist eine ebenfalls polymere Verbindung, die in der Cuticula von Epidermiszellen vorkommt. *Pektine* sind wie die Zellulose Vielfachzucker, die am Zellwandaufbau in Pflanzen beteiligt sind. *Suberin* findet sich in Zellwänden korkbildender Zellen, *Sporopollenin* in Pollenkörnern und der Vielfachzucker *Chitin* in den Zellwänden von Pilzen.)

Im Laufe der Erforschungsgeschichte der Kohle wurde der Inkohlungsprozess in mehrere Etappen, auf die auf den nächsten Seiten genauer eingegangen wird, eingeteilt. Diese sind allerdings keineswegs als eigenständig zu erachten, sondern verzahnen sich ineinander.

PETRASCHECK (1947) etwa spaltet, wie auch viele andere Autoren, den Inkohlungsprozess in eine biochemische und in eine geochemische Phase auf. KLAUS (1987) beschreibt den Vorgang in drei Stufen, die er als mikrobiologischen, chemischen und physikalischen Prozess bezeichnet, wobei die beiden ersteren durchaus mit der Verrottung beziehungsweise dem biochemischen Prozess gleichgestellt werden können. Im Folgenden wird allerdings die erstgenannte zweistufige Beschreibung herangezogen.

- Biochemischer Prozess/Verrottung:

Nachdem das Pflanzenmaterial so eingebettet wurde, dass es vom Luftsauerstoff abgeschlossen ist (also beispielsweise im Bodenschlamm eines ruhigen Gewässers), erfolgt das baldige Absterben der unter Sauerstoffzufuhr arbeitenden Bakterien und Pilze, die ansonsten das organische Material so gut wie vollständig abbauen würden (Verrottung). Nun sind ausschließlich anaerobe Mikroorganismen am Abbau der Pflanzensubstanz beteiligt, die allerdings keine so umfangreiche Zersetzung herbeiführen. Charakteristisch ist das Auftreten von *Huminsäuren*, die einerseits die organische Masse immer weiter ins Bräunliche verfärben, andererseits den pH-Wert im Milieu senken. Zweiteres führt wiederum dazu, dass durch die nun deutlich saurere Umgebung die wenigen verbliebenen aeroben Mikroorganismen endgültig absterben (vgl. KLAUS 1987: 61 f.).

Schon dieser einleitende Prozess ist in der Natur recht störungsanfällig. So kann die aerobe Mikroflora unter gewissen Umständen „wiederbelebt“ werden, beispielsweise bei Zuflüssen von kalkhaltigen (dabei kommt es zu einer Erhöhung des pH-Wertes) oder sauerstoffreichen Gewässern (vgl. KLAUS 1987: 62).

Im Folgenden wird die Huminsäurebildung fortgesetzt und intensiviert, was zu einer weiteren Herabsetzung des pH-Wertes führt. Außerdem beginnen die Huminsäuren zunehmend Polymerisate zu bilden. Große Bedeutung kommt dabei bestimmten Pilzen zu, die nach dem schwedischen Chemiker Holger ERDTMAN (1902 – 1989) Lignin in Phenole abbauen, welche als Bausteine der Huminsäurepolymerisation dienen. Für die starke Braunfärbung der durch diese Vorgänge im Boden angereicherten *Huminstoffe* sind vor allem oxidierte Polymere eines bestimmten Phenols, nämlich jene des Hydroxychinons, verantwortlich. Der biochemische

Prozess führt, so er nicht schon in einem früheren Stadium vom geochemischen Prozess „abgelöst“ wird, zu einer abgestorbenen, mikrobefreien Masse an organischem Material, die nun in stark saurem Milieu vorliegt (pH-Wert ≥ 3). Veränderungen der chemischen Struktur sind aber am Ende dieser Inkohlungsstufe noch kaum aufgetreten (vgl. KLAUS 1987: 62 f.).

„Dieser [geochemische Prozess; Anm. des Autors] ist die Metamorphose der Kohle, während der biochemische Prozeß [...] etwa mit der Diagenese verglichen werden kann [...]“

(PETRASCHECK 1947: 1).

- Geochemischer Prozess:

Um aus Torf Kohle entstehen zu lassen, muss der relative Kohlenstoffgehalt erhöht werden. Dies geschieht zum einen dadurch, dass der durch Gesteinsüberlagerung bedingte erhöhte Druck Wasser aus dem Torf auspresst und die Porosität der Pflanzensubstanz vermindert. Die bei Überlagerung immer weiter fortschreitende Druckerhöhung trocknet den Torf bis auf Intrazellularebene aus. Pro 100 Meter Versenkungstiefe sinkt der relative Wassergehalt um etwa 2-3 % (vgl. KLAUS 1987: 63).

Zum anderen verändert sich mit zunehmender Versenkungstiefe auch ein anderer physikalischer Parameter, nämlich die Temperatur. Der durchschnittliche Temperaturgradient in der Erdkruste beträgt 3°C pro 100 Meter Tiefe.

Entscheidend dafür, wie weit der Inkohlungsprozess nun fortschreitet, ist nicht nur der Grad der Druck- und Temperaturerhöhung; auch die Dauer, in der diese beiden Faktoren auf die Kohle einwirken, spielt eine wichtige Rolle (vgl. KLAUS 1987: 64).

Aus den unterschiedlichen Ausprägungen der drei Parameter Druck, Temperatur und Zeit, die auf verschiedene Kohlelagerstätten gewirkt haben, resultiert die große Bandbreite an Kohlearten. Natürlich sind die Übergänge zwischen den einzelnen Ausprägungsformen der Kohle fließend und unterliegen auch keiner allgemein gültigen Definition (etwa bezogen auf die Elementarzusammensetzung).

Wie aus Tab. 1 entnommen werden kann, können die Elemente Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H) als Hauptbausteine der Ausgangssubstanz der Kohlebildung betrachtet werden. Auch in der mehr oder weniger weit „gereiften“ Kohle finden sich

hauptsächlich diese drei Elemente und machen somit den überwiegenden Teil der Masse aus (vgl. KLAUS 1987: 65).

Im Folgenden werden nun charakteristische Ausprägungsformen der Kohle aufgelistet und beschrieben (= „Inkohlungsreihe“). Dabei wird auf die jeweilige elementare Massenzusammensetzung Augenmerk gelegt, um zu verdeutlichen, in welche Richtung die fortschreitende Inkohlung selbige verschiebt. Weiters illustrieren Abbildungen die optischen Erkennungsmerkmale.

- Torf:

Dabei handelt es sich um das Produkt des biochemischen Inkohlungsprozesses, also um abgestorbene, mikrobefreie, saure sowie noch recht wasserreiche Pflanzensubstanz. Genauer machen vor allem Pflanzengerüstsubstanzen, die Protein- und Fettanteile enthalten, die Hauptmasse des Torfes aus (vgl. KLAUS 1987: 65).

Die grobe Elementarzusammensetzung beträgt nach Tab. 1 etwa 58 % Kohlenstoff, 5,5 % Wasserstoff, 34,5 % Sauerstoff sowie 2 % an anderen Elementen (vor allem Stickstoff).

Nach KUSEL-FETZMANN (1978) gibt es Unterschiede zwischen *Hochmoortorf*, der aus dem aufgewölbten Teil eines Hochmoores stammt, und *Flachmoortorf*, der in Niedermoores sowie im nicht aufgewölbten Teil eines Hochmoores entsteht.

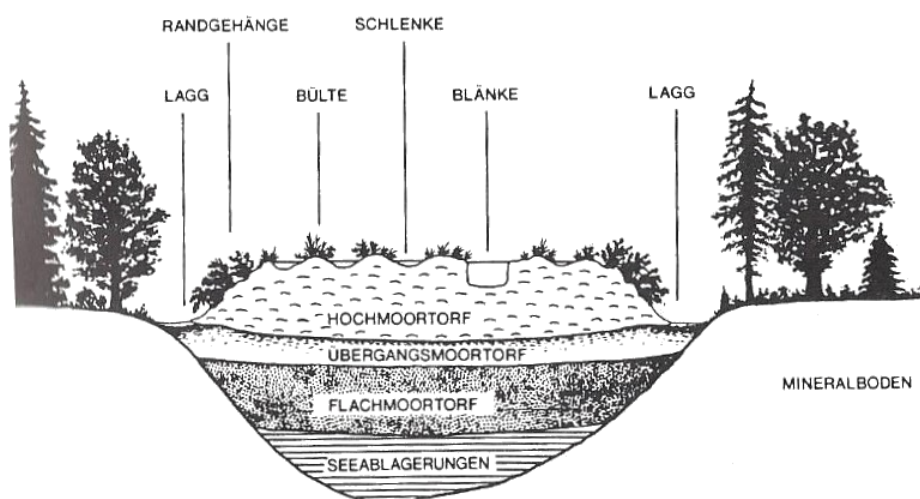


Abb. 17: Schema eines Hochmooraufbaus in borealen Breiten nach KUSEL-FETZMANN (1978)

o Hochmoortorf:

Der Torf aus dem aufgewölbten Teil eines Hochmoores besteht (zumindest in gemäßigten Zonen) hauptsächlich aus den Gerüstsubstanzen von

Torfmoosarten (Gattung *Sphagnum*), die auf Grund des sehr sauren Milieus (pH-Wert ≤ 4) und der damit verbundenen Mikrokenarmut gut erhalten bleiben. Diese Moose, die für ihr Wasserspeicherungsvermögen bekannt sind, bilden hohe Polster, da sie sehr rasch und auf unter ihnen liegenden, abgestorbenen Moosgenerationen wachsen. Dieses Aufwölben von Hochmooren bedingt, dass selbige immer über dem Grundwasserspiegel liegen und somit lediglich vom Niederschlag gespeist werden („ombrogene“ Moore) und nährstoffarm („oligotroph“) sind (vgl. KLAUS 1987: 67).

○ Flachmoortorf:

Im Unterschied zum Hochmoortorf ist hier der pH-Wert deutlich neutraler (etwa 5 – 6). Somit kommt es durch das vermehrte Vorhandensein von aeroben Mikroorganismen zu einer deutlich ausgeprägteren Zersetzung des Pflanzenmaterials. Das macht sich auch bemerkbar, wenn man Flachmoortorf in der Hand „ausdrückt“. Das Wasser, das bei dieser einfachen Feldmethode zur Feststellung des Zersetzungsgrades des Torfes abtropft, ist dunkel und breiig (bei Hochmoortorf hingegen ist das Abtropfwasser schwach gefärbt). Auch unterscheidet sich Flachmoortorf (dunkler) farblich von Hochmoortorf (gelb bis dunkelbraun). Niedermoores sind, wie schon in Unterkapitel 2.2.2 erwähnt, nicht niederschlagsabhängig, sondern werden vom Grundwasser gespeist, was zu einem verbesserten Zugang zu Nährstoffen („eutroph“) führt (vgl. KLAUS 1987: 68).

○ Übergangsmoortorf:

Bei abgeschlossener Verlandung eines stehenden Gewässers kann sich auf Grund des schlechter werdenden Grundwasserzuges aus einem Niedermoor ein Hochmoor bilden. Das Übergangsstadium zwischen diesen beiden grundlegenden Moorarten bezeichnet man als *Zwischenmoor*; den Torf aus einem solchen Moorstadium als Übergangsmoortorf (vgl. KLAUS 1987: 68).



Abb. 18: Torf

(Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TorfPP.JPG> [03.12.2018])

Torfschichten in den gemäßigten Zonen nehmen jährlich etwa 0,5 – 1 mm an Stärke zu, in wärmeren Gefilden kann die jährliche Wachstumsrate bis zu 1,5 mm betragen. Zwar sind diese Angaben lediglich als langjährige Mittelwerte zu verstehen; sie machen aber deutlich, welche Zeitspannen für die Bildung meterdicker Torfschichten, wie sie heute in vielen Mooren zu finden sind, vergehen (vgl. KLAUS 1987: 69).

Die Bildung einer 10 m dicken Torfschicht benötigt demnach etwa 10 000 Jahre.

- Braunkohle:

Mit Einsetzen des geochemischen Prozesses beginnt der Torf allmählich Wasser und flüchtige Bestandteile, nämlich vor allem Sauerstoff (O₂), Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Methan (CH₄), abzugeben. Grund dafür ist zunächst, wie schon im Vorangegangenen erwähnt, der durch die Überlagerung mit anderen Sedimenten erhöhte Druck, der auf den Torf einwirkt. Das führt zu einer Erhöhung des relativen Kohlenstoffgehalts (vgl. KLAUS 1987: 69).

Im Braunkohlestadium lassen sich in der Kohle noch Huminsäuren nachweisen; allerdings gehen diese mehr und mehr in die sogenannten *Humine* über. Dabei handelt es sich um von den Huminsäuren verschiedene, eher neutrale Huminstoffe. Ebenfalls ändert sich die elementare Massenzusammensetzung. Bei Braunkohle beträgt der Kohlenstoffanteil etwa 70 %, der Sauerstoffanteil etwa 24 % und der Wasserstoffanteil etwa 5 %. Im Vergleich zum Torf kommt es also bis zur

Braunkohle zu einer deutlichen Erhöhung des relativen Kohlenstoffanteils und zu einer Verminderung des relativen Sauerstoffanteils. Der relative Wasserstoffgehalt bleibt dagegen nahezu unverändert. Auch im Bereich der physikalischen Eigenschaften weist die Braunkohle Unterschiede gegenüber dem Torf auf. So ändert sich etwa die Farbe von hell- auf dunkleres Braun; Lichtreflexion, Dichte und Härte nehmen bei gleichzeitiger Abnahme des Volumens (etwa 50 %) zu. Der Strich der Braunkohle ist auf einer Porzellantafel braun (vgl. KLAUS 1987: 69).

Wie schon beim Torf lässt sich auch die Braunkohle nach ihrem *Reifungsgrad* (= Fortschritt der Inkohlung) weiter unterteilen:

- Weichbraunkohle:

Diese ist dem Torf noch recht ähnlich. Weichbraunkohle weist lockere Struktur auf. Oftmals (siehe etwa KLAUS (1987) oder PETRASCHECK (1947)) wird noch zwischen erdiger (abfärbend, staubend) und schiefriger (schiefriger Bruch, nicht abfärbend oder staubend) Weichbraunkohle unterschieden (vgl. KLAUS 1987: 69).



Abb. 19: Schiefrige Weichbraunkohle aus Maria Lankowitz

- Hartbraunkohle:

Im Vergleich zur Weichbraunkohle ist die Färbung der Hartbraunkohle dunkler und reicht eher ins Schwarzbraune bis Schwarze. Auch die Konsistenz ist weniger brüchig. Allerdings hat auch noch Hartbraunkohle einen braunen Strich. Geläufig ist die Unterscheidung zwischen

Mattbraunkohle (schwarzbraun) und Glanzbraunkohle (schwarz glänzend und splittrig brechend) (vgl. KLAUS 1987: 70).



*Abb. 20: Mattbraunkohle aus dem Tagebau Welzow-Süd, Deutschland
(Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lignite_Klingenberg.jpg [04.12.2018])*



*Abb. 21: Glanzbraunkohle, Deutsches Bergbau-Museum Bochum
(Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DBM_Deutsches_Bergbau-Museum_Bochum,_Glanzkohle.JPG [04.12.2018])*

Eine weitere Klassifizierungsmöglichkeit für Braunkohle ist eine Einteilung nach Konsistenz. Dabei können nach KLAUS (1987) folgende Ausprägungsformen unterschieden werden:

- Stückbraunkohle (bricht in Stücke)
- Knorpelbraunkohle (bricht in Knorpel)
- Klarbraunkohle (= Rieselkohle)
- Kannelbraunkohle (muscheliger Bruch)

(Anmerkung: Ein weiterer Begriff, der bei häufig in Zusammenhang mit Braunkohle genannt wird, ist der sogenannte *Lignit*. Dabei handelt es sich um teilweise inkohltes Holz, bei dem im Gegensatz zur „reifen“ Braunkohle die Holzstrukturen noch gut erkennbar sind.)

- Steinkohle:

Durch weitere Überlagerung erhöhen sich Temperatur und Druck immer weiter, was zu einer fortschreitenden Reifung der Kohle führt. Ist der Kohlenstoffgehalt auf etwa 77 – 91 % angestiegen, spricht man von Steinkohle. Da auch in dieser noch immer etwa 5 % Wasserstoff vorliegen, muss der Sauerstoffgehalt deutlich gesunken sein, nämlich auf einen relativen Massenanteil von etwa 17 – 4 %. Weiters sind in Steinkohle keine Huminsäuren mehr nachweisbar (vgl. KLAUS 1987: 70).



Abb. 22: Bereits sehr weit "gereifte" Steinkohle aus Turrach, Steiermark

Eingeteilt werden Steinkohlen nach KLAUS (1987) nach ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (der mit zunehmendem Reifungsgrad natürlich abnimmt). Dieser ist in folgender Auflistung jeweils in Klammer angeführt:

- Flammkohle (37 – 46 %)
 - Gaskohle (33 – 37 %)
 - Fettkohle (18 – 33 %)
 - Esskohle (12 – 17 %)
 - Magerkohle (12 – 18 %)
- Anthrazit:
- Erst in diesem Inkohlungsstadium ist eine nennenswerte Senkung des Wasserstoffgehaltes, nämlich von etwa 5 % auf etwa 3 %, zu verzeichnen („*Inkohlungsprung*“). Grund dafür ist vor allem der Abbau von Cutin, Suberin und Sporopollenin. Auch der Anteil an flüchtigen Bestandteilen verringert sich auf etwa 4 – 8 %. Anthrazit ist ein metallisch glänzendes, im Vergleich zu weniger weit gereiften Kohlearten sehr hartes Gestein, in dem keine pflanzlichen Fossilien mehr zu finden sind (vgl. KLAUS 1987: 71).



Abb. 23: Anthrazit aus dem Bergwerk Ibbenbüren, Deutschland

(Quelle:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Anthracite?uselang=de#/media/File:Ibbenbueren_Anthracite.JPG
[11.12.2018])

- Graphit:

Graphit bildet das Abschlussglied der Inkohlungsreihe. Sowohl der Wasserstoff-, als auch der Sauerstoffanteil verschwinden und es bleibt reiner Kohlenstoff übrig. Dieser ist im Gegensatz zu allen im Vorangegangenen genannten Kohlearten nicht brennbar. Außerdem kann Graphit auch auf anorganischem Wege entstehen (vgl. KLAUS 1987: 71).



Abb. 24: Graphit aus Sri Lanka, ausgestellt im Mineralogischen Museum Bonn, Deutschland
(Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graphite_\(very_pure\)_-_Ceylon.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graphite_(very_pure)_-_Ceylon.jpg) [11.12.2018])

Entscheidend für den Grad des Fortschrittes der Inkohlung sind also erhöhter Druck und erhöhte Temperatur sowie die Dauer deren Einwirkung auf die Kohlensubstanz. Daneben kann die Inkohlung durch Vulkanismus (weiterer Temperaturanstieg), radioaktive Strahlung oder nach PETRASCHECK (1956) auch durch den Einfluss von Salzwasser beschleunigt werden (vgl. KLAUS 1987: 72).

Folgendes Schema (Abb. 25) fasst den Inkohlungsprozess nochmals zusammen:

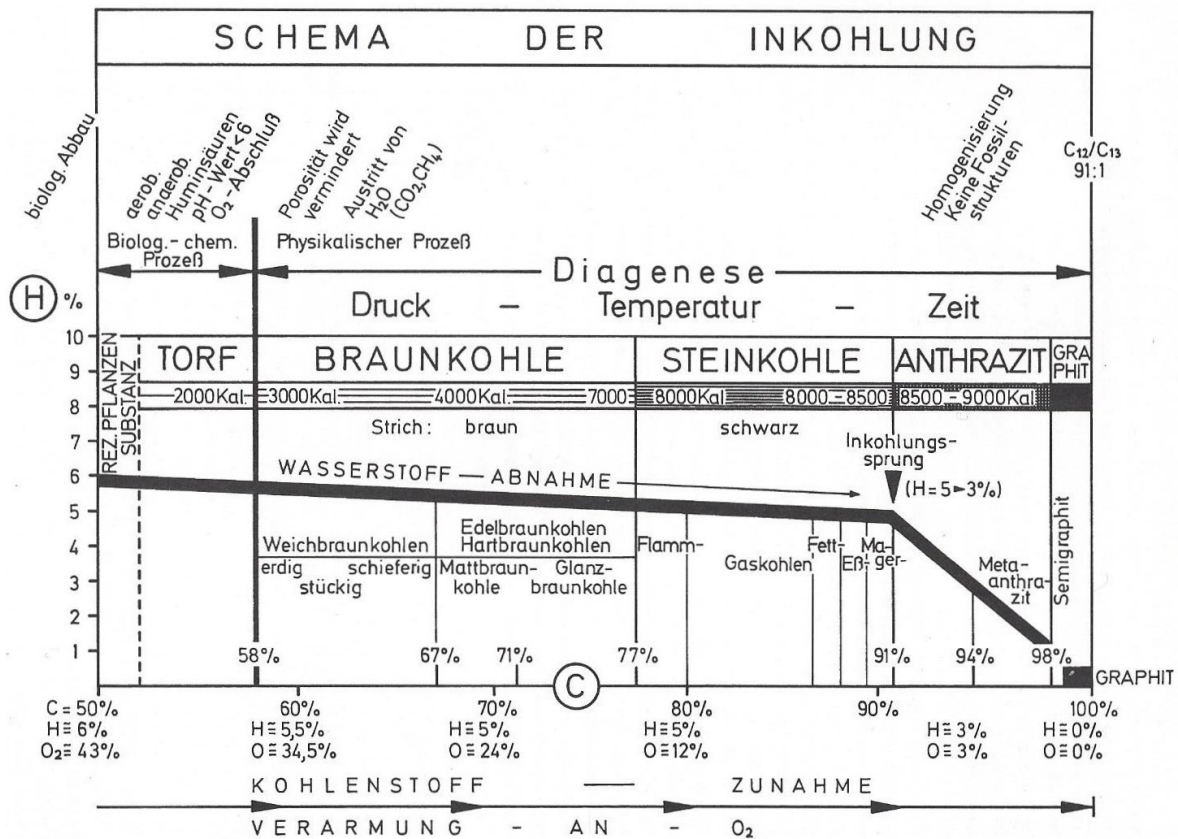


Abb. 25: Schema der Inkohlung nach KLAUS (1987: 66)

In der Natur kommen auch noch zwei weitere wichtige Prozesse vor, die in ähnlicher Weise ablaufen wie jener der Inkohlung.

