

Verständliche Wissenschaft

Fünfundvierzigster Band

Kohle

Von

Karl A. Jurasky



Berlin · Verlag von Julius Springer · 1940

Kohle

Naturgeschichte eines Rohstoffs

Von

Dr. Karl A. Jurasky
Dozent an der Bergakademie Freiberg, Sa.

1. bis 5. Tausend

Mit 58 Abbildungen



Berlin · Verlag von Julius Springer · 1940

ISBN-13: 978-3-642-98521-8 e-ISBN-13: 978-3-642-99335-0
DOI: 10.1007/978-3-642-99335-0

**Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.**

Copyright 1940 by Julius Springer in Berlin.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1940

Vorwort.

Mag eine Flut von Erdöl im Weltkrieg die Alliierten zum „Sieg“ getragen haben — das jetzige Ringen wird über Bergen aus Kohle gewonnen werden.

Deutschlands Boden ist mit natürlichen Rohstoffen nicht ganz besonders gesegnet; doch überreiche Lager von Kalisalzen und Kohle nähren in unversieglichem Strom gerade die Hauptschlagadern unserer Beharrung und Schlagkraft: Landwirtschaft und Industrie.

Von der Kohle soll hier die Rede sein. Sie speist Deutschlands Energiebedarf in weitestem Sinne. Sie wurde Grundlage einer neuen Rohstoffindustrie. Sie ist im gegenwärtigen Krieg überdies als Tauschmittel von größter Bedeutung. Mit seinen Kohlenschätzen vermag das deutsche Volk viele natürliche Mängel (Erdöl!) seines Lebensraumes zu gutem Teil auszugleichen. Die Verschiedenartigkeit der Formen, in die wir die in der Kohle ruhende Energie wie auch ihre Stofflichkeit zu wandeln vermögen, bringt in gleicher Weise die in diesem schlichten Naturstoff schlummernden Möglichkeiten wie die Schöpferkraft der deutschen Chemie zum Ausdruck. Diese Dinge sind staunenswert und stehen jedem eindringlich vor Augen. Mancher wird meinen, nichts anderes könne heute Hauptthema eines neuen Kohlenbuches sein.

Dieses Bändchen ist aber mehr dem natürlichen Werden jenes wunderbaren Rohstoffs und seiner dem Außenstehenden ungeahnten Vielartigkeit gewidmet; auch eine solche Betrachtungsweise hat ihr gutes Recht: Denn was man aus der Kohle zu schaffen vermag, hatte die genaueste wissenschaftliche Erforschung ihrer Entstehung und Beschaffenheit zur Voraussetzung. Die Kohle ist, wie jeder mineralische Rohstoff, Erbteil der geologischen Vergangenheit eines Landes.

Unzählige Bedingungen der belebten und unbelebten Vorzeitnatur mußten sich verknüpfen, wo die braune Erde, der schwarze Stein in nutzbarer Menge entstehen und sich erhalten sollte. Den Weg der Kohlenforschung zu verfolgen ist reizvoll. Er war langwierig und mühsam. Beobachtungen verschiedenster Art mußten sich zur Lösung eines dunklen Rätsels zusammenfinden.

Die Kohlenforschung zeigt sehr sinnfällig, wie in der Naturwissenschaft auch jede aus reinem Forschungsdrang erworbene Erkenntnis früher oder später ihre Anwendung findet. Alles, was man an Wissen über die Kohle sammelte, mag es manchem abseitig dünken, zeigte sich schließlich irgendwie nützlich für das Aufsuchen, die Gewinnung, die Verwertung ihrer Lager. Die oft geradezu sprunghaft gesteigerten Fortschritte der Angewandten Forschung sind vielfach nur möglich durch das reiche Antwortmaterial, das eine „zwecklos“ betriebene Wissenschaftsarbeit vorhergegangener Jahrzehnte für so manche plötzlich auftauchende Frage schon bereit hält. Der Abschnitt „Kohle unter dem Mikroskop“ z. B. kann jedem zeigen, wie das Eindringen in die innersten Geheimnisse eines Naturkörpers nicht allein den reinen Erkenntnisdrang befriedigt, sondern schließlich auch eminente praktische Bedeutung gewinnt. Viele ähnliche Beispiele kann der Aufmerksame auch dem andern brennstoffgeologischen Bändchen dieser Sammlung entnehmen; diese von KREJCI-GRAF verfaßte Darstellung über das Erdöl halte ich in vielem für vorbildlich — und so war ich bemüht, ein vergleichbares Seitenstück für die Kohle zu schaffen.