Bei der sogenannten *Verkohlung* kommt es ebenfalls zu einer Kohlenstoffanreicherung der Pflanzensubstanz. In diesem (in der Natur nur selten vorkommenden) Fall beruht diese Anreicherung auf einer unvollständigen Verbrennung unter Sauerstoffmangel. In Kohlenmeilern wird auf diese Weise *Holzkohle* erzeugt. Dabei wird Holz mit Erde soweit bedeckt, dass noch ein geringer Sauerstoffzutritt erfolgen kann und anschließend entzündet. Beim dabei beobachtbaren *Schwelbrand* entweichen Kohlenoxide, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe und die kohlenstoffreiche Holzkohle bleibt zurück. In Sümpfen konnte dieser Vorgang offenbar auch in der Natur durchlaufen werden, wenn Pflanzen von Ereignissen wie Blitzen oder vulkanischer Aktivität entzündet und unter partiellem Sauerstoffentzug verbrannt wurden. Die daraus entstandene, tiefschwarze und sehr spröde Holzkohle bezeichnet man als *Fusit*. Fusitlagen sind in allen Kohlelagerstätten zu finden (vgl. KLAUS 1987: 72 f.).

Im Gegensatz dazu kommt es bei der sogenannten *Bitumierung* nicht nur zu einer Kohlenstoffanreicherung, sondern auch zu einer Anreicherung an Kohlenwasserstoffen. Dieser Vorgang läuft nur in neutralem oder basischem Milieu ab, was ihn von der Inkohlung klar unterscheidet. Außerdem sind weniger höhere Pflanzen, sondern vielmehr marine Algen, Plankton und Bakterien Ausgangsmaterial der Bitumierung. Voraussetzung für das Entstehen von *Sapropelen* (= Faulschlamm) ist, dass diese Kleinstlebewesen nach ihrem Absterben völlig von Sauerstoff abgeschirmt werden, was am ehesten in ruhigen Bodenwässern möglich ist. Das so entstandene Sediment wird im Laufe der Zeit überdeckt und sinkt in tiefere Schichten der Erdkruste ab, wo es erhöhter Temperatur und erhöhtem Druck ausgesetzt ist. Im Zuge dieser Diagenese wird das organische Material der Kleinstlebewesen zu sogenannten *Kerogenen* umgewandelt. Dabei handelt es sich um feste, langkettige Kohlenstoffverbindungen, die Vorstufen von *Erdöl* und *Erdgas* sind (vgl. KLAUS 1987: 73 f.).

In diesem Zusammenhang ist als Beispiel der *Gagat* zu nennen. Es handelt sich dabei um bitumierte Kohle, die sich gut zur Herstellung von Schmuck eignet.

2.3 Verwendung von Kohle

Unter 2.2 wurden Voraussetzungen für Entstehung von Kohle sowie der Inkohlungsprozess ausführlich beschrieben. Im Folgenden wird nun beleuchtet, welche Rolle Kohle im Verlaufe der Menschheitsgeschichte einnimmt. Dabei skizzieren auch Blicke in die Vergangenheit und Zukunft den Verlauf der menschlichen Kohlenutzung.

Erste Hinweise auf Kohlenutzung stammen aus der Zeit um 1000 v. Chr., als im nordöstlichen China Kohle verwendet wurde, um Kupfer für die Münzherstellung zu schmelzen. Auch aus dem alten Griechenland, wo Aristoteles auf die gesteinsartige Gestalt der Kohle hinwies, und aus dem römischen Reich, wo Kohle offenbar bereits als Energiequelle genutzt wurde, sind Berichte überliefert. Professioneller Kohleabbau und erster internationaler Kohlehandel traten wohl bereits im Mittelalter auf. Die große Erfolgsgeschichte des also seit etwa 3 000 Jahren bekannten Brennstoffes begann aber mit der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert. Vor allem die Entwicklung des Dampfmotors (James WATT, 1769), aber auch die Industrialisierung der Eisen- und Stahlproduktion sowie neuartige Transportmöglichkeiten wie Eisenbahn oder Dampfschiff führten zu einer raschen Steigerung des Kohleverbrauches. Ende des 19. Jahrhunderts wurde

in New York das erste Kohlekraftwerk in Betrieb genommen. Ab diesem Zeitpunkt wurde Kohle auch zur Stromerzeugung genutzt und sollte sich im darauffolgenden Jahrhundert zur wichtigsten Ressource für die Stromerzeugung entwickeln (vgl. World Coal Institute 2005: 19).

„Der Zugang zu Energie und insbesondere zu Strom ist eine wesentliche Treibkraft für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung eines Landes“

(World Coal Institute 2005: 21).

Auf die Rolle der Kohle in der Stromerzeugung wird in Unterkapitel 4.1 näher eingegangen.

Kohle spielt aber nicht nur energiewirtschaftlich eine große Rolle. Auch für die Stahlproduktion ist Kohle ein entscheidender Faktor.

„Stahl ist aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken: Autos, Züge, Gebäude, Schiffe, Brücken, Kühlschränke, medizinische Geräte werden zum Beispiel alle mit Stahl hergestellt. Stahl ist auch für die Maschinen, mit denen wir fast alle Produkte herstellen, die wir heutzutage benutzen, erforderlich“

(World Coal Institute 2005: 22).

Von der weltweiten Stahlproduktion (im Jahr 2017 knapp 1,7 Milliarden Tonnen, siehe Wirtschaftsvereinigung Stahl 2018) entfallen rund zwei Drittel auf mit Hilfe von Kohle produzierten Stahl. Im sogenannten *Hochofen* werden Eisenerz, Kalkstein (bindet Verunreinigungen) und *Koks* zur Herstellung von Rohstahl verwendet. Der Koks wird durch etwa 1 200 °C heiße Luft verbrannt. Das dabei freigesetzte Kohlenmonoxid ist Ausgangspunkt einer chemischen Reaktion, bei der flüssiges Eisen entsteht. Dieses wird schließlich in einem Sauerstoff-Aufblas-Konverter zu Stahl verarbeitet (vgl. World Coal Institute 2005: 22 f.).

Bei Koks handelt es sich um einen harten, aber porösen Brennstoff, der durch *Verkoken* von Kohle (hauptsächlich Steinkohle) hergestellt wird. Bei diesem Vorgang werden beim Erhitzen unter Luftabschluss flüchtige Bestandteile aus der Kohle entfernt. Koks wird bei der Stahlproduktion verwendet, da er bei der Verbrennung viel weniger Ruß und Asche, die den Stahl verunreinigen würden, als Kohle freisetzt. Es wird hauptsächlich recht „reife“ Kohle (beispielsweise Fettkohle) zum Verkoken verwendet (vgl. World Coal Institute 2005: 22 f.).

Auch die Zementindustrie ist wesentlich von Kohle abhängig. In einem mit Kohle beheizten Hochtemperaturofen werden Calciumcarbonat, Siliziumoxid, Eisenoxid und Aluminiumoxid geschmolzen. Bei der Vermischung dieser vier Komponenten entsteht Zement. Dieser ist in Form von Beton (= mit Wasser und Kies vermischter Zement) der wohl wichtigste Baustoff des Menschen (vgl. World Coal Institute 2005: 24).

„Weltweit werden jährlich mehr als 1 350 Millionen Tonnen Zement verwendet“

(World Coal Institute 2005: 24).

Bei der Zementherstellung werden relativ große Mengen an Kohle benötigt. Für die Produktion von 2 kg Zement wird etwa 1 kg Kohle in Form von Kohlepulver benötigt (vgl. World Coal Institute 2005: 24).

Laut World Coal Institute (2005) kommt Kohle auch noch in vielen weiteren Bereichen zum Einsatz. Beispiele hierfür wären etwa:

- Aluminiumoxidraffinerien
- Papierherstellung
- Chemische und pharmazeutische Industrie
- Herstellung von Kunststoffen und Kunstfasern
- Kohlenstofffaserproduktion
- Aktivkohleproduktion

3. Das Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Grundlagen zum Thema „Kohle“ ausführlich behandelt wurden, wird nun Augenmerk auf das bereits im Titel der Arbeit erwähnte Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier gelegt. Dabei soll zum einen eine auf die Tier- und vor allem Pflanzenwelt sowie auf die Geologie bezogene Rekonstruktion des betreffenden Gebietes erfolgen; zum anderen wird auch die Bergbaugeschichte des Bezirkes Voitsberg skizziert.

3.1 Geologische/paläoökologische Ausgangslage im Bezirk Voitsberg im Neogen

Vor allem unter 2.2 wurde bereits beschrieben, unter welchen Voraussetzungen sich Kohle überhaupt bilden kann und welche Pflanzenverbände an ihrer Entstehung, sollte es zu selbiger kommen, beteiligt sind. Diese allgemeingültigen Aussagen sollen nun mit den geologischen Gegebenheiten sowie mit der Paläobotanik des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier, welches auf das Zeitalter des unteren *Miozäns* (rund 17,5 Millionen Jahre vor heutiger Zeit) zurückgeht, verglichen werden.

Nach WEBER & WEISS (1983) lässt sich das *Weststeirische Becken* in vier Bereiche unterteilen, nämlich in die Eibiswalder Bucht im Süden, die nördlich anschließende Florianer Bucht, der wiederum nördlich anschließenden Bucht von Stallhofen und die westlich von letztgenannter gelegene *Köflach-Voitsberger Bucht*.

Dieses Köflach-Voitsberger Becken unterteilt sich seinerseits in einige 100 - 300 m tiefe „Teilbecken“, die in folgender Auflistung von West nach Ost sortiert sind (vgl. WEBER & WEISS 1983: 43):

- Piberstein-Lankowitzer Mulde
- Pichling-Mulden
- Schafloser Mulde
- Obergraden-Untergraden-Mulde
- Hohegger-Mulde (= Rosentaler Mulde)
- Hödl-Mulde
- Piberer Mulde
- Grubhof-Mulde

- Zangtal-Oberdorfer Mulde
- Tregist-Ostmulde

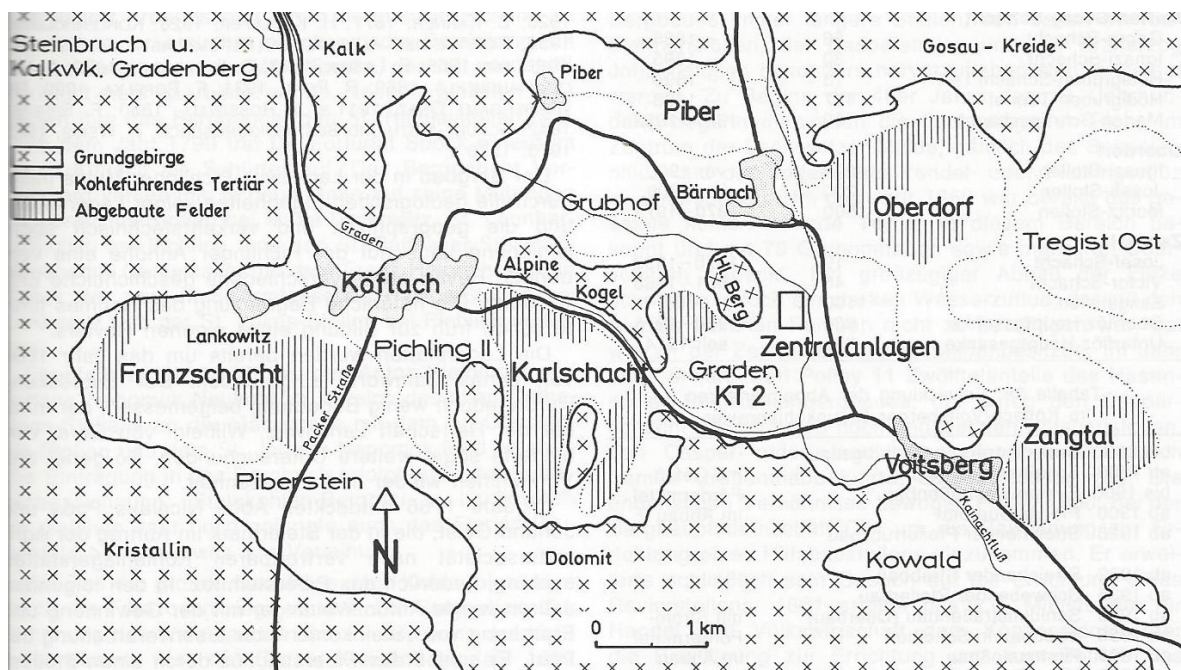


Abb. 26: Lageskizze des Köflach-Voitsberger Braunkohlrevieres nach WEBER & WEISS (1983: 43)

Die Köflach-Voitsberger Bucht wird im Süden und Westen durch Gneise, Glimmerschiefer, Amphibolite und Marmor des Koralm-Stubalm-Kristallins, im Nordwesten durch mitteldevonischen Schöckel-Kalk des Grazer Paläozoikums und im Norden durch die Sedimente der Kainacher Gosau begrenzt (vgl. HARER & KOLMER 1985: 5).

Das Weststeirische Becken wurde vom *Ottangium* (18,3 – 17 Millionen Jahre vor heutiger Zeit) bis ins *Badenium* (vor 16 – 13,3 Millionen Jahren) mit Sedimenten befüllt (vgl. STEININGER 1998: 2).

(Anmerkung: Sowohl das *Ottangium*, als auch das *Badenium* sind lediglich regional, für den zentralen Paratethysbereich verwendete chronostratigraphische Stufen. Erstere entspricht nach internationaler Chronostratigraphie dem mittleren Burdigalium, zweitere dem Langhium und dem unteren Serravallium.)

Den Untergrund für diese Sedimente bilden paläozoische Dolomite, Kalke und Kalkschiefer, welche an einigen Stellen (beispielsweise Heiliger Berg) auch an der Oberfläche zu sehen sind (vgl. HARER & KOLMER 1985: 5).

Mit Hilfe palynologischer Untersuchungen in den einzelnen Kohlenmulden konnte gezeigt werden, dass im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier vier „Hauptflöze“ ausgebildet sind. Diese werden als Unterflöz, Mittelflöz, Oberflöz und Zangtaler Oberflöz bezeichnet (vgl. WEBER & WEISS 1983: 60).

Zwar liegen diese Flöze in den verschiedenen Teilbecken keineswegs gleich tief unter der Oberfläche oder in gleichem vertikalen Abstand voneinander vor; anhand des Vergleiches der paläobotanischen Zusammensetzung der Flöze in den einzelnen Mulden (Vorgehensweise wird im Folgenden beschrieben) konnte aber gezeigt werden, dass selbige nicht unabhängig voneinander gebildet wurden.

Diese Erkenntnisse resultieren unter anderem aus Untersuchungen von KLAUS (1954), der die Flöze des Köflach-Voitsberger Beckens nach dem Auftreten von Pollen charakteristischer Arten (beziehungsweise Gattungen) in mehrere Zonen, die überall im betreffenden Braunkohlerevier gleich ausgebildet sind, einzuteilen versuchte („Flözparallelisierung“). Er zog dazu in seinen Bohrproben aus der Mitte der Hohegger Mulde in Köflach-Karlschacht drei dominante nicht-kohlespezifische und drei dominante kohlespezifische Sporenarten/-gattungen heran und verglich ihre auf die Anzahl der Nachweise bezogenen Verhältnisse vom Liegenden zum Hangenden („*Sporogramm*“).

(Anmerkung: Als *Liegendes* bezeichnet man die Gesteinsschicht, die das Flöz/die Flöze unterlagert. Demzufolge meint das *Hangende* die Gesteinsschicht, die das Flöz/die Flöze überlagert.)

Folgende Arten/Gattungen wurden herangezogen (vgl. KLAUS 1954: 5):

- Nicht-kohlespezifisch:
 - *Sporites speciosus*
 - *Caryapollenites*
 - *Pterocaryapollenites*
- Kohlespezifisch:
 - *Rhooipollenites*
 - *Quercoipollenites microhenrici*
 - *Engelhardtioipollenites*

In folgender Abbildung (Abb. 27), die die oben genannte 128 m tiefe Profilsäule aus der Hohegger Mulde (Köflach-Karlschacht) zeigt, sind die Häufigkeiten der eben aufgelisteten Arten/Gattungen von links nach rechts eingezeichnet. In der Mitte, zwischen den

Häufigkeitsbalken für *Pterocaryapollenites* und *Rhoipollenites*, ist die Profilsäule abgebildet.

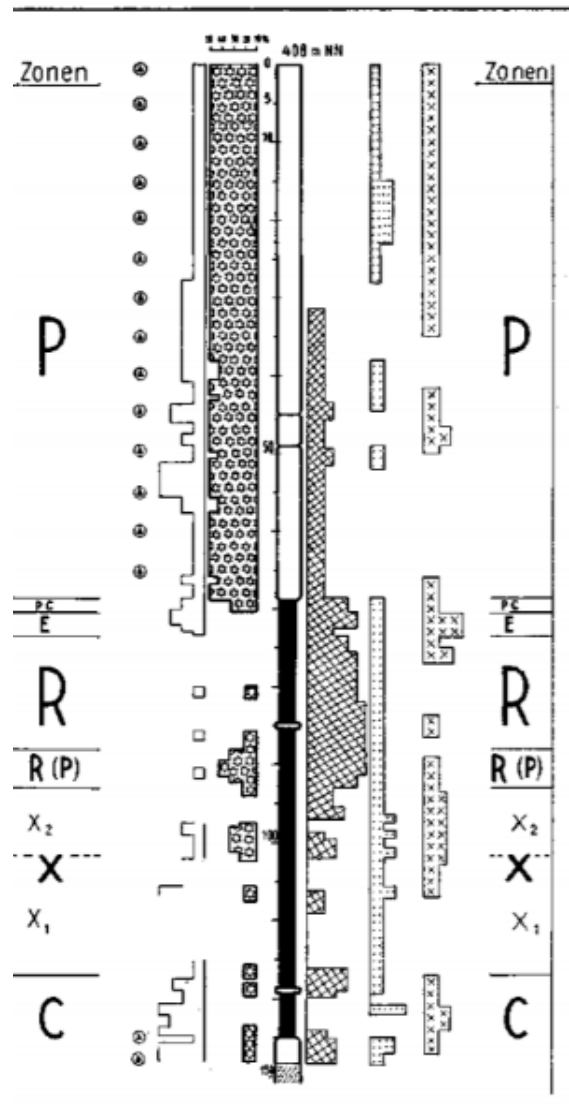


Abb. 27: Sporogramm aus der Hohegger Mulde, zusammengestellt aus 4 Bohrungen nach KLAUS (1954: 5)

An der oben gezeigten Profilsäule lässt sich erkennen, dass in der Mitte der Hohegger Mulde nur ein gepacktes Flöz (schwarzer Bereich) in einer Tiefe von 70 – 125 m vorliegt.

In Zone C beispielsweise, der nach der Einteilung von KLAUS (1954) untersten Zone, die sowohl den obersten Abschnitt des Liegenden, als auch die untersten Abschnitte der kohleführenden Schicht beinhaltet, dominieren Pollen von *Caryapollenites* (30 – 50 % der Funde), wohingegen Pollen von *Sporites speciosus* und *Pterocaryapollenites* nur mäßig häufig nachgewiesen werden konnten (vgl. KLAUS 1954: 6).

Die Charakteristika aller sieben beschriebenen Zonen sind in folgender Tabelle aufgelistet:

Tab. 3: Flöz-Parallelisierungszonen des Köflach-Voitsberger Beckens nach KLAUS (1954)

Zone	Charakteristik
C	Liegendes und unterste Kohlenabschnitte; Dominanz <i>Caryapollenites</i>
X	Unregelmäßige Verteilung der Sporengruppen (ausgenommen <i>Sporites</i>)
R(P)	Massenaufreten <i>Rhooipollenites</i> mit kurzem <i>Pterocaryapollenites</i> -Maximum
R	Dominanz <i>Rhooipollenites</i> und formverwandter Sporengruppen (wie etwa <i>Quercoipollenites</i>)
E	Hinzutreten von <i>Engelhardtioipollenites</i>
P-C	Erhöhter <i>Pterocaryapollenites</i> - und <i>Caryapollenites</i> -Gehalt
P	Hangendes; Dominanz <i>Pterocaryapollenites</i>

Nun wurden im Zuge der Studie von KLAUS (1954) auch aus anderen Kohlenmulden im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier Bohrproben, von welchen ebenfalls Sporogramme angefertigt wurden, entnommen. Es fiel auf, dass (auch wenn die Bohrproben mehr als ein Flöz durchstießen) die Zonen der Tab. 3 von unten nach oben immer mehr oder weniger erhalten blieben. Bohrungen aus der Piberstein-Lankowitzer Mulde etwa, in der drei getrennte Flöze vorliegen, zeigten, dass das unterste Flöz (in Piberstein-Lankowitz als „Pibersteiner Flöz“ bezeichnet) die Zonen C und den unteren Teil der Zone X, das mittlere Flöz („Sebastiani-Flöz“) den oberen Teil der Zone X und das oberste Flöz („Pendelflöz“) die Zonen R(P) und R umfasst.

Lediglich Bohrproben aus Zangtal wichen von der Zoneneinteilung des Flözes aus Köflach-Karlschacht ab. Hier zeigte sich, dass in dieser Kohlenmulde zwei Flöze ausgeprägt sind. Das obere, das später als „Zangtaler Oberflöz“ bezeichnet wurde, passte allerdings keineswegs zur im restlichen Kohlerevier einheitlichen Sporenzonierung; vielmehr dominierten in Proben aus diesem Flöz Sporen von *Quercoipollenites microhenrici*. Das untere Flöz und die darüber liegenden, bis zu 100 m mächtigen Schotter- und Sandmittel, umfassten die Sporenzonen R, E und P des „Normalflözes“ aus Köflach-Karlschacht (vgl. KLAUS 1954: 7 f.).

In den meisten der im Vorangegangenen aufgelisteten Teilbecken sind also Unter-, Mittel- und Oberflöz ausgebildet. Nur in der Zangtal-Oberdorfer Mulde liegen andere Verhältnisse vor; hier sind weder Unter- noch Mittelflöz ausgebildet und etwa 100 m über dem Oberflöz liegt das Zangtaler Oberflöz (vgl. HARER & KOLMER 1985: 5).

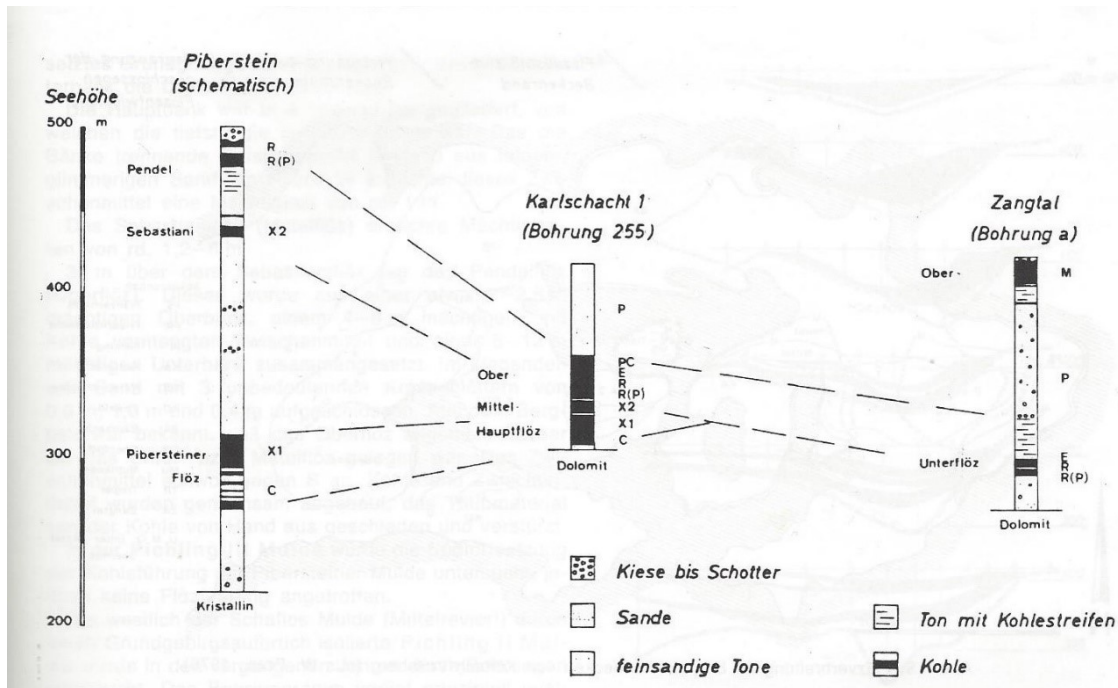


Abb. 28: Profile zur Flözgleichstellung im Köflach-Voitsberger Becken nach KLAUS (1954)

Dem Unterflöz sind folgende Flöze des Köflach-Voitsberger Braunkohlereviere zuzuordnen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 61):

- Pibersteiner Flöz der Piberstein-Lankowitzer Mulde
- Hauptflöz im Karlschacht I (Rosentaler Mulde)
- Tiefstes Flöz im Karlschacht II (Obergraden-Untergraden-Mulde)
- Tiefstes Flöz im Marienschacht (Hödl-Mulde)
- Tiefstes Flöz der Kowalder Mulde
- Tiefstes Flöz der Piber-Bärnbacher Mulde
- Tiefstes Flöz der Oberhofer Mulde

Dem Mittelflöz sind folgende Flöze des Köflach-Voitsberger Braunkohlereviere zuzuordnen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 61 f.):

- Sebastianiflöz der Piberstein-Lankowitzer Mulde
- Mittleres Flöz im Karlschacht I
- Mittleres Flöz im Karlschacht II

- Mittleres Flöz der Schafloser Mulde
- Mittleres Flöz im Marienschacht
- Mittleres Flöz in Oberdorf (Zangtal-Oberdorfer Mulde)
- Mittlerer Teil des Flözpaketes der Piber-Bärnbacher Mulde
- Mittleres Flöz der Kowalder Mulde

Dem Oberflöz sind folgende Flöze des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevieres zuzuordnen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 62):

- Pendelflöz der Piberstein-Lankowitzer Mulde
- Oberstes Flöz im Karlschacht I
- Oberstes Flöz im Karlschacht II
- Oberstes Flöz der Schafloser Mulde
- Oberstes Flöz im Marienschacht
- Oberstes Flöz in Oberdorf
- Unteres Flöz in Zangtal (Zangtal-Oberdorfer Mulde)
- Oberstes Flöz der Kowalder Mulde

Neben den von KLAUS (1954) durchgeführten pollenanalytischen Untersuchungen zur Flözparallelisierung waren auch immer wieder weitere paläoökologische Studien an der Lebensgemeinschaft des miozänen Köflach-Voitsberger Beckens durchgeführt. So berichtete bereits ETTINGSHAUSEN (1858), nachdem er in den Besitz einer Sammlung von fossilisierten Pflanzen aus Köflach kam, über die Artzusammensetzung der fossilen Flora des Köflach-Voitsberger Braunkohlereviere. Insgesamt gelang es ihm, 34 Arten (aus 19 Familien) zu identifizieren, wobei sich darunter 12 zur damaligen Zeit noch unbekannte Arten befanden. Er war außerdem der „[...] Ueberzeugung [...], dass fernere Aufsammlungen und Nachforschungen an diesem neuen Fundorte fossiler Pflanzen noch viele zur Kenntniss der vorweltlichen Flora wichtige Daten liefern werden“ (ETTINGSHAUSEN 1858: 1).

Als besonders häufig beschreibt ETTINGSHAUSEN (1858) die Vorkommen von *Sequoia langsdorfii* und *Alnus kefersteinii*. Beide Arten sind zwar ausgestorben, haben aber heute noch vorkommende, sehr nahe verwandte Arten, deren Verbreitungsgebiete in wärmeren Klimazonen als der heute in Mitteleuropa herrschenden liegen. Es handelt sich dabei um den

Küstenmammutbaum (*Sequoia sempervirens*) beziehungsweise die im Süden Italiens und auf Korsika vorkommende Herzblättrige Erle (*Alnus cordata*).

Seine Arbeit beschränkte sich nicht darauf, die Pflanzenfossilien lediglich zu benennen und taxonomisch einzuordnen; er gibt auch teils recht detaillierte Angaben über Erkennungsmerkmale, andere bekannte Fundstellen sowie verwandte Arten, wie folgender Textausschnitt (Abb. 29) zeigen soll:

Ord. Moreae.

Ficus Joannis Ettingsh.

Taf. I, Fig. 6; Taf. II, Fig. 10.

F. foliis lanceolatis, coriaceis, basin et apicem versus angustatis, margine integerrimis; nervatione brochidodroma, nervo primario crasso, recto, percurrente, nervis secundariis sub angulis 65—80° orientibus, segmentis obtusis, curvis a margine remotis, nervis tertiariis tenuibus, angulo recto egredientibus.

In schisto argillaceo lignitum ad Kœflach, nec non ad Fohnsdorf et ad Sagor.

Diese interessante *Ficus*-Art, welche mir bereits aus den fossilen Floren von Sagor und Fohnsdorf bekannt ist, scheint, nach dem ziemlich häufigen Vorkommen der Blattreste zu schliessen, den vorherrschenden Waldbäumen der Flora von Kœflach angehört zu haben. Sie steht der *Ficus lanceolata* Heer aus der Schweizer Tertiärflora nahe; unterscheidet sich aber von genannter Art leicht durch die zahlreicheren, meist feineren, unter stumpferen Winkeln abgehenden Secundärnerven und die gegen Basis und Spitze zu fast gleichmässig verschmälerte Form. Von den *Ficus*-Arten der gegenwärtigen Flora kommen ihr in den Merkmalen der Blattform, des Primärnervs und der Secundärnerven *Ficus laurifolia* Fig. 4, *F. microcarpa* Fig. 2 und eine noch unbestimmte amerikanische *Ficus*-Art Taf. III, Fig. 1; in der Bildung des Blattnetzes *Ficus ciliosa* Fig. 3 am nächsten.

Ich widmete diese Art Seiner kaiserlichen Hoheit dem durchlauchtigsten Herrn Erzherzog Johann.

Abb. 29: Textausschnitt zur Charakterisierung der Art *Ficus joannis* nach ETTINGSHAUSEN (1858: 9)

Weitere Erkenntnisse zur Paläoökologie des Kœflach-Voitsberger Braunkohlereviere liegen durch die multidisziplinäre Studie von STEININGER (1998), die die Neuerforschung und -beschreibung der Paläobotanik (siehe ZETTER (1998), MELLER (1998), KOVAR-EDER (1998)), Paläozoologie, Geologie und Beckenkonfiguration sowie Sedimentologie, Kohlenpetrologie und Chemofossilien der Kohlenmulde Oberdorf umfasst.

Der palynologische Teil der Studie lässt auf ein paläobotanisches Landschaftsbild schließen, das von Sumpfwäldern dominiert wurde. Indikatoren für diese Annahme sind häufige

Pollenfunde aus den Taxa *Taxodiaceae*, *Osmundaceae* (Königsfarngewächse), *Nyssa* (Tupelobäume), *Myrica*, *Ilex* (Stechpalmen), *Alnus* (Erlen), *Polypodiaceae* (Tüpfelfarngewächse) und einigen anderen. Offene Wasserflächen scheinen aber auf Grund fehlender Wasserpflanzenpollenfunde nicht vorhanden gewesen zu sein. Pollenfunde, die den Taxa *Taxodiaceae*, *Nyssa*, *Alnus*, *Acer* (Ahorne), *Fraxinus* (Eschen), *Ulmus* (Ulmen) und anderen zugeordnet werden konnten, weisen auch auf eventuelle Bruchwaldzonen innerhalb der Oberdorfer Mulde hin. Krautige Pflanzen wie *Cyperaceae* (Sauergräser), *Apiaceae* (Doldenblütler), *Dipsacaceae* (Kardengewächse), *Valerianaceae* (Baldriangewächse) und einige andere repräsentieren eine Pflanzengesellschaft am Ufer kleiner Teiche und Tümpel. Auch Laubwälder waren in Lagen knapp oberhalb des Grundwasserniveaus vorhanden. Waldlichtungen an Ufern von Flüssen und kleinen Seen wurden von Sträuchern und Kletterpflanzen wie *Rubus* oder *Vitis* besiedelt. Auffallend sind die nur wenig zahlreichen Funde von Gymnospermen-Pollen (vgl. ZETTER 1998: 2 f.).

Vergleichbare Ergebnisse lieferte auch der Teil der Studie, der sich mit den Diasporenfunden aus den Proben aus der Oberdorfer Mulde beschäftigt.

Proben, die das Liegende und den unteren Teil des Flözes umfassten, beinhalteten Diasporen von *Trigonobalanopsis exacantha* (ein immergrünes Buchengewächs) und aus der Familie *Lauraceae* (Lorbeergewächse) sowie von zahlreichen anderen, oft immergrünen oder holzigen, Pflanzentaxa, die auf einen ehemaligen immergrünen Laubwald schießen lassen, wie er heute in Ost- und Südostasien zu finden ist. Die häufigsten Diasporenfunde aus diesen Proben stammen von Sumpfwald-Pflanzen wie *Sequoia abietina*, *Glyptostrobus europaeus*, *Eurya stigmosa* und *Symplocos salzhausensis*. Wasserpflanzen konnten auch bei diesem Teil der Studie nur vereinzelt nachgewiesen werden. Weiters wurden einige krautige Pflanzen, die im Unterholz der Wälder gelebt haben müssen, nachgewiesen (vgl. MELLER 1998: 2).

Proben aus den tonigen Ligniten und Zwischenmitteln des Hauptflözes im westlichen Teil der Mulde waren relativ artenarm. Dominant trat aber die Art *Glyptostrobus europaeus* auf, die, zumindest in der Oberdorfer Mulde, wohl stark an der Torfbildung beteiligt gewesen sein musste. Diese sowie Pflanzentaxa wie *Sequoia*, *Myrica*, *Sparganium* (Igelkolben) und einige andere legen wiederum die Vermutung miozäner sumpfwaldähnlicher Verhältnisse oder zeitweise gefluteter Wälder an Flussufern nahe. Im östlichen Teil der Mulde zeigten Proben aus den tonigen Ligniten und Zwischenmitteln des Hauptflözes zwar eine größere Diasporenanzahl, allerdings ebenfalls eine überschaubare Artenvielfalt. Hier dominieren Funde von *Sparganium* und krautiger Elemente wie aus den Taxa *Ranunculaceae*

(Hahnenfußgewächse), *Carex* (Seggen) oder *Decodon* (Wasserweideriche), die auf feuchte Wälder und Schilfgebiete hinweisen (vgl. MELLER 1998: 2 f.).

Proben aus den grob-gekörnten Phasen des Hauptflözes des westlichen Teilbeckens lassen wiederum auf Au- und Sumpfwälder, jene aus den feiner gekörnten Phasen des Hauptflözes des östlichen Teilbeckens auf Feuchtwälder, Unterholz und Schilfvegetation schließen (vgl. MELLER 1998: 3 f.).

Die Sedimente des Hangenden zeigten sich in dieser Teilstudie reich an Diasporen, wobei auch hier Bohrproben aus unterschiedlichen Teilen der Mulde eine leicht unterschiedliche Diasporenzusammensetzung zeigten. Dominant waren in diesen Proben krautige und verholzte Pflanzen, die im Zuge dieses Absatzes größtenteils schon erwähnt wurden (vgl. MELLER 1998: 4 ff.).

Auch die dritte Teilstudie zum Thema Paläobotanik, die sich mit Blattfunden beschäftigte, bestätigte die Thesen zur miozänen Pflanzenwelt der Oberdorfer Mulde von ZETTER (1998) und MELLER (1998) weitestgehend. Als sehr dominant zeigten sich Arten/Gattungen aus der Familie *Taxodiaceae* (beispielsweise *Sequoia* und *Glyptostrobus*); nicht nachgewiesen werden konnten Wasserpflanzenreste (vgl. KOVAR-EDER 1998: 3).



Abb. 30: Abdruck von *Glyptostrobus europaeus*, einer auch in Oberdorf nachgewiesenen Art, aus der Paskapoo-Formation, Kanada
(Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Glyptostrobus_europaeus#/media/File:Glyptostrobus_Foliage_01.JPG)

Kurz verwiesen sei auch auf die offenbar reiche Fauna, die im Bereich Köflach-Voitsberg zur Zeit der Braunkohlebildung vorhanden gewesen sein muss. Die oben genannte Studie von STEININGER (1998) beinhaltetete auch mehrere Teilstudien zur Wirbeltierfauna der Oberdorfer Mulde, die insgesamt etwa 80 Arten nachweisen konnten. Häufig müssen vor allem kleine Säugetiere (vor allem Nager, Insektenfresser und Fledertiere, aber auch Beuteltiere), Amphibien (Froschlurche, Schwanzlurche, *Allocaudata*) und Eidechsen gewesen sein. Auch Reste von größeren Säugetieren (Wiederkäuer, aber auch eine kleine Schweineart sowie ein Nashorn), Vögeln und Hasen wurden gefunden. Bemerkenswert war auch der Fund einer nicht näher identifizierbaren Kobra im Bereich der Schlangenfauna (vgl. STEININGER 1998: 3 f.).

Nach MOTTL (1970), die die tertiäre Säugetierfauna der steirischen Lagerstätten untersuchte, fanden sich im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier Reste folgender Arten:

- Piberstein-Lankowitzer Mulde:
 - o *Dorcatherium crassum*
 - o *Gomphotherium angustidens* (siehe Abb. 31)
- Karlschacht-Mulde:
 - o *Potamotherium miocenicum*
 - o *Dicerorhinus sansaniensis-germanicus*
 - o *Chalicotherium* sp.
 - o *Dinotherium bavaricum*
 - o *Gomphotherium angustidens*
- Hohegger Mulde:
 - o *Mionictis dubia*
 - o *Dicerorhinus sansaniensis-germanicus*
 - o *Aceratherium tetradactylum*
 - o *Hyotherium soemmeringi*
 - o *Dinotherium bavaricum*
- Oberdorfer Mulde:
 - o *Aceratherium tetradactylum*
 - o *Taucanamo pygmaeum*
- Zangtaler Mulde:
 - o *Plesiosorex styriacus*
 - o *Ursavus brevirohinus*

- *Potamotherium miocenicum*
- *Trochictis taxodon*
- *Steneofiber jaegeri*
- *Aceratherium tetradactylum*
- *Dicerorhinus sansaniensis-germanicus*
- *Hyotherium soemmeringi*
- *Phyllotillon* sp.
- *Heteroprox larteti*
- *Gomphotherium angustidens*

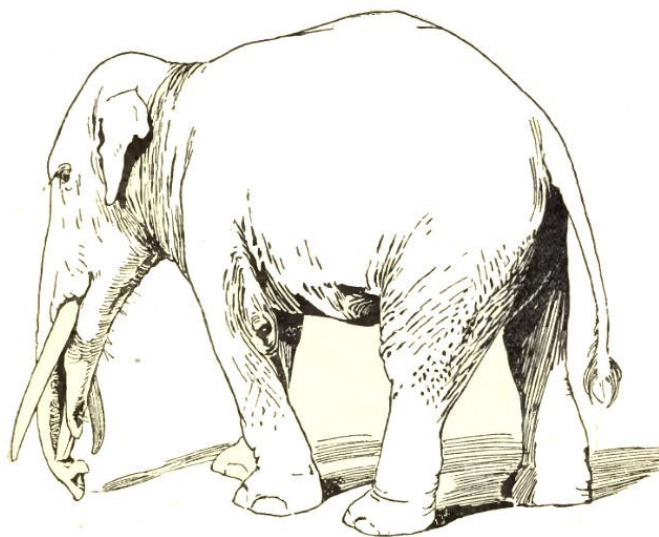


Abb. 31: Rekonstruktion von *Gomphotherium angustidens*
 (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Gomphotherium_angustidens.jpg [12.01.2019])

3.2 Bergbaugeschichte des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevieres

Die Geschichte des steirischen Kohleabbaus begann Anfang des 17. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit erkannte man erstmals, dass die Verwendung von Holz und Holzkohle offenbar zu Problemen führt, da das Nachwachsen des abgeholzten Waldes nicht schnell genug stattfand, um den Energiebedarf der Haushalte und Industriegewerbe (vor allem Eisenindustrie) langfristig decken zu können. Im Jahre 1606 kam es dadurch bedingt zur ersten Erwähnung der Köflach-Voitsberger Kohlevorkommen, wobei der zur damaligen Zeit generell für mineralische Kohle verwendete Begriff „Steinkohle“ verwendet wurde (nicht zu verwechseln mit der heutigen Verwendung des Begriffes). Der Kärntner Uhrmacher Jonas CAMWORTH, der mit der notwendig gewordenen Suche nach Kohlevorkommen beauftragt

wurde, meldete neben den Vorkommen von Köflach und Lankowitz unter anderem auch Lagerstätten in Proleb und Kapfenberg (vgl. LASNIK 2004: 51).