Freiberg (Sachsen), März 1940.

Institut für Brennstoffgeologie
der Bergakademie.

K. A. Jurasky.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die Kohle als Gestein. Der Weg zur Erkenntnis ihrer pflanzlichen Herkunft	1
II. Bedingungen der Erhaltung und Ablagerung pflanzlicher Reste. Moorbildungen in Gegenwart und Vorzeit	16
1. Das Schicksal toter Pflanzensubstanz an der Luft. Der Kreislauf des Kohlenstoffs	17
2. Die Erhaltbarkeit organischer Stoffe unter Wasser. Ablagerungen der Seen und Moore: Gytija und Torf	22
3. Die Bedeutung von Erdkrusten-Bewegungen für Ausbildung und Wachstum der Torflager	38
4. Die Pflanzenwelt der Vorzeit-Moore	48
III. Pflanzliche Urstoffe der Kohlen. Die Herkunft der in den Kohlen gespeicherten Spannkraft	59
IV. Die Wandlung der Stoffe. Der Inkohlungs Vorgang und seine Triebkräfte	71
1. Die Entwicklungsreihe der Kohlen (Inkohlungsreihe)	71
2. Der verändernde Vorgang: Die Inkohlung	78
3. Die Humusstoffe. Der Inkohlungsweg vom Torf zur Braunkohle	81
4. Triebkräfte der Inkohlung auf dem Weg Braunkohle — Steinkohle (—Graphit)	90
5. Der Inkohlungs Zustand der karbonen Steinkohlen und seine Bewirkung	102
6. Das Verhalten der primären Bitumenkörper während der Inkohlung der Humussubstanz. Der Inkohlungssprung	108
7. Die Steigerung des technischen Wertes der Kohlen durch den Inkohlungsprozeß	109
8. Vom Humustyp abweichende Sonderfälle der Kohlenbildung: Bitumenreiche Kohlenarten	111

	Seite
V. Die Wandlung der Formen: Kohle unter dem Mikroskop	115
1. Die Entwicklung der Kohlenmikroskopie	115
2. Das Strukturbild der Steinkohle und ihrer Vorstadien . . .	119
Glanzkohle (Vitrit) S. 120. Fossile Holzkohle (Fusit) S. 125.	
Mattkohle (Durit) S. 128. Vorstadien des Durits; Bitumen-	
reiche Braunkohlen S. 137. Schematische Übersicht der	
Kohlenarten S. 139	
3. Praktischer Nutzen der Kohlenpetrographie	141
VI. Blick über Gewinnung und Erst-Verwertung der	
Kohlen	145
Erdgeschichtliche Zeittafel	162
Sachverzeichnis	164

I. Die Kohle als Gestein. Der Weg zur Erkenntnis ihrer pflanzlichen Herkunft.

Als *Marco Polo* um 1290 von einer Weltreise heimkehrte, brachte er neben anderen wunderbaren Geschichten auch die Kunde von schwarzen brennbaren Steinen mit, die man in China seit alten Zeiten zu nützen verstehe. Aber seine Landsleute hielten diese Mär für ein allzu tolles Stück Seemannsgarn und lachten ihn nur aus. Und doch wurde um diese Zeit in Europa schon längst Steinkohle — denn um diese handelt es sich — gegraben, so in England um Sheffield, New Castle und bald darauf auch in Wales und Schottland; noch älter scheint sogar der Steinkohlenbergbau auf dem Festland zu sein, wo schon seit 1113 die Mönche des Klosters Kerkrade (Rolduc) im Wurmatal an der heutigen deutsch-holländischen Grenze die dort zutage tretenden Kohlenflöze¹ ausbeuteten. Der sächsische Steinkohlenbergbau (Zwickau) geht sogar auf das Jahr 1000 zurück.

Jahrhunderte hindurch kam von allen Kohlenarten nur die feste *Steinkohle* und ihr ähnliche Braunkohlenarten zur Feuerung in Betracht. Auch diese konnten sich gegenüber Holz und Holzkohle nur schwer durchsetzen, da man ihre Rauchgase als überaus unangenehm empfand und als die Quelle mannigfacher Übel, z. B. auch ansteckender Krankheiten betrachtete². Schließlich zwang aber der immer fühlbarere Mangel an Holz dazu, das tief eingewurzelte Mißtrauen gegenüber dem brennbaren schwarzen Stein zu überwinden. *Braunkohlen* von der in Deutschland verbreiteten

¹ Flöze des heutigen Aachener Reviers.

² So besagt eine Gubernialverordnung vom 6. Dezember 1788 (!) im Sudetenland: „Die Vorsorge für das Leben der Mitbürger erfordert, daß man den Gebrauch des Kohlfeuers in Kammern, Gewölben oder sonstigen verschlossenen Gemächern allgemein verbiete.“

wasserreichen und erdartig lockeren Beschaffenheit konnten bei den primitiven Feuerungsanlagen früherer Zeiten nicht nutzbar gemacht werden; bekanntlich werden sie ja im allgemeinen auch heute noch in künstlich verfestigter Form, als Briketts, verwendet. Derartige Veredlungsmethoden sind aber erst eine Errungenschaft der letzten Jahrzehnte. Man kannte die Braunkohle wohl, zumal ihre Lager vielfach sehr nahe der Erdoberfläche liegen; sicher wurden die Flöze immer wieder einmal durch Wasserläufe angerissen und freigelegt, die Kohle entzündete sich an der Luft von selbst und bewies in auffallender Weise ihre Brennbarkeit. Aber bei dem großen Unterschied des Äußeren erkannte man eben die Braunkohle nicht als „Kohle“ und ahnte nichts von der natürlichen Verwandtschaft mit der schwarzen, festen und glänzenden Steinkohle; die Erkenntnis, daß die eine das Vorstadium der anderen sei, ist erst in den letzten fünfzig Jahren gefestigt worden und wird erstaunlicherweise ab und zu heute noch bestritten. Man verglich in früheren Zeiten die Braunkohle höchstens mit Erde und Torf, nannte sie auch wohl „braune brennbare“ oder „bituminöse Erde“ oder „Moorerde“. Man hatte keinen Grund, sich mit ihr näher zu beschäftigen, und alle Theorien der Kohlenbildung hatten zuerst die *Steinkohle* zum Gegenstand. So ist es wohl richtig, wenn wir auch mit unseren Betrachtungen zunächst hauptsächlich von ihr und ihren Verhältnissen ausgehen und die Kenntnis ihrer engen Verwandtschaft mit der Braunkohle nicht sogleich voraussetzen.

Viele aus der Tiefe der Erde gehobene Rohstoffe — denken wir z. B. an Erze, Kalisalze oder das rohe Erdöl — kommen der breiten Öffentlichkeit kaum jemals in ursprünglicher Beschaffenheit zu Gesicht: sie wandern von den Stätten ihrer Gewinnung in die der Verarbeitung und verlassen sie in einer Form, die nichts mehr über ihre Herkunft erkennen läßt. Anders ist es bei der Kohle, die wenigstens in der Form der Steinkohle jedem so unter die Augen tritt, wie sie aus dem Bergwerk kommt. So sind denn auch heute wenigstens die allerallgemeinsten Erkenntnisse über ihre Na-

tur und Entstehung ziemlich geläufig, und wir können daraus schon eine auch wissenschaftlich haltbare Definition formen: *Kohle ist ein brennbares Gestein, das aus den umgewandelten Resten vorzeitlicher Pflanzen besteht und dem Schichtenaufbau des Erdinneren eingefügt ist.* Das klingt einfach und selbstverständlich — und nur wenige werden ahnen, wie weit der Weg zu dieser Erkenntnis war, wie viele, z. T. heute noch offene Fragen diese paar Worte umschließen. Davon wird hier noch viel die Rede sein.