Damals war der Holzangel allerdings offenbar noch nicht gravierend genug, um auf den neuartigen Brennstoff umzusteigen, der zudem bei mehreren Berufsgruppen auf Grund des beißenden Rauchs, dem man gesundheitsschädliche Eigenschaften unterstellte, unbeliebt war. Dazu kamen logistische Probleme, die der im Vergleich zu Holz und Holzkohle relativ schweren mineralischen Kohle geschuldet waren (vgl. LASNIK 2004: 52).

Ein neuer Versuch zur damaligen „Energiewende“ erfolgte erst Mitte des 18. Jahrhunderts. Der Gewerke Anton WEYDINGER wurde zum „Steinkohlenverleger“ für die Steiermark erhoben, nachdem er einen Kohlebergbau bei Leoben erwarb. Das veranlasste ihn, weitere Kohlebergbaue, unter anderem jene von Lankowitz, Oberdorf und Voitsberg, zu eröffnen. Seine Aufgabe bestand darin, die von ihm geschürfte Kohle zu fixen Preisen an verschiedene Verlagsorte zu liefern. Leider konnte er die Kosten, die beim Transport der Kohle zu den Verlagsorten anfielen, nicht mit den ihm von der Regierung zur Verfügung gestellten Mitteln decken. Das führte dazu, dass WEYDINGER im Jahre 1768 seine Rechte vollständig an die unter kaiserlicher Beteiligung neu gegründete „Steinkohlen-Rectifications-Societät“ abtrat. Diese hatte auf Grund ähnlicher wirtschaftlicher Probleme aber ebenfalls nur rund zwei Jahre Bestand. Die Arbeit in den Kohlerevieren der Steiermark wurde also 1770 vorerst eingestellt (vgl. LASNIK 2004: 52 f.).

Auch der Montanfachmann Johann Nepomuk von HEIPL, der 1772 die steirischen Kohlebergwerke übernahm, sah sich der Problematik eines nicht kostendeckenden Kohlepreises gegenübergestellt und musste dementsprechend ebenfalls bald seine Rechte abtreten (vgl. LASNIK 2004: 53).

Obwohl die Bevölkerung des zu Ende gehenden 18. Jahrhunderts die Verwendung von Kohle langsam immer weniger ablehnte, waren die steirischen Fördermengen von beispielsweise rund 100 t (hauptsächlich für die Alaunherstellung) im Jahr 1789 noch sehr gering. Etwa um dieselbe Zeit waren es in England rund 10,3 Millionen t (vgl. LASNIK 2004: 54).

(Anmerkung: Bei *Alaun* handelt es sich um ein schwefelsaures Doppelsalz der Metalle Kalium und Aluminium. Nach LASNIK et al. (1997) wurde er vielfältig eingesetzt; etwa in Gerbereien, in Färbereien zum Beizen oder in der Kattundruckerei. Heute kennt man Alaun vor allem auf Grund seiner Verwendung in Rasierstiften zur Blutstillung.)

Im Raum Köflach-Voitsberg wurde Kohle bereits damals (um 1800) neben der Alaunherstellung auch für andere Zwecke genutzt, nämlich zum Kalk- und Ziegelbrennen,

in Hammerwerken und vor allem auch im Hochofen des Blechwerkes in Krems bei Voitsberg, das von Georg GAMILLSCHIEGG betrieben wurde und Vorbild für andere eisenverarbeitende Betriebe war (vgl. LASNIK et al. 1997: 32).

Nach den Koalitionskriegen (in deren Verlauf die Industrie mehr oder weniger stillstand), also in der Zeit um 1815, musste der Mangel an Holz und Holzkohle gravierender geworden sein und der Ruf nach „Steinkohle“ wurde lauter. Die Suche nach Kohlelagerstätten wurde intensiviert und die Eisenindustrie setzte zunehmend auf den neuen Brennstoff. Die zur damaligen Zeit immer größer werdende Beliebtheit der Kohle zeigt sich auch an folgenden Zahlen: 1836 wurden in der Steiermark noch 21 865 t Kohle abgebaut, 1857 waren es bereits 288 000 t. Vor allem das immer stärkere Eingreifen des Staates in die Wirtschaft zur Zeit des Vormärz war mitverantwortlich für den Aufschwung der Kohlenutzung. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts schließlich (Stichwort „Industrielle Revolution“) entwickelten sich die steirischen Kohlereviere zu wirtschaftlichen Zentren (vgl. LASNIK et al. 1997: 33 f.).

Dieser allgemeinen Einleitung des Unterkapitels zur Geschichte des steirischen Kohleabbaues folgt nun ein für die einzelnen Kohlenmulden jeweils separater historischer Überblick, da sich die historischen Abläufe des Bergbaus in selbigen leicht unterscheiden.

3.2.1 Piberstein-Lankowitzer und Pichlinger Mulden

Die Kohlelagerstätten um Maria Lankowitz und Pichling wurden bereits im Jahre 1606 von Jonas CAMWORTH entdeckt, gerieten allerdings auf Grund Widerstandes seitens Wilhelm von GERA (damals Inhabers der Herrschaft Lankowitz) bald in Vergessenheit (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

Erst 160 Jahre später, also im Jahr 1766, wurde das Pibersteinflöz wiederentdeckt. Verantwortlich dafür waren Abbé Nicolaus PODA und Johann GEIST, die von der „Agricultursocietät“ mit der Aufgabe der Suche nach Kohlelagerstätten betraut wurden. Bald darauf schloss Anton WEYDINGER das Pibersteinflöz durch einen Stollen, dessen Mundloch im steilen Hang an der Köflach und Maria Lankowitz verbindenden „März-Straße“ lag, auf (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

Von 1768 bis 1770 wurde am Pibersteinflöz unter der Steinkohlen-Rectifications-Societät, um 1772 unter Johann Nepomuk von HEIPL und von 1790 bis 1792 unter dem Arzt Dr. Fortunat SPÖCK Bergbau betrieben. 1792 wurden wiederum Anton WEYDINGER vom Berggericht Vordernberg Bergbaurechte für den „St. Nicolai Stollenbau“ in Pichling

verliehen. 1793 erhielt Josef BECK Rechte zur Kohlenförderung durch den St. Josephs-Stollen in Piberstein. Zur gleichen Zeit betrieb auch Anton PRANDSTETTER Bergbau um Maria Lankowitz. Ab 1799 war auch Dr. Fortunat SPÖCK wieder am Kohleabbau um Pichling und Maria Lankowitz beteiligt, da ihm Rechte zur Kohlenförderung durch den St. Lorenzius-Stollen, den St. Leonhardi-Stollen, den St. Balthasar-Stollen sowie durch den Paulus-Stollen und St. Lukas-Stollen (für die beiden letztgenannten zusammen mit Franz HEINRICH) erteilt wurden. Ebenfalls 1799 erhielt wiederum WEYDINGER, zusammen mit Johann Nepomuk NEUHOLD, Rechte am St. Constanzia-Stollen und dem St. Nepomuk Feld (beide in der Nähe des oben erwähnten St. Catharina-Stollens an der März-Straße) sowie am Florian-Grubenfeld bei Lankowitz. Der Kohleabbau um Pichling und Maria Lankowitz wurde von nun an unter der Bezeichnung „Steinkohlen-Bergbau in Lankowitz“ geführt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

Nach der zu dieser Zeit großen Nachfrage an Kohle folgte eine durch die Franzosenkriege bedingte Phase der wirtschaftlichen Stagnation, was sich auch auf den Kohleabbau um Pichling und Maria Lankowitz bemerkbar machte (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

Bis etwa in die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden einige weitere Stollen aufgeschlossen, die unterschiedlichen Schürfern verliehen wurden. Zu ihnen zählte auch der Gewerke HERZOG, der die geförderte Kohle für sein Walzwerk in Graden verwendete. Es folgte die Errichtung verschiedener weiterer Industriebetriebe, die sich auf Grund der Nähe zu den Brennstoffvorkommen um die Bergbaustollen in der Region ansiedelten. Dazu zählte auch der eisenverarbeitende Betrieb von Karl MAYR, der für seinen Hochofen auf die Kohlevorkommen des Gebietes angewiesen war. MAYR erwarb 1851 den „Steinkohlenbergbau bei Pichling“, 1852 den „Steinkohlenbergbau in Pichling“ und 1855 den „Steinkohlenbergbau zu Piberstein“ (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

Außerdem wurden ab der Mitte des 19. Jahrhunderts auch die anderen beiden Flöze der Mulde, nämlich das Sebastiani- und das Pendelflöz, untersucht (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45).

1857 erwarb Carl POLLEY einen Großteil des „Hasendorfer Steinkohlenbergbaues“. Drei Jahre später erhielt er die Berechtigung zur Errichtung des Lankowitzer Revierstollens. Dieser führte vom Köflacher Bahnhof über eine Länge von 1 300 m in die Lankowitzer Mulde (vgl. WEBER & WEISS 1983: 45 f.).

Da das Revier nun an die Graz-Köflacher Eisenbahn angeschlossen war, erhöhten sich auch die Abbaumengen und die technische Ausstattung der Stollen musste stark verbessert werden. Viele kleinere Bergbaubetriebe wurden allmählich von wenigen größeren

Unternehmen und Aktiengesellschaften abgelöst. 1866 erfolgte die Gründung der „Lankowitzer Steinkohlenbergbau- und Revierstollen-Gesellschaft“, die fortan den Revierstollen betrieb. 1869 wurden die „Vordernberg-Köflacher Montanindustriegesellschaft“ sowie die „Lankowitzer Kohlen-Compagnie“ ins Leben gerufen, die ebenfalls fortan stark am Kohlenabbau in den Lankowitzer- und Pichlinger Mulden beteiligt waren. Auch die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft hatte für kurze Zeit Anteile am Kohlebergbau um Maria Lankowitz. 1873 schürften in der Lankowitzer Mulde in tagebaumäßigen Verhältnissen die Lankowitzer Kohlen-Compagnie und die Vordernberg-Köflacher Montanindustriegesellschaft, in Stollen Heinrich MITSCH sowie im Tagebau und in Stollen Robert DITTLER. In der Pichlinger Mulde existierte der Tagebau der Vordernberg-Köflacher Montanindustriegesellschaft (vgl. WEBER & WEISS 1983: 46).

Erwähnenswert ist zudem ein Grubenbrand im Bereich des Catharinen-Stollens 1876 (vgl. WEBER & WEISS 1983: 46).

1881 bestanden nur noch zwei Bergbaukomplexe im Raum Lankowitz, nämlich der eigentliche Bergbau Piberstein von Heinrich MITSCH (um die Ortschaft Puchbach) und die Bergbaue südlich und westlich der Ortschaft Maria Lankowitz, die von der „Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft“ (in diese ging die Vordernberg-Köflacher Montanindustriegesellschaft über) betrieben wurden (vgl. WEBER & WEISS 1983: 46).

1890 eröffnete die Österreichisch-Alpine Montangesellschaft den westlich von Maria Lankowitz gelegenen, 145 m tiefen Franciscischacht, durch den Kohle aus dem Pibersteinflöz auch maschinell gefördert wurde (vgl. WEBER & WEISS 1983: 46 ff.).

Im Jahr 1908 förderte die Österreichisch-Alpine Montangesellschaft 200 000 t Kohle aus dem Franciscischachtfeld. Auf Grund der fortschreitenden Auskohlung des Feldes sank die Förderleistung in den Folgejahren und das Gebiet um den Franciscischacht wurde 1910 an den Nachbarfeldbesitzer Franz Freiherr MAYR von MELLNHOF, der 1903 auch den Pibersteiner Bergbau von Heinrich MITSCH erwarb, verkauft (vgl. WEBER & WEISS 1983: 48).

Im Pibersteiner Bergbau wurde 1901 der bis ins Jahr 1960 betriebene Franzschacht errichtet, von dem ab 1908 die Kohle per Obertageseilbahn zum Revierstollen transportiert wurde. 1910 begann auf Grund der stark von Taubmaterial verunreinigten Kohle die Errichtung einer Kohlenwäsche (vgl. WEBER & WEISS 1983: 48).

Zur Zeit des Zweiten Weltkrieges wurden von der Lankowitzer Kohlen-Compagnie der Tagebau Friedrichschacht und von der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft

der Tagebau Barbara eröffnet. Um alle drei Flöze zu erreichen wurde von 1942 bis zum Kriegsende der Neuschacht errichtet (vgl. WEBER & WEISS 1983: 48).

Ende 1954 übernahm die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft die Lankowitzer Kohlen-Compagnie. Nun unterlagen Friedrich- und Barbaraschacht einer gemeinsamen Leitung (vgl. WEBER & WEISS 1983: 48).

Die oben erwähnte Kohlenwäsche und -sortierung beim Franzschacht genügte ab etwa 1952 den gehobenen Qualitätsansprüchen an die Kohle nicht mehr. Deshalb musste eine Neuanlage beim westlichen Mundloch des Revierstollens errichtet werden (vgl. WEBER & WEISS 1983: 48 f.).

Ab 1957 wurde mit dem Abbau am Sebastianiflöz begonnen. Dazu wurde der Tagebau Friedrichschacht durch den Tagebau Sebastiani ersetzt, in dem modernere Abbaufverfahren wie etwa Streifen- oder Strebbau zum Einsatz kamen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 49).

Beim Franzschacht wurde ab 1960 ein neuer Tagebau westlich der Schachtanlage errichtet. Dieser wurde nach einem Dambruch 1966 allerdings bis zu seiner Wiedereröffnung 1970 stillgelegt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

Auf Grund von Auskohlung wurden alle Bergbaue der Lankowitzer und Pichlinger Mulden bis 1975 allerdings endgültig geschlossen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

3.2.2 Karlschacht-Grube

Der Bergbau Karlschacht lag in der Schafloser und in der Rosentaler Mulde sowie in der Verbindung der beiden Lagerstätten (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

Der Kohleabbau in der Karlschacht-Grube begann in den 30er-Jahren des 19. Jahrhunderts, wobei Christoph SEEMÜLLER als erste Person an Rechte kam. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts schienen bis zu 13 Maßenbesitzer (darunter auch Erzherzog Johann) in den beiden Mulden auf. 1859 begann die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft mit der Aufschließung des Josef-Ottobaues (es handelte sich dabei um einen Grubenbau) in der Rosentaler Mulde. Dieser wurde zwei Jahre später durch eine Schienenverbindung an die Hauptbahn Graz-Köflach angebunden. In diesem Bereich sowie im Bereich des nahe gelegenen Hohegger Bergbaus entstanden bald darauf auch weitläufige Tagebaue (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

1878 erwarb die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft auch Rechte am damals stark vernachlässigten Victoriaschacht von der „Allgemeinen Bau- und Kohlen-Actiengesellschaft“. Nachdem die Grube auf Grund starker Regenfälle fünf Wochen lang

unter Wasser stand und der Einsatz von Wasserpumpen erforderlich war, um den Bergbau wieder zugänglich zu machen, ergaben mit Bohrproben durchgeführte Messungen eine Flözmächtigkeit von bis zu 50 m. Diese waren ausschlaggebend für die Errichtung einer neuen Schachanlage bei der Station Rosental (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

Im selben Jahr kaufte die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft auch die Bergbaue von Josef PERISUTTI und Karl ORTNER im südlichen Bereich der Schafloser Mulde, die Bergwerke von Johann Peter von REININGHAUS und von Moriz Prinzen von MONTLEART im westlichen Bereich der Schafloser Mulde sowie die Hoheggergrube von Josef OBERGMEINER (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50).

Auf Grund von Abbauversuchen an Rücklässen kam es 1881 im Victoriaschacht zu einer „Schlagwetterexplosion“ (= Explosion durch gezündetes Methan, das sich über die Jahre in den Schächten gesammelt hat), die sechs Bergarbeiter tötete (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50). Dazu findet sich im „Grazer Volksblatt“ vom 13. Dezember 1881 folgender Artikel: *„Das gestern gemeldete Grubenunglück entstand, wie mir der am Unglücksorte sogleich erschienene Arzt mittheilte, durch schlagendes Wetter, ein Fall, der in den Braunkohlenwerken des Köflacher Gebietes bis jetzt noch nicht vorgekommen ist. [...] sechs Todte, ein Schwer- und ein Leichtverwundeter!“* (Grazer Volksblatt 1881: 5).

Nachdem die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft 1882 auch noch die Ferdinandgrube von der Vordernberg-Köflacher Montanindustriengesellschaft übernahm, wurden 1900 alle Gruben des Gebietes zum „Rosenthaler Bergbau“ zusammengelegt. Dabei war der Ferdinandschacht der „Haupteinbau“; über ihn wurde der Großteil der Kohle zu Tage gefördert (vgl. WEBER & WEISS 1983: 50 f.).

1902 wurde der bereits 1879 wegen eines Grubenbrandes aufgegebenen Josef-Ottoschacht wieder aufgeschlossen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 51).

1914 wurde von der Österreichisch-Alpinen Montangesellschaft eine neue Anlage, nur 140 m vom Ferdinandschacht errichtet. Diese sollte den Franciscischacht sowie den ausgekohlten Pichlinger Tagebau ersetzen. Der 100 m tiefe Karlschacht erschloss das an dieser Stelle vereinigten Ober- und Mittelflöz. Allerdings musste auf Grund der ungünstigen Lage des Karlschachtes schon 1917 ein neuer Schacht abgeteuft werden (vgl. WEBER & WEISS 1983: 51).

Nachdem die Österreichisch-Alpine Montangesellschaft 1928 die Aktienmehrheit an der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft erwarb, wurden Ferdinandschacht und Karlschacht vereinigt. Es bestanden in weiterer Folge zwei Betriebseinheiten, nämlich Karlschacht I und Karlschacht II (Hohegger Grube) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 51).

Nach dem Zweiten Weltkrieg kam es im Karlschacht zu fortschreitender Mechanisierung, die die Leistung und Arbeitsverhältnisse des Bergbaus deutlich verbesserte.

1956 wurde die alte Karlschachtanlage beschädigt, was eine neue Anlage notwendig machte. Es wurde ein Schrägschacht im Bereich des Bettenmacherkogels errichtet, der ebenfalls auf die Förderleitung bezogene erhebliche Vorteile mit sich brachte. Die Förderleistung konnte pro Mann und Schicht auf etwa 6 t gesteigert werden (vgl. WEBER & WEISS 1983: 52).

Die Jahre 1961 bis 1965 waren von Wassereinbrüchen und einer Vermurung auf Grund des Dammbrechens des Schlammteiches II im Bergbau Piberstein gekennzeichnet, was Kohleabbau unmöglich machte (vgl. WEBER & WEISS 1983: 52).

1965 wurden die Abbauarbeiten schließlich wieder aufgenommen. Es kam zu weiter fortschreitender Mechanisierung und moderneren Abbaufahren (beispielsweise neue Vortriebsmaschinen) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 52).

1969 kam es im Bereich Karlschacht zu einem großen Erdbeben, das zwar keine Menschenleben forderte, aber das Ende der Tätigkeiten im Karlschachte I bedeutete (vgl. LASNIK et al. 1997: 94).

Der Kohleabbau in der Rosentaler und Schafloser Mulde fand 1990 sein endgültiges Ende, da weiterer Abbau nicht mehr rentabel gewesen wäre (vgl. LASNIK et al. 1997: 94).

3.2.3 Karlschacht Tagebau

Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es, auf Grund besserer technischer Möglichkeiten im Tagebauwesen, erstmals Bestrebungen, im Gebiet Karlschacht nicht nur im Tiefbau, sondern auch im Tagebau Kohle abzubauen. Schon 1943 wurde die Bau AG Negrelli von der Österreichisch-Alpinen Montanindustriegesellschaft beauftragt, Abraumarbeiten zu starten. Nach Kriegsende wurde der Abraum durch den Einsatz neuerer Maschinen (Eimerketten-, Löffel- und Greifbagger) beschleunigt. Ab 1947 konnte Kohle tagebaumäßig gewonnen werden, ab 1953 kamen zum Abbau Hochlöffelbagger zum Einsatz (vgl. WEBER & WEISS 1983: 52 f.).