Kohle ist ein Gestein, freilich eines besonderer Art. Vieles von dem Inhalt dieses Buches wird manchem erst verständlich sein, wenn wir zuvor einige geologische Grundbegriffe klären, einiges über das Wesen der Gesteine vorausschicken, über ihre Eigenheiten und das, was aus ihnen über ihre Entstehung erkannt werden kann.

Die feste Rinde unserer Erde setzt sich, so weit und so tief wir sie erkunden können, aus *Gesteinen* sehr verschiedener Beschaffenheit und Entstehung zusammen. Entgegen dem sonst üblichen Sprachgebrauch betrachtet die Geologie auch *lockere* Massen, wie Kies, Sand oder die erdähnliche Braunkohle, als „Gestein“ und nicht nur den festen Fels. Sie unterscheidet weiterhin zwischen Erstarrungs- und Absatzgesteinen. Die *Erstarrungsgesteine* sind als glutflüssige Massen aus dem Innern der Erde aufgedrungen; sie sind z. T. schon in großer Tiefe langsam erstarrt, wie der Granit (Tiefengesteine) — oder sie drangen als schmelzflüssige Lava bis an die damalige Erdoberfläche und erkalteten hier rasch zu feinkörnigen Massen, wie der Basalt (Ergußgesteine). Auch die erste, mit zunehmender Erkaltung des Erdballs gebildete feste Rinde bestand aus solchen Erstarrungsgesteinen, über deren nähere Beschaffenheit wir freilich nichts wissen, da sie uns nirgends erhalten sind.

Mit der Ausbildung der Atmosphäre und der Entstehung flüssigen Wassers setzte die Zerstörung der Gesteinshülle ein und gleichzeitig auch die Bildung der *Absatzgesteine*, die sich eben aus den mechanischen und chemischen Zerstörungsprodukten vorher vorhandener Gesteine, ausnahmsweise auch aus Körperstoffen von Lebewesen aufbauen.

Kein Gestein ist an der Erdoberfläche beständig; selbst der harte Granit, der dichte Sandstein, der feste Kalk unterliegen früher oder später den sprengenden, nagenden oder lösenden Einwirkungen der Luft, des Wassers und Eises, der Temperaturschwankungen und den Angriffen des Lebens, vor allem der Pflanzen. Die Gebirge fallen zu Schutt und Staub und würden in ihnen ersticken, wenn nicht Eis, Wasser und Wind das Trümmerwerk fortbewegten und, den Gesetzen der Schwerkraft folgend, den tiefer gelegenen Teilen der Erdoberfläche zu neuem Aufbau zuführten. Aus den mechanischen Zerstörungsprodukten des Hochlandes entstehen in den Tieflagen, vor allem in den Becken der Seen und des Meeres, Ablagerungen von Geröll, Kies, Sand und Ton. Vom Wasser als Lösung mitgeführte Mineralstoffe, so Kalk und Kieselsäure, werden z. T. durch die Einwirkung des Lebens wieder ausgefällt und abgeschieden. Sinterbildungen, Bänke von Kalkschlamm, aus Kalk aufgebaute Riffe von Korallen und Algen, Ablagerungen kieseliger oder kalkiger Skelete und Gehäuse von Tieren und Pflanzen entstehen in den Tiefen der Gewässer (vgl. S. 24). Ein kennzeichnendes Merkmal der meisten Absatzgesteine ist große Flächenerstreckung bei verhältnismäßig geringer Dicke (= „Mächtigkeit“) und deutlich *geschichteter Aufbau*.