Ab 1961 begann auch die Aufschließung des Mittelflözes; nach der Dammbrechungskatastrophe 1965 begannen auch die Abraumarbeiten zur Aufschließung des Hauptflözes (das Rad des dabei eingesetzten Schaufelradbaggers hatte einen Durchmesser von 5,5 m). Zudem wurden, bis zum Erliegen des Kohleabbaus im Karlschacht-Gebiet, Bandanlagen installiert, um die Förderung der Kohle zu erleichtern (vgl. WEBER & WEISS 1983: 53).

3.2.4 Marienschacht

Bergbau in der Marienschacht-Mulde kann bis in das Jahr 1826 zurückverfolgt werden. 1848 fiel die gesamte Mulde in den Besitz von Erzherzog Johann, 1881 in jenen der Österreichisch-Alpinen Montanindustriegesellschaft. 1893 kam es erstmals zu einer Stilllegung des Kohleabbaus im Marienschacht (auf Grund unzureichender Wirtschaftlichkeit und Auskohlung). 1900 wurde von Franz PASSERINI wieder Kohle aus Rücklässen der vergangenen Bergbautätigkeiten geschürft (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54). Vom Jahr 1921, in dem die „Steirische Kohlenbergwerks AG“ den Betrieb im Marienschacht übernahm, bis ins Jahr 1946, wurde ausschließlich Untertagebau betrieben. Ab 1946 begann sich der Marienschacht-Bergbau aber auf Tagebau zu verlagern, was allerdings auf Grund der steilen Muldenränder (Hangrutschungen) und der Selbstentzündigkeit der Kohle Probleme mit sich brachte (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54).

1948 fiel der Marienschacht in den Besitz der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft, wobei Kohle in Trichterbauen abgebaut wurde. Es erfolgte auch eine zunehmende Mechanisierung (beispielsweise durch Bandanlagen oder einer Seilbahn zum Abtransport der Kohle) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54).

Auskohlung war schließlich der Grund für die endgültige Stilllegung der Grube 1962 (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54).

3.2.5 Karlschacht Tagbau II

Dieses Tagebaugelände befand sich in einer Mulde westlich von Voitsberg. In der Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden in dieser zwei Bergbaue. Im Georgschacht, der im Besitz von Erzherzog Johann stand, wurde Tag- und Tiefbau betrieben; im Ignazischacht der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft wurde tiefbaumäßig gearbeitet. Die beiden Betriebe wurden aber auf Grund von Grubenbränden 1860 beziehungsweise 1886 geschlossen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54).

Erst 1969 wurde wieder mit Abraumarbeiten für einen Tagebau begonnen (zuvor wurden ab 1926 nur sporadisch Untersuchungen der Lagerstätte vorgenommen), der bis ins Jahr 1981 betrieben wurde. Grund für die Schließung war auch hier Auskohlung (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54).

3.2.6 Piber, Bärnbach, Grubhof

Kohlevorkommen in Piber meldete bereits 1761 Ignaz GEIST. Zur erstmaligen Verleihung von Bergbaurechten kam es 1843 an Maria GEYER, die fortan in der Kleinkainacher Mulde (Nähe Bärnbach) schürfen durfte. 1845 kamen Johann PENDEL und Anton von STEER an Rechte zum Kohleabbau in der Piberer Mulde. Ebenfalls an Rechte zum Bergbau in der Piberer Mulde kamen 1859 die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft, Peter und Georg ORTNER sowie Anna von STEER. In der Kleinkainacher Mulde wurden Viktor von SESSLER, Erzherzog Johann, Thomas SIEGEL und Franz SATTER belehnt. Auch Samuel Graf von FESTETICS hielt Bergbaurechte im betreffenden Gebiet (vgl. WEBER & WEISS 1983: 54). 1868 übernahm die „Piber-Lankowitzer Segen Gottes-Gewerkschaft“ die Rechte von Peter und Georg ORTNER, nachdem in den davorliegenden Jahren auf Grund der schlechten Verkehrsanbindung des Gebietes kein regelmäßiger Kohleabbau stattfinden konnte (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

1875 betrieben Franz, Karl und Anna SCHREINER Bergbau in der Kleinkainacher Mulde; ihre Rechte verkauften sie 1884 aber an die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft. Johann PENDEL und Franz MAYR MELLNHOF kamen 1878 beziehungsweise 1876 an Rechte zum Bergbau in der Grubhof-Mulde. PENDEL schloss das Hermann-Grubenfeld durch einen 14 m tiefen, MAYR MELLNHOF das Franzgrubenfeld durch einen 38 m tiefen Schacht auf (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

Ab 1886 fand keine Bergbautätigkeit in Bärnbach, Piber und um den Grubhof statt. Erst 1911 schienen wieder Bergbaubesitzer (Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft, Österreichisch-Alpine Montanindustriegesellschaft, Alois HITTALER und Genossen sowie Alois SEUNIG und Genossen) auf (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

Nach dem Ersten Weltkrieg wurden die Bergbaue Piber I, Piber II und Piber III gegründet. Der Bergbau Piber I war ursprünglich im Besitz der Kohle- und Erzbergbau Ges.m.b.H., 1922 fiel er an die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft und 1923 an die Österreichisch-Alpine Montanindustriegesellschaft, die ihn schließlich dem Ziegeleibesitzer August MOLINARI verpachtete. Piber II (auch als Gottes Segen-Bergbau bezeichnet) wurde von der „R. Holzner und Co. Kommanditgesellschaft“ betrieben. In diesem Bergbau wurde zwischenzeitlich auch Ton aus den Zwischenmitteln der Kohle gewonnen. Er wurde 1926 eingestellt. Piber III stand im Besitz der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft sowie der Österreichisch-Alpinen Montanindustriegesellschaft, die die Lagerstätte, in der ein in fünf Bänke aufgespaltenes Flöz vorlag, an Felix HOLZNER

verpachteten, der den Bergbau bis ins Jahr 1934 betrieb (endgültige Stilllegung 1935) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

3.2.7 Oberdorf

Vier Jahre nach der Entdeckung der Oberdorfer Kohlevorkommen im Jahre 1764 (durch Abbé Nicolaus PODA im Auftrag der Agriculture Societät) begann Anton WEYDINGER mit dem Bergbau in der Oberdorfer Mulde. Die durch den Barbara- und St. Anton-Stollen gewonnene Kohle nutzte er zum Vitriol- und Salpetersieden, in der Eisenindustrie war selbige nicht geeignet (zu hoher Alaun- und Schwefelgehalt). WEYDINGERS Abbautätigkeiten dauerten bis ins Jahr 1770 an (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

(Anmerkung: *Salpeter* (Salze der Salpetersäure) wurde zur Herstellung von Schwarzpulver benötigt, *Vitriol* (bestimmte Salze der Schwefelsäure) wurde zum Färben, Beizen und in der Kattundruckerei verwendet.)

Von 1772 bis 1774 versuchte Johann Nepomuk HEIPL, den Oberdorfer Bergbau wieder in Gang zu setzen, scheiterte aber. Ab 1785 wurde wieder unter WEYDINGER „Erdholz“ geschürft. In den letzten Jahren des 18. Jahrhunderts kamen Johann Michael GEYER, Dr. Fortunat SPÖCK und Anton SÜLZBECK an Bergbaurechte am Oberdorfer Kohlelager. Das Berggericht Vordernberg belehnte SPÖCK 1799 mit Maßen auf zwei gleichbenannte St. Michael-Stollen (einer davon schloss das Flöz von der Tregisttaler Seite auf, der andere von der Kainachtaler Seite), auf den Cordulastollen sowie auf die St. Anton- und Felixaufschlüsse (Kainachtaler Seite); GEYER 1800 mit Maßen auf den Franciscistollen und den Aloisstollen; wiederum SPÖCK 1800 mit Maßen auf den Karlstollen; sowie SÜLZBECK 1802 mit Maßen auf den Antonstollen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 55).

1811 fielen SPÖCKS Maße an Peter TUNNER und Franz SPRUNG. 1813 kam Johann Michael GEYER an weitere Maße in der Oberdorfer Mulde (Michaellehen, Annalehen, Cajetanilehen). Zudem erfolgte eine Eintragung in das Bergbuch („Steinkohlen Bergbau zu Oberdorf bei Voitsberg“). 1819 fielen das Peter- und Alexanderlehen an Franz GEYER, den Sohn von Johann Michael GEYER. Zu diesem Zeitpunkt war er darüber hinaus auch schon der Besitzer des ursprünglich seinem Vater gehörigen Bergbaus. 1831 war Alois GEYER alleiniger Besitzer des Oberdorfer Bergbaus. Zudem errichtete er eine Alaunsudhütte im Bereich Tregisttal. Ab 1855 (nach Alois GEYERS Tod) waren die Oberdorfer Maße im Besitz von Alois GEYER jun. und Maria GEYER (Sohn und Ehegattin von Alois GEYER) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 56).

Kurz nach der Errichtung der Graz-Köflacher Eisenbahnlinie im Jahre 1859 wurde der Bergbau Oberdorf mit Schienen mit der Hauptlinie verbunden. 1870 folgte die Eröffnung eines neuen Haupteinbaus, des sogenannten Moritzstollens (vgl. WEBER & WEISS 1983: 56). 1872 kam (über Umwege) die „Kainachtaler Kohlenbergbau Gesellschaft“ in den Besitz des „Steinkohlenbergbaus zu Oberdorf bei Voitsberg“. Im Jahr 1876 waren bereits 147 Männer und Frauen in der Oberdorfer Mulde beschäftigt, die Förderleistung betrug über 35 000 t. Die Kohle wurde (bis auf eine kleine Menge, die der benachbarten Glasfabrik geliefert wurde) an die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft verkauft, welche 1884 auch den „Steinkohlenbergbau zu Oberdorf bei Voitsberg“ von den zwischenzeitlichen Besitzern Josef und Maria SCHOLZ sowie die sich ebenfalls in der Oberdorfer Mulde befindlichen „Steinkohlen-Bergbau in Niedertregist“ (Schutzname „Antonistollen“) und „Steinkohlen-Bergbau zu Oberdorf“ (Schutzname „Mariastollen“), die 1841 beziehungsweise 1843 jeweils unter Maria GEYER zur Eintragung in das Bergbuch kamen, kaufte. Zuvor war die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft auch schon an die Bergbaue „Steinkohlen-Bergbau bei Oberdorf“ (1857, Schutzname „St. Barbaraschacht“) und „Braunkohlenbergbau zu Hochtregist“ (1862, Schutzname „Ignatzi Schutz und Schirm“) gekommen (vgl. WEBER & WEISS 1983: 56).

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde an Ober- und Unterflöz abgebaut; das Liegendflöz beinhaltete im Großteil der Mulde keine qualitativ abbauwürdige Kohle. Zur Kohleförderung wurden noch Pferde verwendet, die Belüftung der Grube erfolgte noch über einfache „Wetterschächte“. Die gesamte technische Ausstattung des Oberdorfer Bergbaus war auch noch um die Zeit des Ersten Weltkrieges im Vergleich zu anderen Lagerstätten des Revieres relativ primitiv. Grund dafür waren Schwankungen der Förderleistungen, die auf die schlechte Qualität der Oberdorfer Kohle zurückzuführen waren. Häufig waren auch Grubenbrände (vgl. WEBER & WEISS 1983: 56 f.).

Während des Zweiten Weltkrieges erfuhr der Oberdorfer Bergbau auf Grund der Energieknappheit zu dieser Zeit wieder einen Aufschwung. Allerdings wurden teils aus bergwirtschaftlicher Sicht unüberlegte Maßnahmen ergriffen, die wiederum zu gehäuften Bränden führten, sodass Teile des Bergbaus geschlossen werden mussten. Um der dadurch geschuldet verminderten Förderleistung entgegen zu wirken, wurde ein Tagebau in der Oberdorfer Mulde angelegt, der allerdings auf Grund von Auskohlung bereits 1948 wieder geschlossen werden musste. Außerdem wurde fortan auch vermehrt am Liegendflöz Kohle geschürft (vgl. WEBER & WEISS 1983: 57).

1951 kam es auf Grund neuer Förder- und Sortierungsanlagen zu einer Erhöhung der Grubenleistung. Von 1964 bis 1966 wurden auch die Abbaufverfahren mechanisiert (Umstellung von Kleinfeilerbruchbau auf Strebbau mit Bremsbandstempeln), wodurch kurzfristige Abbaustopps notwendig wurden. Zur Überbrückung selbiger wurde ein neuer Tagebau (Bereich Muttelkogel) angelegt, der bis 1970 Bestand hatte (vgl. WEBER & WEISS 1983: 57).

In den Jahren bis 1980 kam es zu weiteren weitreichenden Verbesserungen der Ausstattung des Bergbaus Oberdorf (beispielsweise durch den Einsatz von Walzenschrämladern). Außerdem wurde der Grubenbetrieb 1980 eingestellt; stattdessen wurde fortan ausschließlich im Tagebau Kohle gefördert. Vor allem auch das noch unverritzte Unterflöz stand dabei im Vordergrund des bergmännischen Interesses (vgl. WEBER & WEISS 1983: 57).

Die mit Hilfe von 1974 bis 1975 durchgeführten Untersuchungen ermittelten 31 Millionen t Braunkohle, die tagebaumäßig gewonnen werden sollten, machten den Abraum enormer Mengen an Material (etwa 140 Millionen m³) notwendig. Die dafür eingesetzten Geräte waren die größten dieser Art, die jemals in Österreich zum Einsatz kamen (der 1986 gekaufte Schaufelradbagger VABE 700 hatte ein Dienstgewicht von 560 t). Die großen Mengen an Braunkohle, die zukünftig in Oberdorf abgebaut werden konnten, führten zur Errichtung des Kohlekraftwerkes „Voitsberg III“.



Abb. 32: Schaufelradbagger Lauchhammer SRs 400 an seinem heutigen Standort nahe des ehemaligen Bergbaus Oberdorf

Bis 1994 hatte konnten aus dem Großtagebau Oberdorf bereits über 14 Millionen t Kohle abgebaut werden, im Jahr 1997 waren in Oberdorf 149 Personen beschäftigt, dazu kamen

weitere 373 in den Einrichtungen, die mit dem Großtagebau in direkter Verbindung standen (vgl. LASNIK et al. 1997: 157 ff.).

Der Tagebau Oberdorf war der Bergbau des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevieres, der am längsten Bestand hatte. Er wurde erst im Jahr 2004 wegen Auskohlung geschlossen.

3.2.8 Zangtal

Zu erstmaligen Verleihungen in Zangtal kam es 1799, als Dr. Fortunat SPÖCK den St. Michael-Stollen auf der Tregisttaler Seite der Mulde und Johann Michael GEYER den Antoni-Stollen im Burgwald zugesprochen bekamen. Zweiterer Stollen fiel allerdings schon ein Jahr später ebenfalls an SPÖCK, der auch mit dem Karl-Stollen-Lehen belehnt wurde. Weitere zwei Jahre später erhielt GEYER das Carolusfeld (vgl. WEBER & WEISS 1983: 58).

Im Jahre 1859 wurde die Verteilung der Rechte in der Zangtaler Mulde wie folgt beschrieben: Franz KÜGERL betrieb einen reinen Grubenbau, in dem er zehn bis zwölf Arbeiter beschäftigte und die erste Dampfmaschine im gesamten Köflach-Voitsberger Revier verwendete. Die Gebrüder SPRUNG beschäftigten in ihrem Bergbau acht fixe sowie etwa 15 saisonale Arbeiter. Außerdem wurde neben dem Abbau in Stollen auch in zwei kleineren Tagebauen gearbeitet. Hauptsächlich tagebaumäßig wurde im Bergbau von Georg MAYERHOFER Kohle gewonnen, wobei 15 Arbeiter beschäftigt wurden. Auch im Bergbau von SCHILLER wurde Kohle aus einem Tagebau gewonnen, acht Arbeiter konnten beschäftigt werden. Auch die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft besaß einen Bergbau in Zangtal; 1859 war dieser allerdings nicht in Betrieb. In Maria GEYERS Bergbau in Niedertregist, der aus einem Tagebau, der aus einem von ursprünglich drei Stollen hervorging, bestand, wurden elf Arbeiter beschäftigt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 58).

1870 gründete Franz KOCH durch den Kauf mehrerer kleinerer Bergwerke die „I. Voitsberger Kohlenwerke AG“ und errichtete den Josefschacht. Ein Jahr später kaufte er gemeinsam mit August ZANG die Bergwerke „Steinkohlenbergbau zu Niedertregist bei Voitsberg I“ (von Georg MAYERHOFER), „Steinkohlenbergbau zu Niedertregist bei Voitsberg II“ (von Rudolf, Dr. Ludwig und Franz SPRUNG) und „Steinkohlenbergbau zu Niedertregist bei Voitsberg“ (von Maria SCHOLZ). August ZANG wurde 1872 auch das August-Lehen verliehen, 1875 kaufte er alle Anteile der „Tregister Kohlenbergbau-Gesellschaft“ und war fortan Alleinbesitzer eines großen, zusammenhängenden Grubenfeldes. Darauf folgte erst die

Umbenennung des Schindergrabens, der den Kohleabbau durchzog, in „Zangtal“ (vgl. WEBER & WEISS 1983: 58).

Nördlich von ZANGS Bergbau lag der Oberdorfer Bergbau der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft, südlich lag der Bergbaubereich der I. Voitsberger Kohlenwerke AG. Unter ZANG wurde der von Grubenbau dominierte Bergbau auf Tagebau umgestellt und modernisiert, es wurden 51 Männer und zwei Frauen beschäftigt. 1880 waren die Tagebaue allerdings ausgekohlt und der Grubenbetrieb nahm wieder Überhand (vgl. WEBER & WEISS 1983: 58).

1879 erwarb die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft die Rechte der I. Voitsberger Kohlenwerke AG, musste im Josefschacht allerdings vor weiteren Abbauarbeiten einen Grubenbrand unter Kontrolle bringen. Zwei Jahre später konnte schon eine Förderung von über 144 000 t Kohle erreicht werden. Ebenfalls 1881 begann man mit der Errichtung des Viktorschachtes, die 1882 abgeschlossen war. Im Josefschacht arbeiteten bis zu 500 Männer, im Viktorschacht etwa 50 (vgl. WEBER & WEISS 1983: 58).

Nach August ZANGS Ableben fiel der Bergbau im Zangtal an seine Frau Ludovica. Unter ihrer Führung lag die Förderleistung des hauptsächlich im Grubenbau betriebenen Unternehmens bei etwa 10 000 t Kohle pro Jahr. Immer wieder gab es Probleme mit Grubenbränden. 1898 verkaufte sie den Bergbau schließlich an die Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft (vgl. WEBER & WEISS 1983: 59).

1905 waren Josef- und Viktorschacht bereits geschlossen; es wurde nun hauptsächlich im Bereich Tregisttal abgebaut. Fast die komplette Förderleistung des Betriebes war auf tagebaumäßige Kohlengewinnung zurückzuführen. Das Gelände war auch schon mit der Hauptlinie der Graz-Köflacher Bahn verbunden (vgl. WEBER & WEISS 1983: 59).

Zwischen Erstem und Zweitem Weltkrieg existierte kein Untertagebau mehr in der Zangtaler Mulde. Das bis zu 18 m mächtige Flöz wurde im Tagebau mit Hilfe modernerer Gerätschaften (Eimerkettenbagger, Löffelbagger) abgebaut. Um 1946 erhöhte sich die Tagesförderleistung von etwa 600 auf 1 400 t, die Kohle wurde mit Dampflokomotiven zur Sortieranlage gebracht. Zudem wurde auch der Tregistbach im Zuge der Abbauarbeiten umgeleitet. Auch Bandanlagen und eine Hochseilbahn zur Zentralsortierung in Bärnbach wurden eingerichtet. Ab 1955 ersetzte Strebbau den Pfeilerbruchbau, was sich positiv auf die Förderleistung auswirkte. 1961 kam erstmals Stahlausbau zum Einsatz, in weiterer Folge erfolgte weitere Technologisierung (beispielsweise durch Streckenvortriebsmaschinen) (vgl. WEBER & WEISS 1983: 59).

Von 1958 bis 1963 sowie von 1969 bis 1972 war in der Zangtaler Mulde zusätzlich ein Tagebau im Bereich Josefschacht in Betrieb (vgl. WEBER & WEISS 1983: 59).

Ab 1974 begannen die Aufschlussarbeiten für das Zangtaler Unterflöz, ab 1975 wurde im Tagebau abgebaut. Die Förderleistung lag bei bis zu 677 000 t (1981), knapp 250 Personen konnten beschäftigt werden. 1989 wurden der Kohleabbau in Zangtal nach insgesamt rund 27,7 Millionen t geförderter Kohle endgültig beendet (vgl. LASNIK et al. 1997: 72 f.).