Seit Hunderten von Jahrmillionen erfüllt sich an der Erdoberfläche dieser ständige Wechsel von Zerstörung und Neubildung der Gesteine. Denn die Kräfte des Erdinnern sind stets bereit, den erstrebten Ausgleich aller Höhen und Tiefen zu stören und zu verhindern: durch das Aufdringen neuer Erstarrungsgesteine, durch Hebung und Senkung einzelner Schollen der Erdkruste, durch die Emporwölbung und Auffaltung neuer Gebirge. Und während in vielen Teilen der Erde die in großer Tiefe entstandenen Granite und Gneise durch Abtragung ihrer Deckschichten frei zutage liegen, konnten sich in anderen weiten Bereichen Absatzgesteine verschiedenster Art zu vielen tausend Metern Mächtigkeit übereinanderlagern.

Zwischen den Neubildungen an der *Erdoberfläche* und den entsprechenden Gesteinen, die heute in die *Tiefe* versenkt sind oder aus ihr wieder zutage treten, lassen sich einige auffallende Unterschiede bemerken.

Zunächst zeigt sich meist *ihre Lage verändert*. Fast alle an der Erdoberfläche zur Ablagerung kommenden Gesteine gelangen in horizontalen, höchstens schwach geneigten oder wenig muldenförmig gekrümmten Schichten zum Absatz; demgegenüber haben die zweifellos ursprünglich ebenso abgelagerten fossilen Gesteine die mannigfachsten Lageveränderungen erfahren: Weite Teile der Erdkruste zeigen sich durch tiefgreifende Spalten, durch „Verwerfungen“ in Bruchschollen zerstückelt, die durch die Kräfte des Erdinnern gegeneinander gehoben oder gesenkt und dabei zuweilen gekippt, also schräg gestellt wurden (Abb. 1). Ferner zeigen sich die Schichten über weite Bereiche in Falten

zusammengelegt, besonders auffällig im Gebiet der großen Faltengebirge (Alpen!). Die Falten sind dabei zuweilen durch die gewaltigen Schubkräfte zerrissen, und riesige Gesteinspakete wurden übereinandergeschoben (Überschiebungen).

Aber nicht nur in ihrer Lage, sondern *auch in ihrer Beschaffenheit* erleiden die Gesteine nach ihrer Eingliederung in das Erdinnere allerlei Veränderungen. An der Erdoberfläche finden wir als Neubildungen gewöhnlich lockere oder weiche Massen, wie Schotter, Kies, Sand und Tonschlamm.



Abb. 1. Klein-Verwerfungen in den Hangendschichten einer Braunkohlengrube — ein getreues Abbild der großräumigen Schollenzerstückelung weiter Gebiete. Grube Maria Glück. Aufn. Mühlhan.

Später werden unter dem Druck der überlagernden Schichten die Einzelteile einander aufs engste genähert, das Gestein wird in seinem Gefüge verdichtet. Die schon dadurch angebahnte Verfestigung kann durch Absatz gelöster Mineralstoffe aus den durchflutenden Tiefenwässern vollendet werden. Ausscheidungen von Kalk, Kieselsäure, Eisenverbindungen usw. können die einzelnen Partikel verkitten, ja schließlich alle Porenräume ausfüllen. So wird eckiger Gesteinsschutt zur Breccie, abgerundetes Gerölle zum Konglomerat, Sand zu Sandstein und Quarzit; poröse Korallenkalke und Kalktuffe können zu völlig kompakten bunten „Marmor“kalken

umgestaltet werden usw. Durch die Zufuhr der in den Tiefenwässern gelösten Mineralstoffe sind aber auch die verschiedensten *stofflichen* Umsetzungen möglich, die den chemischen Charakter des Ausgangsmaterials erheblich verändern können.

Vielfach sind die Gesteine aber einer noch viel weitergehenden und mehr *gewaltsamen Umbildung* im Erdinnern ausgesetzt, für die in der Geologie der Ausdruck „*Metamorphose*“ (= Verwandlung) üblich ist¹. Solche Wirkungen gehen einerseits aus von der aller menschlichen Vorstellungsmöglichkeit spottenden Druckkraft der gebirgsbildenden Vorgänge, die Schichtsysteme von mehreren tausend Metern Mächtigkeit gleichsam mühelos in Falten legt oder in gewaltigen Zerreißungszonen übereinanderschiebt; unter solchen ungeheuren Pressungen sind sehr weitgehende Veränderungen möglich. Tone werden so zu festen parallelsplattend Tonschiefern umgeprägt, gewöhnlicher Kalkstein kann sich in zuckerkörnigen (kristallinen) Marmor wandeln u. a. m.

Überaus stark verändert werden viele Absatzgesteine auch in der Nachbarschaft glutflüssiger Laven, also durch vulkanische Wärme. Tone werden zu klingend harten, oft grellbunt gefärbtem Fels gebrannt, Sandsteine an- und umgeschmolzen, gefrittet und verglast, Kalk kann auch auf diese Weise zu Marmor werden usw.

Durch solcherlei Umformungen können Ausgangsmaterial und Bildungsweise eines Absatzgesteins weitgehend unkenntlich werden, und die Forschung muß sich lange darum bemühen, auf der gegenwärtigen Erdoberfläche Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen eine als Ausgangsstadium in Betracht kommende Ablagerung entsteht.

Durch das Ergebnis unzähliger Untersuchungen sind die Geologen zu der Überzeugung gekommen, daß Material, Bildungs- und Umbildungsbedingungen auch der ältesten Sedimentgesteine im Grunde genommen während der Erdgeschichte ziemlich gleich geblieben sind. Somit haben wir selbst bei dem merkwürdigsten, nach Ausgangsstoff und Entstehung rätselhaftesten Absatzgestein Aussicht, auch in der Gegenwart noch irgendwo auf der weiten Erde die Bildung seines Erststadiums zu verfolgen, im Innern der Erde vermittelnde Zustände seiner zunehmenden Ver-

¹ Die oben gekennzeichneten Veränderungen werden als Diagenese (= „Durchbildung“) bezeichnet.

änderung, also eine „genetische Reihe“ kennenzulernen und die ihre Fortentwicklung bedingenden Faktoren.

Mit der Untersuchung jedes am Aufbau der Erdrinde beteiligten Gesteins verknüpft der Geologe die *Frage nach Bildungsraum und Bildungsalter*. Zu ihrer Erkenntnis verhilft das Studium der in diesem Gestein oder in seinen Nachbargesteinen erhalten gebliebenen Tier- und Pflanzenreste früherer Zeiten, der „Fossilien“. Über den *Bildungsraum* eines Gesteines kann manche Erfahrung schon aus seiner stofflichen Zusammensetzung, aus seinen physikalischen Eigenschaften und aus der Anordnung seiner Bestandteile (Schichtung!) abgeleitet werden. Über nähere Einzelheiten aber, wie z. B. die, ob ein Sandstein in einem Süßwassersee oder im Meere abgelagert wurde, können meist nur die darin enthaltenen *Fossilien* (Ammoniten, Schnecken, Muscheln usw.) Auskunft geben. Der Bildungsraum des Gesteines wird so also aus dem erfahrungsmäßigen Lebensraum der versteinerten Tiere und Pflanzen erschlossen.

Freilich sahen die Lebewesen der Vorzeit von den heutigen z. T. sehr verschieden aus. Aber sie waren fast durchweg verwandt mit jetzt noch lebenden Tieren und Pflanzen, deren Bedürfnisse und Gewohnheiten uns Anhaltspunkte über die Lebensbedingungen auch ihrer Vorfahren geben können. Nähere Einzelheiten lassen sich oft aus jenen Formeigentümlichkeiten der fossilen Lebewesen erschließen, die erfahrungsgemäß in Anpassung an bestimmte Umweltsverhältnisse zur Ausbildung kommen.