3.2.9 Kowald

Seit Ende des 18. Jahrhunderts sind im Bezirk Voitsberg auch Kohlevorkommen aus der Kowalder Mulde bei Voitsberg bekannt. Diese sollen von Anton WEYDINGER entdeckt und erstmals von der Stadt Voitsberg gewonnen worden sein. Ein Schacht wurde erstmals 1842 errichtet. Der 10 m tiefe Katharinenschacht schloss in etwa sechs Metern Tiefe ein Flöz auf. Dieser kleine Bergbau fiel 1844 an J. F. MAYER, 1849 an Ludwig, Rudolf und Franz SPRUNG. Die Förderleistung aus der Kowalder Mulde war allerdings überschaubar (vgl. WEBER & WEISS 1983: 60).

1851 erwarb Karl MAYR den Bergbau, 1854 erfolgte die erstmalige Eintragung ins Bergbuch unter der Bezeichnung „Steinkohlenbergbau am Grillbüchel bei Voitsberg“. Ein Jahr später erfolgte allerdings die Schließung des Betriebes (vgl. WEBER & WEISS 1983: 60).

Bis zu seiner Neueröffnung im Jahr 1921 wechselte das Gelände neun Mal seine(n) Besitzer, zuletzt war es im Besitz von Rudolf ZABEL. Im Zuge der Neueröffnung wurde ein neuer Stollen („Kowaldstollen“) errichtet, aus dem etwa 50 Beschäftigte täglich bis zu 3 t Kohle abbauten. Auch ein Tagebau wurde angelegt. 1924 wurde der Betrieb eingestellt (vgl. WEBER & WEISS 1983: 60).

Um den historischen Verlauf der Abbautätigkeiten im gesamten Köflach-Voitsberger Revier übersichtlich zu illustrieren, sind in folgendem Diagramm (Abb. 33) Zeitleisten zu den einzelnen Mulden eingetragen, wobei die grünen Anteile der Balken Kohleabbau, die roten Anteile zwischenzeitliche Abbaustopps symbolisieren.

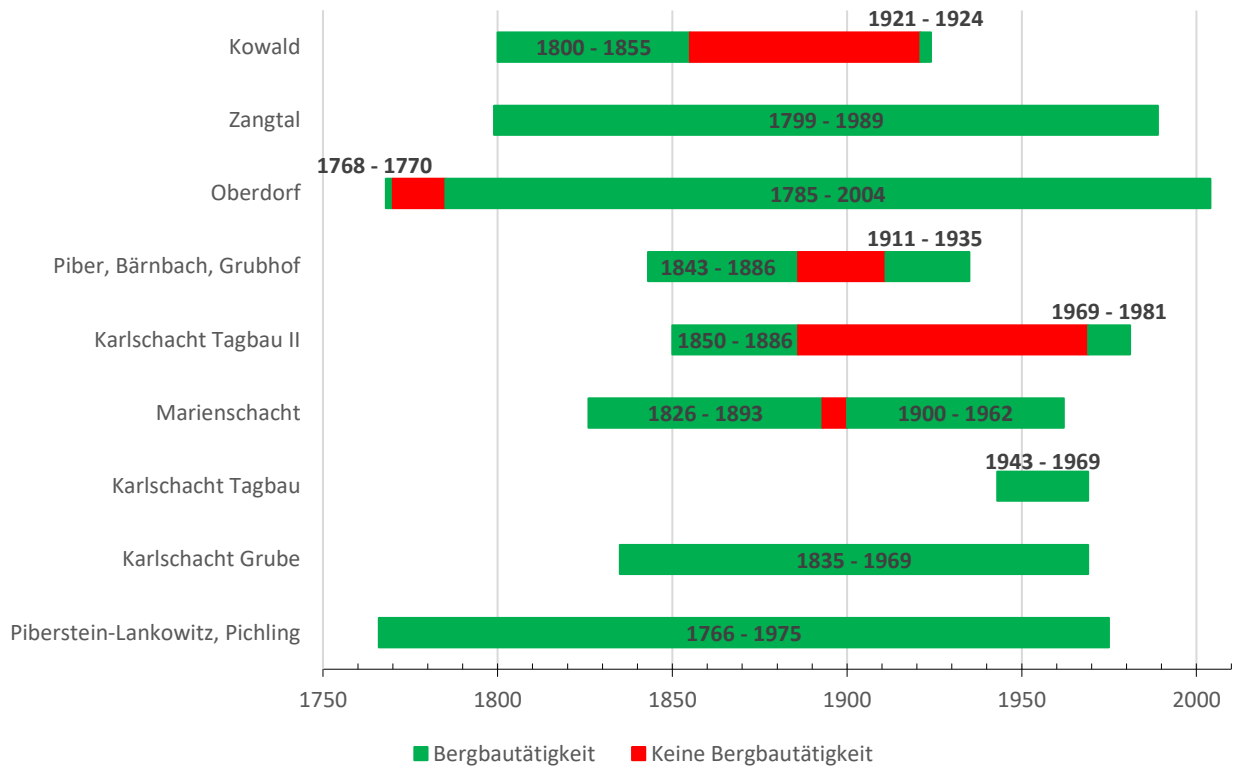


Abb. 33: Zeitleisten der Bergbautätigkeit im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier

4. Ökologische/ökonomische Betrachtung der Kohlenutzung

Der Abbau von Kohle ist in großen Teilen der Welt noch immer ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Seit Beginn der Kohlenutzung durch die Menschheit sind zumindest Teile mehrerer Wirtschaftszweige entscheidend von Kohle abhängig.

Allerdings zieht der Einsatz dieses fossilen Energieträgers auch weitreichende Konsequenzen für unseren Planeten nach sich.

4.1 Kohle als fossiler Energieträger

Die weltweite Stromproduktion nach Energieträgern im Jahr 2016 setzte sich wie folgt zusammen (vgl. World Coal Association 2017: 1):

Tab. 4: Zusammensetzung der weltweiten Stromproduktion nach Energieträgern aus dem Jahr 2016

Energieträger	relativer Anteil an weltweiter Stromproduktion in %
Kohle	37
Öl	4
Gas	24
Kernenergie	11
Erneuerbare Energiequellen	24

Somit wird heute etwa ein Drittel des weltweiten Stroms aus der Verbrennung von Kohle in Kohlekraftwerken erzeugt. Das entspricht einer jährlichen Energiemenge von rund 9 000 TWh. Prognosen der International Energy Agency zufolge wird sich der relative Anteil des „Kohlestroms“ bis zum Jahr 2040 zwar auf etwa ein Viertel der Gesamtstromproduktion reduzieren; auf Grund des global steigenden jährlichen Energiebedarfes von heute knapp 25 000 TWh auf etwa 40 000 TWh entspricht dieser relative Anteil aber einer Energiemenge von rund 10 000 TWh und somit einer absoluten Steigerung um etwa 1 000 TWh (vgl. World Coal Association 2017: 1).

(Anmerkung: Oben genannte Prognose beruht auf der Annahme, dass Klimaziele durch den stark vermehrten Einsatz erneuerbarer Energiequellen (Windkraft, Solarenergie) erreicht werden. Sollten selbige energiepolitische Ambitionen allerdings nicht (beziehungsweise nicht so rasch) umgesetzt werden können, wird Kohle in naher Zukunft eine sogar noch größere Rolle in der weltweiten Stromproduktion spielen. Anderen Prognosen zufolge (vgl.

World Coal Institute 2005: 16) wird der relative Anteil von Kohlestrom an der Gesamtstromproduktion sogar konstant bleiben. Auswirkungen der Stromerzeugung mit Hilfe fossiler Energieträger (wie etwa Kohle) werden im weiteren Verlauf dieses Unterkapitels diskutiert.)

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie überhaupt mit Hilfe von Kohle Strom erzeugt werden kann.

Kohlekraftwerke funktionieren nach einem recht einheitlichen Prinzip, das auf der Umwandlung von chemischer in elektrische Energie beruht. Das Verhältnis der über die Kohle zugeführten chemischen Energie zur erzeugten elektrischen Energie bezeichnet man dabei als *Wirkungsgrad* des Kraftwerks. Typischerweise liegt dieser bei Kohlekraftwerken im Bereich zwischen 30 - 45 %.

Getrocknete und gemahlene Kohle wird in einer Brennkammer verbrannt; dabei entstehen heiße Gase. Diese erhitzen Wasser, das auf Grund der durch die Rauchgase zugeführten Wärmeenergie in den gasförmigen Zustand („Wasserdampf“) übergeht. Der Dampf wird über den Wasserkreislauf des Kraftwerks über eine Turbine geleitet, welche dadurch angetrieben wird. Diese Turbine ist mit einem Generator verbunden, der die Bewegung der Turbinenschaufelräder in elektrische Energie umwandelt.

Die Erzeugung von Strom verläuft physikalisch gesehen also über folgende Schritte:

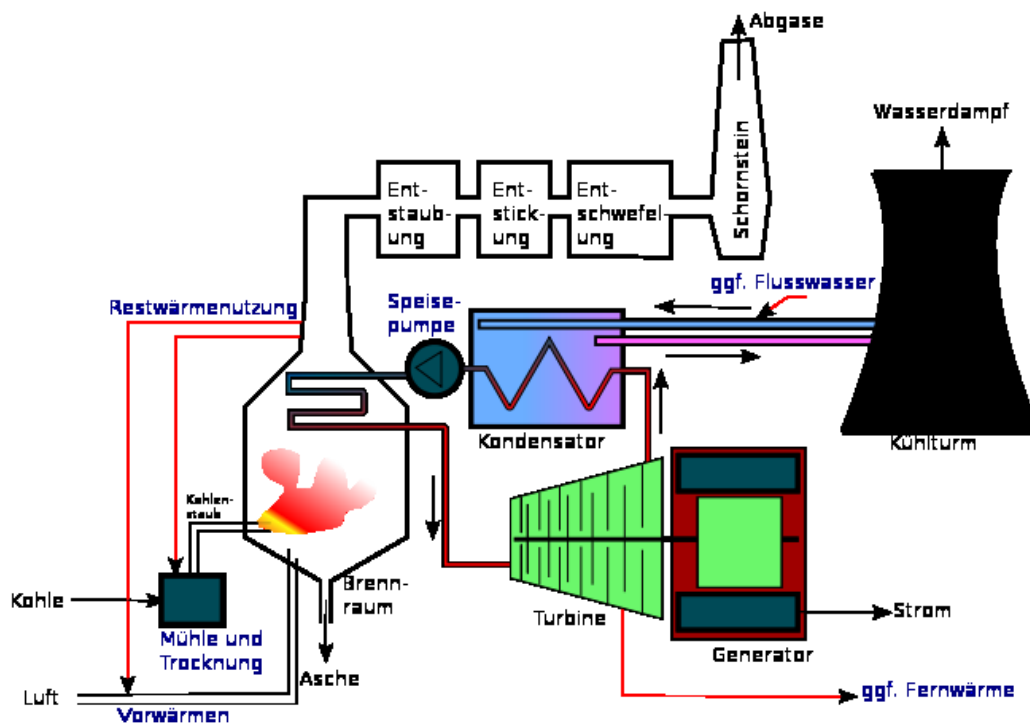


Abb. 34: Grundsätzlicher Aufbau eines Kohlekraftwerks
(Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kohlekraftwerk.svg> [18.12.2018])

Chemische Energie → thermische Energie → kinetische Energie → elektrische Energie.

Erwähnenswert ist an dieser Stelle auch, dass verschiedene Kohlearten bei der Stromerzeugung zum Einsatz kommen können. Allerdings ist ein Kraftwerk stets nur auf eine Kohleart ausgelegt.

Die verschiedenen Kohlearten unterscheiden sich, wie unter 2.2.3 beschrieben, in ihrer chemischen Zusammensetzung. Das führt dazu, dass auch Unterschiede in den Heizwerten selbiger vorliegen. Dieser Wert beschreibt die Menge an Wärmeenergie, die bei der Verbrennung eines Kilogramms des betreffenden Brennstoffes (abzüglich der bei der Kondensation des im Brennstoff enthaltenen Wassers frei werdenden Energie) frei wird und wird dementsprechend in J/kg (beziehungsweise kJ/kg oder MJ/kg) angegeben. Für die verschiedenen Kohlearten wurden folgende Werte ermittelt:

Tab. 5: Heizwerte der verschiedenen Kohlearten nach RIEDEL (2009: 1), geändert

Kohleart	Heizwert in MJ/kg
Braunkohle	7 – 13
Flammkohle	< 32
Gasflammkohle/Gaskohle	33 – 34,8
Fettkohle	34,5 – 35,6
Esskohle	35,2 – 35,6
Magerkohle	35,2 – 35,5
Anthrazit	35 – 35,3
Graphit	32,8

Tab. 4 zeigt, dass 2016 rund zwei Drittel der Weltstromproduktion auf fossile Energieträger (Kohle, Öl und Erdgas) zurückzuführen waren. Die Verwendung solcher Ressourcen hat aber bekanntlich nicht nur positive Auswirkungen auf die Menschheit, sondern auch negative Auswirkungen, die den ganzen Planeten betreffen.

Neben Problemen, die beim Abbau auftreten (Landzerstörung, Bodensenkung, Wasserverschmutzung), sind damit vor allem die bei der Verbrennung ausgestoßenen strahlungsaktiven Gase, die den Treibhauseffekt unseres Planeten verstärken („Treibhausgase“), gemeint.

In diesem Zusammenhang sei zu allererst erwähnt, dass der Treibhauseffekt durchaus als „natürlich“ bezeichnet werden kann. Gäbe es auf der Erde keinen Treibhauseffekt, hätte der

Planet eine globale Durchschnittstemperatur von $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (die tatsächliche globale Mitteltemperatur liegt bei rund $15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

(Anmerkung: Der Wert von $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ kann relativ einfach über ein Strahlungsbilanz-Modell errechnet werden, das solare Einstrahlung, planetares Albedo und planetare Rückstrahlung beinhaltet.)

Der Treibhauseffekt kommt dadurch zustande, dass drei- oder mehratomige Gase in unserer Atmosphäre für die zur Erde kommende Sonnenstrahlung (die ihr Maximum im sichtbaren Bereich, nämlich bei einer Wellenlänge von rund 500 nm , hat) sehr gut durchlässig, für die von der Erde rückgestrahlte Wärmestrahlung (diese liegt hauptsächlich im Infrarotbereich, also im Bereich größerer Wellenlängen) aber teilweise undurchlässig sind. Diese Gase werden durch die vom (von der Sonneneinstrahlung erwärmten) Erdboden kommende Infrarotstrahlung in Schwingung versetzt und geben ihrerseits wieder Infrarotstrahlung ab, die aber nicht mehr nur nach oben, sondern in alle Raumrichtungen gerichtet ist. Die nach unten gerichteten Anteile dieser Infrarotstrahlung führen zur zusätzlichen Erwärmung der unteren Atmosphäre (Stichwort „Erderwärmung“).

In folgender Abbildung (Abb. 35) ist erkennbar, dass sich die Erde momentan nicht in einem thermischen Gleichgewicht befindet, da einer Einstrahlung von rund $341,3\text{ W/m}^2$ nur eine Ausstrahlung von rund $340,4\text{ W/m}^2$ gegenübersteht (Werte aus den Jahren 2000 – 2004).

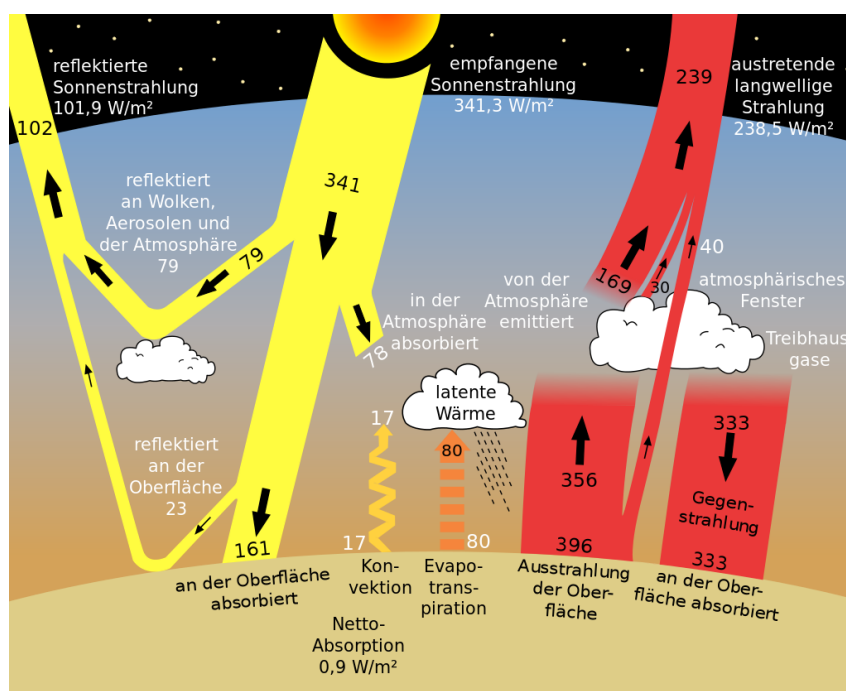


Abb. 35: Strahlungsbilanz der Erde aus den Jahren 2000 - 2004

(Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/File:Sun_climate_system_alternative_\(German\)_2008.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt#/media/File:Sun_climate_system_alternative_(German)_2008.svg))

Konkret handelt es sich bei oben erwähnten strahlungsaktiven Gasen vor allem um Wasser(dampf) (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Ozon (O_3) und Lachgas (N_2O). Direkt vom Menschen beeinflusst sind hauptsächlich die atmosphärischen Konzentrationen an Kohlendioxid und Methan. Der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre (der der bedeutendste Faktor am Treibhauseffekt ist) wird zudem über den globalen Temperaturanstieg; der Ozongehalt (vor allem in der Stratosphäre) über den Ausstoß von Fluorkohlenwasserstoffen erhöht. Hier ist der Mensch also indirekt beteiligt.

Folgende Abbildung (Abb. 36) zeigt den Verlauf der atmosphärischen Konzentrationen an Kohlendioxid und Methan seit 1979:

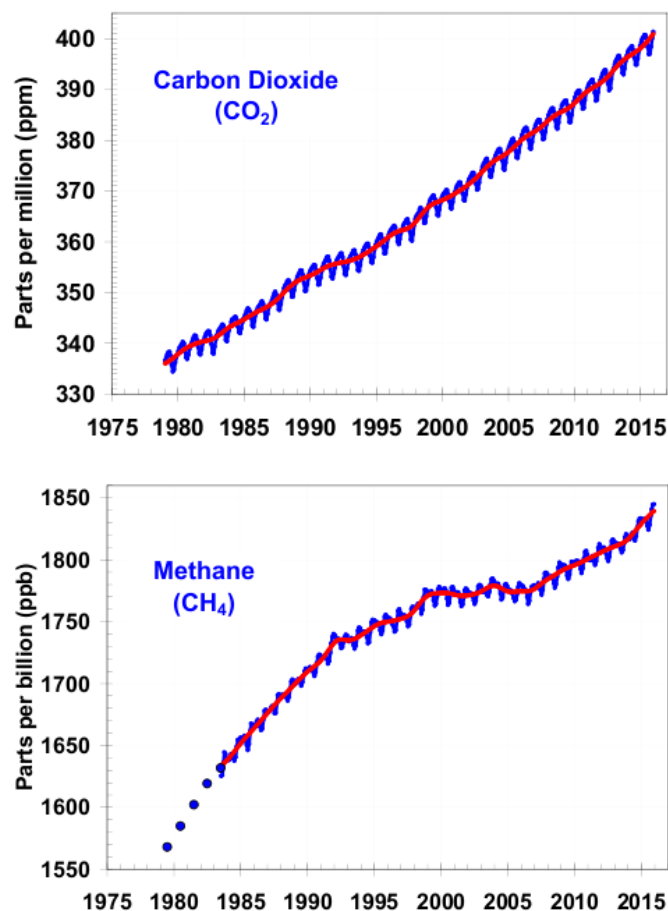


Abb. 36: Atmosphärische CO_2 - und CH_4 -Konzentrationen seit 1979
(Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Major_greenhouse_gas_trends.png [22.01.2019])

Nach KROMP-KOLB (2014) ist in den letzten 100 Jahren die bodennahe globale Mitteltemperatur auf der Erde um rund $1\text{ }^\circ\text{C}$ gestiegen (siehe Abb. 37). Solche Klimaschwankungen gab es im Verlauf der Klimageschichte unseres Planeten zwar schon; die aktuelle Klimaerwärmung ist aber zu einem entscheidenden Teil auf menschliche Einflussnahme zurückzuführen. Das gilt heute durch diverse Modelle, die den

Temperaturverlauf mit und ohne menschliche Beteiligung simulieren, als gesichert (vgl. HAIMBERGER 2014: 138).