Im Lauf der Erdgeschichte vollzog sich der Heraufgang des Lebens, eine Entwicklung von universal-einfachen, niedrig organisierten Formen zu solchen mit immer weitergehender, fortschreitend verfeinerter Organgliederung („Differenzierung“), die mit unzähligen Anpassungen an die Sonderbedingungen immer enger umschriebener Lebensräume und mit einer ins Ungemessene schreitenden Formentfaltung Hand in Hand ging. Alle Möglichkeiten, die sich innerhalb der Gewässer, auf dem Festlande und schließlich im Luftraum für das Leben boten, wurden so von ihm erobert. Die Anordnung der Pflanzen- und Tiergruppen in unseren botanischen und zoologischen „Systemen“ sucht, soweit dies praktisch möglich ist, ein Abbild von dieser Aufwärtsentwicklung zu geben. Treten uns in den älteren Gesteinen Vertreter der im System „tiefer“ stehenden Gruppen von Lebewesen entgegen, so stellen sich in den jüngeren Schichten nach und nach immer höher organisierte und schließlich auch die heute das Lebensbild beherrschenden Ordnungen (laubtragende Blütenpflanzen, Säugetiere) ein.

Die Formengliederung der Lebewesen war indessen zu allen überhaupt durch Leben ausgezeichneten Zeiten nicht allein durch den entwicklungsmäßigen Heraufgang und die

sich in diesem Rahmen vollziehenden unzähligen Anpassungen bestimmt, sondern darüber hinaus durch einen abseits aller „Zweckmäßigkeit“ und abseits auch der Höherentwicklung liegenden inneren Gestaltungstrieb der Natur, der in geologisch gesehen raschem Wechsel innerhalb der Organismengruppen (z. B. der Schnecken, Muscheln usw.) immer neue Gestalten (Arten) auftreten, sich über die Erde verbreiten und wieder aussterben ließ, so daß nahe übereinander liegende, also im Alter wenig verschiedene Schichten, ja sogar Einzelbänke trotz gleichartigen Bildungsraumes sich in ihrem Fossilgehalt stark unterscheiden können. Als die Wissenschaft von den vorzeitlichen Lebewesen, die Paläontologie, alle diese Gegebenheiten und ihre Gesetze erkannt hatte, wurde es der Geologie möglich, die gegenseitigen *Altersbeziehungen der Gesteine* zu erkunden und die Erdgeschichte zeitlich zu gliedern. Man konnte nunmehr die Gesteine, gleichgültig, wo in der Welt sie sich fanden, nach den in ihnen erhaltenen Versteinerungen bestimmten Bildungs-Zeitaltern und ihren Abschnitten zuweisen. Die beigegebene *Übersichtstafel der Erdgeschichte* unterrichtet über diese Zeitgliederung, über die vermutliche absolute Dauer ihrer Abschnitte, die wichtigsten Erscheinungen im Entwicklungsweg der Tiere und Pflanzen, über bemerkenswerte geologische Ereignisse und schließlich, in einer Sonderspalte, auch über die *zeitliche Zugehörigkeit der Kohlenvorkommen*. Wir wollen hier gleich bemerken, daß zwei erdgeschichtliche Zeitabschnitte (Formationen) vor allem auf dem Boden Europas durch besonders rege Kohlenbildung ausgezeichnet waren, nämlich das *Oberkarbon* („Steinkohlen-Formation“) und das ganze *Tertiär* („Braunkohlen-Formation“). Berücksichtigen wir freilich die Verhältnisse der ganzen Welt, so sehen wir die Entstehung großer Kohlenvorkommen durchaus nicht auf diese Erdzeiten beschränkt (wie vielfach angenommen wird). Seit dem Auftreten höherer Landpflanzen (von der Devonzeit ab) bestand die ganze Erdgeschichte hindurch die Möglichkeit zur Kohlenentstehung an irgendeiner Stelle der Erde; wir kennen Kohlenvorkommen aus nahezu allen Formationen. Schon dies deutet darauf hin,

daß wir mit Aussicht auf Erfolg *auch in der Jetztzeit* nach entsprechenden Verhältnissen Ausschau halten dürfen.