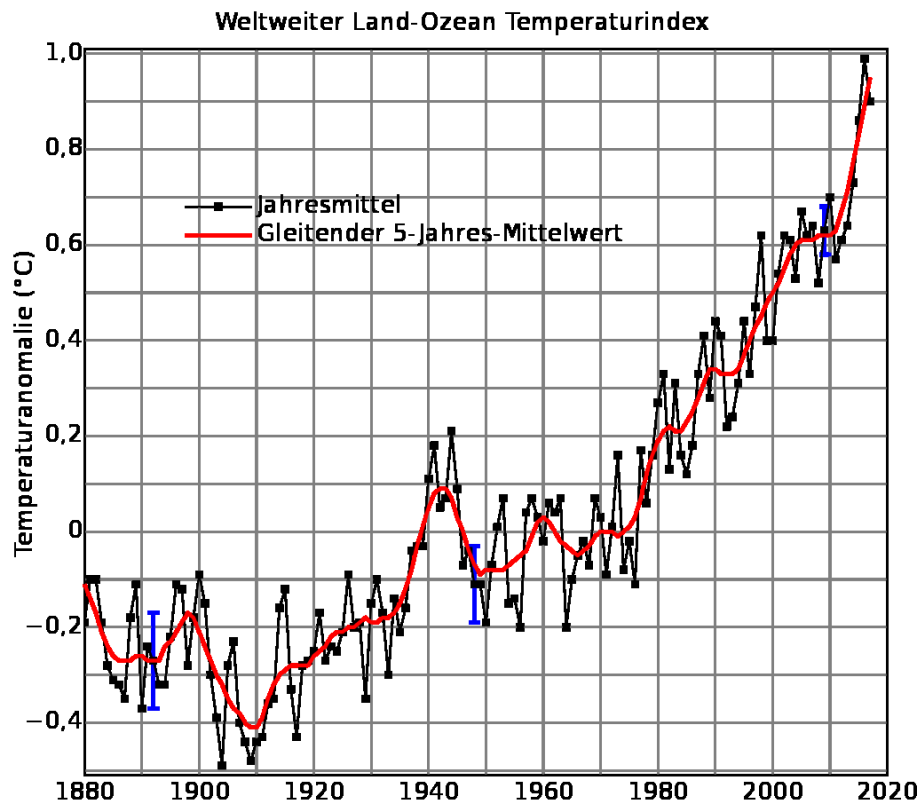


Abb. 37: Bodennahe Atmosphärentemperatur in den Jahren 1880 - 2017, relativ zum Mittelwert der Periode 1951 – 1980 (Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Globale_Erw%C3%A4rmung#/media/File:Global_Temperature_Anomaly.svg [24.01.2019])

Als besonders problematisch in Bezug auf den Klimawandel gilt der Einsatz von Braunkohle zur Stromerzeugung. Während im Jahr 2016 in Deutschland nur 23,1 % der Primärenergie mit Hilfe von Braunkohle generiert wurde, ist ihr Anteil am Gesamt-CO₂-Ausstoß der deutschen Stromerzeugung mit rund 50 % deutlich höher (vgl. Umweltbundesamt 2017: 8).

4.2 Wirtschaftliche Bedeutung von Kohle

4.2.1 Heutige Situation

„Kohle wird kommerziell in über 50 Ländern abgebaut und in über 70 Ländern genutzt“
(World Coal Institute 2005: 13).

2015 betrug die weltweite Kohleproduktion rund 7,7 Milliarden t. Dabei entfielen etwa 6,9 Milliarden t auf die verschiedenen Steinkohlearten und etwa 800 Millionen t auf Braunkohle (vgl. Umweltbundesamt 2017: 12).

Vom Anteil der Kohle an der weltweiten Gesamtstromproduktion macht Braunkohle nur einen kleinen Teil aus. Sie wird auf Grund ihres geringen Heizwertes und des hohen Wassergehalts nicht international gehandelt, sondern nur in dem Land verbraucht, in dem sie abgebaut wurde. Außerdem ist die Braunkohleverbrennung, wie schon unter 4.1 erwähnt, ökologisch besonders bedenklich. Hauptproduzenten (und somit auch Hauptverbraucher) im Jahr 2015 waren Deutschland (rund 180 Millionen t), China (rund 140 Millionen t), Russland (rund 70 Millionen t) und die USA (rund 65 Millionen t) (vgl. Umweltbundesamt 2017: 12). Was Steinkohle betrifft waren 2015 China (rund 3,4 Milliarden t), die USA (rund 750 Millionen t), Indien (rund 640 Millionen t), Australien (rund 440 Millionen t) und Indonesien (rund 400 Millionen t) die größten Förderer. Steinkohle wird zudem am Weltmarkt gehandelt; 2015 lag der Anteil international gehandelter Steinkohle bei rund 18 % der weltweiten Produktion. Importiert wird Steinkohle vor allem im asiatischen Raum (China, Indien, Südkorea, Japan, Taiwan,...) (vgl. Umweltbundesamt 2017: 13).

Kohle gilt, im Gegensatz zu Erdöl, als Rohstoff, der noch in reichlicher Menge vorhanden ist. Tab. 6 zeigt Daten zu noch weltweit vorhandenen Kohleressourcen und –reserven.

Tab. 6: Weltweite Reserven und Ressourcen an Kohle, gerundet nach Umweltbundesamt (2017: 10), geändert

Kohleart	Reserven in Gt	Ressourcen in Gt
Braunkohle	300	4 400
Steinkohle	700	17 700

(Anmerkung: Als *Reserven* werden nachgewiesene Rohstoffmengen, die heute technisch und wirtschaftlich abbaubar sind, bezeichnet. *Ressourcen* hingegen meinen nachgewiesene, aber aktuell technisch und/oder wirtschaftlich nicht abbaubare sowie geologisch mögliche, künftig nutzbare Rohstoffmengen.)

Steinkohle gilt zudem als der nicht-erneuerbare Energierohstoff, von dem weltweit noch die größten Reserven (46 % der globalen Primärenergiereserven) und Ressourcen (80 % der globalen Primärenergieressourcen) vorhanden sind. Diese Mengen reichen aus, um den

weltweiten Energiebedarf über viele Jahrzehnte zu decken (vgl. Umweltbundesamt 2017: 10).

4.2.2 Auswirkungen des Köflach-Voitsberger Revieres auf die Region

Nach LASNIK et al. (1997) hatte der Bergbau im Revier Köflach-Voitsberg beträchtliche Auswirkungen auf die Entwicklung der Gemeinden im Bezirk Voitsberg.

Nach der Errichtung der Graz-Köflacher Eisenbahnlinie und im Zuge der immer stärker werdenden Nachfrage nach Kohle ab 1860 wurden einerseits Industriebetriebe, andererseits auch Fach- und Hilfskräfte vom neuen Wirtschaftsstandort Köflach-Voitsberg angezogen. Während 1860 noch rund 400 Personen im Köflach-Voitsberger Revier beschäftigt waren, waren es 40 Jahre später schon etwa 2 500 (vgl. LASNIK et al. 1997: 179).

Es kam im Zuge dieses wirtschaftlichen Aufschwunges zu einem starken Zuzug von Arbeitern aus der Untersteiermark („windische“ Bergleute), welche sich schnell in die ansässige Bevölkerung integrierten und ihre Sprache sowie kulturellen Elemente mit in die Weststeiermark brachten (diese zeigen sich heute noch im sehr ausgeprägten Musik-, Chor- und Kunstwesen des Bezirkes Voitsberg). Dadurch wurden Handel und Gewerbe belebt. Außerdem mussten auf Grund steigender Bevölkerungszahlen eine Vielzahl an neuen Wohnhäusern errichtet werden, um den zugewanderten Arbeitern Wohnmöglichkeiten bieten zu können. Davon zeugen ebenfalls heute noch industriegebietstypische Mietshäuser und „Arbeiterkolonien“ (vgl. LASNIK et al. 1997: 179).

An der Wende vom 19. ins 20. Jahrhundert waren in Voitsberg neben den bereits unter 3.2 erwähnten Bergbaubetrieben einige weitere Industriebetriebe angesiedelt, die mitbedingen, dass sich die Bevölkerungszahl der Gemeinde von 1800 bis 1900 verfünffachte. Es handelte sich dabei konkret um die Glasfabrik von Salomon REICH, die Papierfabrik der Gebrüder KRANZ, die Lacklederfabrik LIPP sowie um das Eisenwerk der Vordernberg-Köflacher Montanindustriegesellschaft und die Zellulosefabrik der Familie KLUSEMANN (beide in Krems bei Voitsberg) (vgl. LASNIK et al. 1997: 179).

Die stärksten Auswirkungen des Braunkohleabbaus in der Region waren im damals noch als „Marktgemeinde“ geführten Köflach bemerkbar. Während 1820 noch rund 500 Menschen in Köflach lebten, waren es 1880 schon knapp 1 500. Es wurden in dieser Zeit viele Häuser errichtet; darunter auch einige, die auf Grund ihrer Größe und Bauweise den wirtschaftlichen

Aufschwung der Gemeinde widerspiegelten. Weiters siedelten sich in Köflach zwei Ärzte, ein Tierarzt sowie eine Apotheke an. Auch kam es zur Installation eines Post- und Telegraphenamtes, eines Finanzwach- und eines Gendarmeriepostens. Außerdem waren die damals neu errichtete Glasfabrik, sechs große Mühlen, ein Hammerwerk und drei Sägemühlen in Betrieb. Die sehr engen und verwinkelten Straßen der Gemeinde wurden durch neuere, breitere ersetzt, was das Erscheinungsbild des Ortskernes deutlich veränderte. Erwähnenswert ist auch die Errichtung des Bahnhofes Köflach, der als Endstation der 1860 eröffneten Graz-Köflacher Eisenbahnlinie fungierte. In der ebenfalls neu errichteten Bahnhofstraße, die den Bahnhof mit dem Ortskern verbinden sollte, standen fortan Villen mit italienischen Stileinflüssen. Einige neben dem Bergbau wichtige Betriebe waren damals der sogenannte „Tunnerhammer“, die Glasfabrik von PARLOW und HART, das Eisen- und Stahlwerk der Gewerken MITSCH (Gradenberg), das Sensenwerk (Krenhof) sowie das Stahlwerk der Österreichisch-Alpine Montanindriegesellschaft (Pichling). 1923 lebten in Köflach bereits rund 7 500 Menschen, 1939 erfolgte die Erhebung zur „Stadtgemeinde“ (vgl. LASNIK et al. 1997: 179 f.).

Auch auf die Gemeinde Bärnbach wirkte sich der Kohleabbau im Köflach-Voitsberger Revier aus. Während 1820 lediglich knapp 450 Menschen in Bärnbach lebten, waren es um die darauffolgende Jahrhundertwende schon über 1 200. Erwähnenswert ist auch die 1876 eröffnete Glashütte Oberdorf (vgl. LASNIK et al. 1997: 180).

4.3 Nachnutzung ehemaliger Tagebaugelände

„Überall dort, wo Kohle abgebaut wird, wandelt sich die gewachsene Kulturlandschaft. Mangelhafter Abbau, planlos geschütteter Abraum und verfallene Gruben stören das Bild und den Haushalt der Landschaft. Bodensenkungen, Störung der Vorflut, Nässeschäden auf landwirtschaftlichen Flächen und in Siedlungsgebieten sowie Inanspruchnahme von Wald sind im Kohlenbergbau an der Tagesordnung“
(PFLUG 1998: 2).

Deshalb kamen bereits im späten 18. Jahrhundert erstmals Forderungen auf, die für Bergbautätigkeiten genutzten Flächen nach abgeschlossenem Abbau wieder nutzbar zu machen (vgl. PFLUG 1998: 2).

So gilt heute in Österreich laut § 159 Abs. 1 MinroG folgender Grundsatz: „Der Bergbauberechtigte hat zur Sicherung der Oberflächennutzung nach Beendigung der Bergbautätigkeit geeignete Maßnahmen zu treffen“ (BGBl. I Nr. 38/1999: 66).

Das heißt also, dass auch im Falle des Kohleabbaus die Arbeiten nach Auskohlung eines Tagebaugeländes noch nicht abgeschlossen sind.

Nun kann diese „Wiedernutzbarmachung“ eines ehemaligen Bergbaugesbietes grundsätzlich zwei unterschiedliche Ziele verfolgen. Entweder wird versucht, das Tagebaugesbiet zu „rekultivieren“, also erneut wirtschaftlich leistungsfähig zu machen, oder zu „renaturieren“, also möglichst an den natürlichen Zustand vor den Bergbautätigkeiten anzugleichen. Die entscheidenden Fragestellungen um die weitere Gestaltung eines aufgelassenen Tagebaus drehen sich also um die Themen „Landschaftsökologie“, „Naturschutz“ und „Folgenutzung“ (vgl. PFLUG 1998: 3 ff.).

Auch im Köflach-Voitsberger Revier wurden unterschiedliche Arten von Wiedernutzbarmachung auf die aufgelassenen Tagebaugelände angewandt. Im Tagebau Oberdorf werden etwa seit 2000 von der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München Maßnahmen ergriffen, um einen möglichst naturnahen Pflanzenbewuchs der Mulde wiederherzustellen. Folgende Abbildungen (Abb. 38, Abb. 39) sollen die Entwicklung des Tagebaugeländes vom Ende des 20. Jahrhunderts bis heute zeigen.



Abb. 38: Großtagebau Oberdorf gegen Ende des 20. Jahrhunderts nach LASNIK et al. (1997: 176/XV)



Abb. 39: Großtagebau Oberdorf im Januar 2018

In der Lankowitzer Mulde hingegen wurde ein anderer Weg der Wiedernutzbarmachung eingeschlagen. Am Gelände des ehemaligen Franzschachtes befindet sich heute die „Freizeitinsel Piberstein“ (siehe Abb. 40), ein ausgedehntes Erholungsgebiet mit einem durch Grundwasseranstieg entstandenen Badesee. Zu diesem Gebiet gehören auch der Golfplatz „Erzherzog Johann“ sowie eine Sportanlage mit einem Kunstrasen-Fußballplatz.



Abb. 40: Freizeitinsel Piberstein im Februar 2019

Auch in Zangtal entschied man sich, die ehemaligen Kohlegruben für Freizeitbeschäftigungen zu erschließen. So wurde von der Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft die „Schieß-Sportarena Zangtal“ (siehe Abb. 41) installiert, die heute unter anderem den steirischen Jägern als Trainingsgelände dient.



Abb. 41: Schießstätte Zangtal

(Quelle: [https://www.siegert.at/wp/de-zangtal/#iLightbox\[67fd7c6ba008cda8bbb\]/0](https://www.siegert.at/wp/de-zangtal/#iLightbox[67fd7c6ba008cda8bbb]/0); mit freundlicher Genehmigung von Herrn Robert Siegert)

Außerdem wurden im Köflach-Voitsberger Revier auch Themenwege und andere Einrichtungen errichtet, um der Bevölkerung die Geschichte und Geologie des ehemaligen Braunkohlerevieres näher zu bringen. Diese werden im folgenden Kapitel zur schuldidaktischen Erschließung beschrieben.

5. Schuldidaktische Aufbereitung

Im abschließenden Kapitel dieser Arbeit werden Möglichkeiten aufgezeigt, das Thema „Kohle“ mit Hilfe im ehemaligen Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier vorhandener Ressourcen in den Schulunterricht zu integrieren. Hauptaugenmerk wird dabei vor allem auf das Fach Biologie und Umweltkunde gelegt; das behandelte Thema könnte allerdings auch in den Unterrichtsfächern Physik, Geschichte und Sozialkunde/Politische Bildung sowie Geographie und Wirtschaftskunde thematisiert werden.

Dazu wird im Folgenden eine Analyse der Lehrpläne für allgemeinbildende höhere Schulen (AHS) durchgeführt, um zu ermitteln, in welchen Schulstufen eine Erarbeitung des Themas sinnvoll ist. Danach folgt die Betrachtung der eventuell im Unterricht einsetzbaren Ressourcen.

5.1 Lehrplananalyse

5.1.1 Unterstufe

Im Unterstufen-Lehrplan für den Unterricht im Fach Biologie und Umweltkunde ist unter anderem folgende Bildungs- und Lehraufgabe verankert: *„Die Schülerinnen und Schüler sollen die Abhängigkeit der Menschen von Natur und Umwelt begreifen und Wissen, Fähigkeiten/Fertigkeiten erwerben, die sie für einen umweltbewussten, nachhaltigen Umgang mit unseren Lebensgrundlagen motivieren und befähigen (ökologische Handlungskompetenz)“* (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000a: 1). Außerdem ist als didaktischer Grundsatz angeführt, dass beispielsweise Exkursionen den Schülerinnen und Schülern die Umwelt näherbringen sollen. Weiters sollen im Zuge des Themenkreises „Ökologie und Umwelt“ unter anderem Umweltprobleme behandelt werden (vgl. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000a: 2).

Konkret könnte das in dieser Arbeit behandelte Thema in folgender Klasse Teil des Biologie- und Umweltkundeunterrichts sein:

- 3. Klasse:

„Weiters ist die Entwicklungsgeschichte der Erde und des Lebens [...] zu behandeln“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000a: 4).

„Grundlegende geologische Kenntnisse sollen dem Verständnis des Bodens und des Zusammenwirkens von belebter und unbelebter Natur dienen. Positive wie negative Folgen menschlichen Wirkens sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Ökosystem Boden zu analysieren und zu hinterfragen. Umweltprobleme, deren Ursachen und Lösungsvorschläge sind zu erarbeiten“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000a: 4).

Im Kapitel „Bildungs- und Lehraufgaben“ im Unterstufen-Lehrplan für das Fach Geographie und Wirtschaftskunde ist zu lesen: *„Es bieten sich vielfältige Ansätze fächerverbindenden Arbeitens an. Neben der bewussten Wahrnehmung wird die Beschreibung sowie die Erklärung von Sachverhalten, Zusammenhängen und Entwicklungen des menschlichen Handelns angestrebt“* (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000b: 1). Als didaktischer Grundsatz gilt auch hier wieder unter anderem der Einsatz von Exkursionen als Lehrmedium (vgl. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000b: 2).

Konkret könnte das in dieser Arbeit behandelte Thema in folgenden Klassen Teil des Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterrichts sein:

- 1. Klasse:

„Erkennen, wie Rohstoffe und Nutzenergie gewonnen und zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern gebracht werden. Einsehen, dass Rohstoffe und Energieträger auf der Erde ungleichmäßig verteilt und begrenzt vorhanden sind und dass ihre Nutzung oft die Umwelt belastet“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000b: 3).

- 4. Klasse:

„Die Verantwortung der Menschen für die „Eine Erde“ erkennen“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000b: 5).

Zu den Bildungs- und Lehraufgaben im Unterstufen-Unterricht im Fach Physik zählt unter anderem: *„[...] der Physikunterricht [hat; Anm. des Autors] den Schülerinnen und Schülern in Verbindung mit anderen Unterrichtsgegenständen die Vielschichtigkeit des Umweltbegriffes bewusst zu machen. Dadurch soll eine bessere Orientierung in der Umwelt*

und entsprechend verantwortungsbewusstes Handeln erreicht werden“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000d: 1).

Konkret könnte das in dieser Arbeit behandelte Thema in folgenden Klassen Teil des Physik-Unterrichts sein:

- 3. Klasse:
„Einsicht in die ökologische Bedeutung von Energiesparmaßnahmen gewinnen und ökologische Handlungskompetenz aufbauen“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000d: 4).
- 4. Klasse:
„[...] grundlegendes Wissen über Herstellung, Transport und „Verbrauch“ elektrischer Energie erwerben“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000d: 4).

Im Unterstufen-Lehrplan für das Fach Geschichte und Sozialkunde/Politische Bildung heißt es: *„Global - kontinental - national - regional - lokal [...] Der Unterricht soll Einblick in die Geschichte und Politik unterschiedlicher räumlicher Dimensionen sowie ihrer Vernetzungen geben, um die Herausbildung einer reflektierten und (selbst)reflexiven Identität zu ermöglichen“* (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000c: 1).

Konkret könnte das in dieser Arbeit behandelte Thema in folgender Klasse Teil des Geschichte- und Sozialkunde-/Politische Bildung-Unterrichts sein:

- 4. Klasse:
„Wirtschaft und Gesellschaft im 20. und 21. Jahrhundert – Veränderungen in Arbeitswelt und Freizeit, Wirtschaftskrisen“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2000c: 4).

5.1.2 Oberstufe

Die Lehrpläne der „Neuen Oberstufe“ sind in einem einzigen, 583 Seiten umfassenden Dokument zusammengefasst und beinhalten eine Unterteilung der 6. bis 8. Klasse in sogenannte, jeweils für ein Semester vorgesehene „Kompetenzmodule“. Die 5. Klasse wird, wie aus der Unterstufe bekannt, nicht unterteilt.

Das Thema „Kohle“ könnte im Biologie- und Umweltkunde-Unterricht in folgende Kompetenzmodule einfließen:

- 3. Semester – Kompetenzmodul 3:
„*Vernetzte Systeme: Ökologie, Ökonomie und Nachhaltigkeit*“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 176).
- 4. Semester – Kompetenzmodul 4:
„*Umweltprobleme (zB Klimawandel) und Lösungsmöglichkeiten im Rahmen nachhaltiger Entwicklung*“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 176).
„*Aufbau und Struktur der Erde, geodynamische Formungskräfte*“
(Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 176).

Im Geographie- und Wirtschaftskunde-Unterricht könnten folgende Kompetenzmodule das Thema „Kohle“ beinhalten:

- 5. Klasse (= 1. und 2. Semester):
„*Wechselwirkungen von Klima, Relief, Boden, Wasser und Vegetation analysieren*“
(Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 162).
- 6. Semester – Kompetenzmodul 6:
„*Naturräumliche Gegebenheiten als Chance der Regionalentwicklung erkennen*“
(Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 164).

Auch der Physik-Oberstufen-Unterricht könnte das Thema „Kohle“ in folgenden Kompetenzmodulen einschließen:

- 5. Klasse (= 1. und 2. Semester):
„*Thermodynamik: [...], nachhaltiger Umgang mit Energie*“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 184).
- 4. Semester – Kompetenzmodul 4:
„*Elektrische Energie: Elektrische Energie und Leistung, [...]*“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 184).
- 5. Semester – Kompetenzmodul 5:
„*Energie: Grundlagen der konventionellen und alternativen Energiebereitstellung; Energieübertragung; [...]*“ (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung 2018: 184).

5.2 Vorhandene Ressourcen

Nachdem unter 5.1 gezeigt wurde, dass das Thema „Kohle“ durchaus als „schulrelevant“ bezeichnet werden kann, und dass auch Lehrausgänge (vor allem im Biologie- und Umweltkunde-Unterricht) absolut vorgesehen sind, werden nun die im ehemaligen Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier errichteten Ressourcen behandelt, die sich zur Veranschaulichung des genannten Themas als Exkursionsziele eignen könnten.

5.2.1 Bergbaumuseum Karlschacht

Dieses 2010 eingerichtete Museum befindet sich im Schachthaus des ehemaligen Tagebaus Karlschacht III. Das gesamte darin ausgestellte Material stammt größtenteils aus dem Privatbesitz des Historikers Dr. Ernst Lasnik.

Im Museum wird zum einen die Geschichte der weststeirischen Braunkohleförderung anhand von Schautafeln, die eindrucksvolles Bildmaterial enthalten, sowie einer Videodokumentation skizziert. Zum anderen sind eine Vielzahl an Gerätschaften und Maschinen (auch im Außenbereich des Museums) ausgestellt, die einen Eindruck von der Arbeit unter und über Tage geben. Auch eine Animation, wie die Streckenauffahrung mit Hilfe von Sprengsätzen abgelaufen ist, wurde in einem im Museum wiederaufgebauten Stollen eingerichtet.



Abb. 42: Einige erhaltene Werkzeuge und Gerätschaften, die im Köflach-Voitsberger Revier zum Einsatz kamen



Abb. 43: Animation zum Streckenvortrieb mit Sprengsätzen



Abb. 44: Streckenvortriebsmaschine



Abb. 45: Außenbereich des Bergbaumuseums

Um das in den Monaten Mai bis Oktober geöffnete Museum im Zuge des Schulunterrichts zu besuchen, ist eine Voranmeldung nötig. Die dazu notwendigen Kontaktinformationen findet man auf der Homepage der Gemeinde Rosental an der Kainach (online unter <https://www.rosental-kainach.at/bergbau-rosental/>).

5.2.2 Montanhistorischer Wanderweg Bärnbach

Die Route dieses durch einen Teil der Oberdorfer Mulde führenden, rund 700 m langen und 2012 eingerichteten Weges führt vom Startpunkt etwas oberhalb der ehemaligen Bärnbacher Glasfabrik bis zur „Schneiderbauer-Kurve“ der Hochtregister Straße. Entlang des Weges befinden sich zahlreiche Schautafeln, die die Geschichte des Bergbaus in Oberdorf (siehe 3.2.7) behandeln. Einige davon sind auch im Bergbaumuseum Karlschacht ausgestellt. Zusätzlich sind auch montanhistorische Ausstellungsstücke zu sehen, wie zum Beispiel eine im Kohlebergbau im Einsatz gewesene Dampflokomotive oder der Schaufelradbagger „Lauchhammer SRs 400“ (siehe Abb. 32). Ebenfalls kann ein inkohlter Baumstamm von beachtlicher Größe besichtigt werden.

Schuldidaktisch interessant ist der Wanderweg vor allem wegen seiner relativ problemlosen Begehbarkeit und auf Grund der Tatsache, dass der Vergleich der Abbildungen auf den Schautafeln mit dem heutigen Zustand des ehemaligen Bergbaugeländes zeigt, wie Renaturierungsmaßnahmen wieder zu einem mehr oder weniger naturnahen und für Menschen wieder nutzbaren Areal führen können (siehe Abb. 38 und Abb. 39).



Abb. 46: Startpunkt des Montanhistorischen Wanderweges



Abb. 47: Inkohlter Baumstamm, Montanhistorischer Wanderweg Bärnbach

5.2.3 Energieerlebnispark Zangtal

Im Jahr 2014 wurde (auch mit Hilfe von Förderungen seitens des Landes Steiermark und der Europäischen Union) nördlich der Burgruine Voitsberg der Energieerlebnispark Zangtal fertiggestellt. Dieser besteht aus einem Netz aus Spazierwegen, wobei vier verschiedene Routen („Bergbau“, „Energie“, „Natur“ und „Kunst“) gestaltet wurden. Wie auch beim unter 5.2.2 beschriebenen Montanhistorischen Wanderweg Bärnbach sind entlang der Wege zahlreiche Schautafeln mit Bildmaterial zum Kohlebergbau der Region zu finden. Ebenfalls ist eine Vielzahl an Werken zeitgenössischer Kunst ausgestellt, die an die über 200 Jahre andauernden Bergbautätigkeiten im Bezirk Voitsberg erinnern.

Die den Bergbau betreffende Route führt zunächst in nordöstlicher Richtung durch einen leicht abfallenden Waldweg, danach kurz in südöstlicher Richtung bis in das Areal der Zangtaler Mulde, wo der Schaufelradbagger „Leopold“ (Typ VA-B700) besichtigt werden kann.

Neben seiner ebenfalls leichten Begehrbarkeit ist der Energieerlebnispark vor allem auf Grund der Tatsache schuldidaktisch interessant, dass entlang des letzten Wegstückes der Bergbau-Route relativ leicht Reste der in der Vergangenheit abgebauten Braunkohle zu finden sind. Vergleicht man die hier gefundene Kohle beispielsweise mit Kohle aus Piberstein-Lankowitz (im Bereich der Freizeitinsel Piberstein ebenfalls leicht zu finden), fällt auf, dass der Inkohlungsgrad der Zangtaler Kohle wohl deutlich niedriger als jener der Piberstein-Lankowitzer Kohle sein muss, da erstgenannte eine weitaus erdigere Struktur aufweist. Die Braunkohle aus Zangtal könnte man demnach durchaus als „erdige

Weichbraunkohle“ bezeichnen; jene aus Piberstein-Lankowitz als „schiefrige Weichbraunkohle“ (siehe etwa auch LASNIK et al. 1997: 29).



Abb. 48: Erdige Weichbraunkohle aus Zangtal (links) sowie schiefrige Weichbraunkohle aus Piberstein-Lankowitz (rechts)

Obwohl beide Fundstücke aus Abb. 48 eine eher schwarze als braune Färbung zeigen, kann anhand der Strichfärbung (braun) deutlich gezeigt werden, dass es sich um Braun-, und nicht um Steinkohle handelt.

6. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema der Einbettung und Lagerungsmöglichkeiten eines Pflanzenrestes nach KLAUS (1987: 56)	10
Abb. 2: Steinkohle aus Turrach, mit Farnabdrücken.....	11
Abb. 3: Verkieselter Baumstamm aus Gleichenberg.....	11
Abb. 4: Schnecken-Steinkern aus Weissenegg bei Wildon.....	11
Abb. 5: Leithakalk, Fundort unbekannt.....	11
Abb. 6: Bergwerksstollen nach DIDEROT & D'ALEMBERT (1781).....	14
Abb. 7: Profil des Wies-Eibiswalder Braunkohlerevieres nach NEBERT (1982).....	17
Abb. 8: Temperaturverlauf des Känozoikums, rekonstruiert anhand $\delta^{18}\text{O}$ -Daten, nach ZACHOS et al. (2001).....	18
Abb. 9: Torfstich im Wurzacher Ried in Baden-Württemberg	21
Abb. 10: Sumpfyypressen (<i>Taxodium</i> sp.) im Lake Martin wildlife preserve, Louisiana...	23
Abb. 11: Küstenwald mit Küstenmammutbäumen (<i>Sequoia sempervirens</i>).....	24
Abb. 12: Schema der Bildung eines Braunkohlemoores nach TEICHMÜLLER (1958).....	25
Abb. 13: Pneumatophor der Echten Sumpfyypresse (<i>Taxodium distichum</i>) aus der Braunkohle von Parschlug, Steiermark nach PETRASCHECK (1956: 37).....	26
Abb. 14: Stubbenhorizont in einem Braunkohleflöz in Welzow, Deutschland nach JURASKY (1936: 35)	28
Abb. 15: Profil des Oberflözes der Grube Anna-Mathilde bei Sedlitz, Deutschland nach TEUMER (1922: 36).....	29
Abb. 16: Schema der Bildung eines Steinkohlemoores nach TEICHMÜLLER (1958)	30
Abb. 17: Schema eines Hochmooraufbaues in borealen Breiten nach KUSEL-FETZMANN (1978)	35
Abb. 18: Torf.....	37
Abb. 19: Schiefriige Weichbraunkohle aus Maria Lankowitz	38
Abb. 20: Mattbraunkohle aus dem Tagebau Welzow-Süd, Deutschland.....	39
Abb. 21: Glanzbraunkohle, Deutsches Bergbau-Museum Bochum.....	39
Abb. 22: Bereits sehr weit "gereifte" Steinkohle aus Turrach, Steiermark	40
Abb. 23: Anthrazit aus dem Bergwerk Ibbenbüren, Deutschland.....	41
Abb. 24: Graphit aus Sri Lanka, ausgestellt im Mineralogischen Museum Bonn, Deutschland	42
Abb. 25: Schema der Inkohlung nach KLAUS (1987: 66)	43

Abb. 26: Lageskizze des Köflach-Voitsberger Braunkohlerevieres nach WEBER & WEISS (1983: 43)	48
Abb. 27: Sporogramm aus der Hohegger Mulde, zusammengestellt aus 4 Bohrungen nach KLAUS (1954: 5)	50
Abb. 28: Profile zur Flözgleichstellung im Köflach-Voitsberger Becken nach KLAUS (1954)	52
Abb. 29: Textausschnitt zur Charakterisierung der Art <i>Ficus joannis</i> nach ETTINGSHAUSEN (1858: 9)	54
Abb. 30: Abdruck von <i>Glyptostobus europaeus</i> , einer auch in Oberdorf nachgewiesenen Art, aus der Paskapoo-Formation, Kanada	56
Abb. 31: Rekonstruktion von <i>Gomphotherium angustidens</i>	58
Abb. 32: Schaufelradbagger Lauchhammer SRs 400 an seinem heutigen Standort nahe des ehemaligen Bergbaus Oberdorf	70
Abb. 33: Zeitleisten der Bergbautätigkeit im Köflach-Voitsberger Braunkohlerevier	74
Abb. 34: Grundsätzlicher Aufbau eines Kohlekraftwerks	76
Abb. 35: Strahlungsbilanz der Erde aus den Jahren 2000 - 2004.....	78
Abb. 36: Atmosphärische CO ₂ - und CH ₄ -Konzentrationen seit 1979	79
Abb. 37: Bodennahe Atmosphärentemperatur in den Jahren 1880 - 2017, relativ zum Mittelwert der Periode 1951 – 1980	80
Abb. 38: Großtagebau Oberdorf gegen Ende des 20. Jahrhunderts nach LASNIK et al. (1997: 176/XV).....	84
Abb. 39: Großtagebau Oberdorf im Januar 2018	85
Abb. 40: Freizeitinsel Piberstein im Februar 2019.....	85
Abb. 41: Schießstätte Zangtal.....	86
Abb. 42: Einige erhaltene Werkzeuge und Gerätschaften, die im Köflach-Voitsberger Revier zum Einsatz kamen.....	91
Abb. 43: Animation zum Streckenvortrieb mit Sprengsätzen.....	92
Abb. 44: Streckenvortriebsmaschine	92
Abb. 45: Außenbereich des Bergbaumuseums.....	92
Abb. 46: Startpunkt des Montanhistorischen Wanderweges.....	93
Abb. 47: Inkohlter Baumstamm, Montanhistorischer Wanderweg Bärnbach.....	94
Abb. 48: Erdige Weichbraunkohle aus Zangtal (links) sowie schiefrige Weichbraunkohle aus Piberstein-Lankowitz (rechts)	95

7. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Elementare Massenzusammensetzung verschiedener Kohlearten, mit Holz als Vergleichswert,.....	31
Tab. 2: Molekulare Massenzusammensetzung heutiger Gewächse nach STADNIKOV (1931), geändert	32
Tab. 3: Flöz-Parallelisierungszonen des Köflach-Voitsberger Beckens nach KLAUS (1954)	51
Tab. 4: Zusammensetzung der weltweiten Stromproduktion nach Energieträgern aus dem Jahr 2016	75
Tab. 5: Heizwerte der verschiedenen Kohlearten nach RIEDEL (2009: 1), geändert.....	77
Tab. 6: Weltweite Reserven und Ressourcen an Kohle, gerundet nach Umweltbundesamt (2017: 10), geändert.....	81

8. Literaturverzeichnis

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000a): Lehrplan Biologie und Umweltkunde – AHS-Unterstufe. Online unter

https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000b): Lehrplan Geographie und Wirtschaftskunde – AHS-Unterstufe. Online unter

https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000c): Lehrplan Geschichte und Sozialkunde/Politische Bildung – AHS-Unterstufe. Online unter

https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2000d): Lehrplan Physik – AHS-Unterstufe. Online unter

https://bildung.bmbwf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2018): Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Fassung vom 06.03.2019. Online unter

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568&FassungVom=2018-09-01>.

BÜNTING, J. P. (1693): Sylva subterranea – Vortreffliche Nutzbarkeit des Unterirdischen Waldes der Stein-Kohlen/ Wie dieselben von Gott denen Menschen zu gut/ an denenjenigen Orthen/ wo nicht viel Holz wächst/ aus Gnaden verliehen und mitgetheilet worden. Halle.

ETTINGSHAUSEN, C. R. v. (1858): Die fossile Flora von Köflach in Steiermark.– Jahrbuch der kaiserlich königlichen geologischen Reichsanstalt 8: S. 738–756.

GRÄF, W. (1988): Der Wald, der zu Kohle wurde.– In: ROTH, P. W. (Hrsg.): Glas und Kohle – Landesausstellung 1988 Bärnbach/Weststeiermark, 30. April bis 31. Oktober 1988. Katalog: S. 3–10.– Graz (Leykam).

Grazer Volksblatt (1881): Artikel zum Grubenunglück vom 12.12.1881. Online unter http://anno.onb.ac.at/pdfs/ONB_gre_18811213.pdf.

HAIMBERGER, L. (2014): Klimawandel in Österreich: Einflussfaktoren und Ausprägungen. Kapitel 1: Das globale Klimasystem und Ursachen des Klimawandels.– In: KROMP-KOLB,

- H. (Hrsg.): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014: S. 133–172.– Wien (Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften).
- HARER, G. & KOLMER, H. (1985): Mineralogische und technologische Untersuchungen an Sedimenten der Kohlenmulde von Bärnbach, Weststeiermark.– Graz.
- JURASKY, K. A. (1936): Deutschlands Braunkohlen und ihre Entstehung.– 165 S., Berlin (Borntraeger).
- KLAUS, W. (1954): Braunkohlen-Palynologie einiger weststeirischer Lagerstätten. Vorläufiger Bericht.– Verhandlungen der geologischen Bundesanstalt: S. 170–179.
- KLAUS, W. (1987): Einführung in die Paläobotanik – Fossile Pflanzenwelt und Rohstoffbildung.– 314 S., Wien (Deuticke).
- KOVAR-EDER, J. (1998): Leaf Assemblages from the Early Miocene Lignite Opencast Mine Oberdorf (N Voitsberg, Styria, Austria).– Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 140 (4): S. 447–452.
- KROMP-KOLB, H. (Hrsg.) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014.– 1096 S., Wien (Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften).
- KUSEL-FETZMANN, E. (1978): Moore in Niederösterreich.– Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich 37: S. 1–32.
- LASNIK, E. (2004): Glück auf! Glück ab! – Die Ära des Braunen Goldes. Kohlebergbau in der Weststeiermark.– 555 S., Hart-Purgstall (Huemer).
- LASNIK, E., LUKASCZYK, C. & HUEMER, W. (1997): Das braune Gold – Die Geschichte der weststeirischen Kohlenreviere.– 326 S., Graz (Verlag Styria).
- LÜTTIG, G. (1971): Typen von Braunkohle-Lagerstätten.– Geologisches Jahrbuch (81): S. 407–417.
- MELLER, B. (1998): Diaspore assemblages from the Early Miocene lignite opencast mine Oberdorf (N Voitsberg, Styria, Austria).– Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 140 (4): S. 453–460.
- MOTTL, M. (1970): Die jungtertiären Säugetierfaunen der Steiermark, Südost-Österreichs.– Mitteilungen des Museums für Bergbau, Geologie und Technik am Landesmuseum "Joanneum", Graz (31).

- NEBERT, K. (1982): Die Kohle als Faziesglied eines Sedimentationszyklus.– Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 1983 (128/4): S. 106–112.
- PETRASCHECK, W. (1947): Die Metamorphose der Kohle und ihr Einfluss auf die sichtbaren Bestandteile derselben.– Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse, Abteilung I 156: S. 375–444.
- PETRASCHECK, W. E. (1956): Kohle – Naturgeschichte eines Rohstoffes.– 104 S., Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer).
- PFLUG, W. (Hrsg.) (1998): Braunkohlentagebau und Rekultivierung – Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz.– 1068 S., Berlin (Springer).
- RIEDEL, D. (2009): Kohle ist nicht gleich Kohle.– Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 58 (1): S. 6–36.
- STADNIKOV, G. L. (1931): Die Chemie der Kohlen.– 339 S., Stuttgart (Enke).
- STEININGER, F. F. (1998): The Early Miocene lignite opencast mine of Oberdorf N Voitsberg (Styria, Austria): a multidisciplinary study.– Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt 140 (4): S. 397–402.
- TEICHMÜLLER, M. (1958): Die Genese der Kohle.– Extrait du Compte Rendu du Quatrième Congrès pour l'avancement des études de stratigraphie et de géologie du Carbonifère (3): S. 699–722.
- TEUMER, T. (1922): Was beweisen die Stubbenhorizonte in den Braunkohleflözen?– Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der Mitteldeutschen Bodenschätze und Ihrer Verwertung 3: S. 1–39.
- Umweltbundesamt (2017): Daten und Fakten zu Braun- und Steinkohlen. Online unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/171207_u_ba_hg_braunsteinkohle_bf.pdf.
- WEBER, L. & WEISS, A. (1983): Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlevorkommen.– 317 S., Wien (Geologische Bundesanstalt).
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2018): Welt-Rohstahlproduktion nach Regionen – Anteile in %. Online unter https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2018/03/Welt_Rohstahlproduktion_Regionen.png.
- World Coal Association (2017): Global electricity mix under IEA's New Policies Scenario. Online unter <https://www.worldcoal.org/resources> (17.12.2018).

- World Coal Institute (2005): Kohle als Ressource – Ein umfassender Überblick über Kohle. Online unter https://www.worldcoal.org/file_validate.php?file=wci_report_R2_GER.pdf (26.09.2018).
- ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & BILLUPS, K. (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present.– *Science* 292: S. 686–693.
- ZEDLER, J. H. (1737): Großes vollständiges Universal-Lexikon. Photomechanischer Nachdruck aus dem Jahre 1962.– 1356 S., Graz (Akademische Druck- und Verlagsanstalt).
- ZETTER, R. (1998): Palynological investigations from the early Miocene lignite opencast mine Oberdorf (N Voitsberg, Styria, Austria).– *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt* 140 (4): S. 461–468.

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, im