Nach diesen einleitenden Ausführungen wollen wir nun jene Richtlinien zur Beurteilung der Gesteine auf unsern besonderen Fall „Kohle“ anwenden und dabei, allerdings mit zunehmender Freiheit, der historischen Entwicklung der Kohlenforschung folgen.

Die *Steinkohlen* treten als Schichten, als „Flöze“ einer schwarzen, meist glänzenden und spröden, zuweilen auch matten und zähen Substanz im Innern der Erde auf. In stetigem Wechsel mit gleichfalls geschichteten und gleichgelagerten andern Gesteinen unzweifelhaft mineralischer Zusammensetzung, mit Tonschiefern, Sandsteinen, zuweilen auch Kalken beteiligen sie sich am Aufbau von Schichtsystemen, die mehrere tausend Meter Mächtigkeit erreichen und weit über hundert Kohlenflöze von meist allerdings nur geringer Stärke führen können (vgl. S. 103). Die mächtigsten Flöze Deutschlands (Oberschlesien) erreichen 12 bis 20 m.

Die flächenhafte Ausdehnung der Kohlenflöze kann ungeheuer groß sein und bei weitem die jeder anderen Lagerstätte übertreffen, so auch die doch oft sehr ansehnlichen Bereiche erdölführender Schichten. Gewisse Flöze Westfalens streichen unter dem in seiner Entstehung geologisch ziemlich jungen Kanal hindurch bis nach England und werden hier, wie auch in Belgien und Holland, ebenfalls abgebaut (vgl. S. 132). Das 1—2 m mächtige Pittsburg-Flöz des Appalachengebietes (Nordamerika) breitet sich im Untergrund von SW-Pennsylvanien, Ost-Ohio und NW-Virginien über eine Gesamtfläche von nicht weniger als 15000 qkm aus!

Die Kohlenflöze werden in ihrem „Liegenden“ und „Hangenden“ meist von Tonschiefern, oft auch von Sandsteinen begleitet; sie können scharf gegen diese Nebengesteine absetzen, wie das bei Sandstein gewöhnlich der Fall ist. Meist aber sind sie mit ihnen durch eine Übergangszone verbunden, in der sich der Kohle in zunehmendem Maß toniges Material beimengt, bis dieses die Oberhand gewinnt und schließlich als meist immer noch durch einen Gehalt an koh-

liger Substanz dunkel gefärbter Schiefer erkennbar wird. Das schwarze Übergangs- und Mischgestein kann äußerlich der reinen Kohle ähnlich sein, fällt ihr gegenüber allerdings durch sein größeres Gewicht auf. Es ist bei seinem beträchtlichen Mineralgehalt zwar kein Nutzstoff mehr, aber immer noch brennbar, wie die schwelenden Halden vieler Kohlenzechen beweisen, auf denen sich dieser „*Brandschiefer*“ der Bergleute selbst entzündet.

Von den Vorkommen der *Braunkohle* läßt sich Ähnliches sagen. Zum Unterschied von der Steinkohle sind aber die Braunkohlenflöze mächtiger, zuweilen bis an die 100 m stark. Sie liegen meist verhältnismäßig oberflächennah und bestehen aus einer im Normalfall braunen, erdartigen, wasserhaltigen, nur ausnahmsweise stärker verfestigten Substanz, der vielerlei kohlige Holzreste eingeschaltet sein können. Die Begleitgesteine entsprechen denen der Steinkohle im Ausgangsmaterial, sind aber meist wenig verfestigt und treten als Schichten plastischen Tones („*Letten*“) und lockerer, zuweilen auch verkitteter Sande entgegen.

Die *Schichtform* der Steinkohlenflöze und ihr in sich wieder geschichteter Aufbau, die engen räumlichen Beziehungen, ja Mischungsmäßigen Übergänge der Kohle zu mineralischen Absatzgesteinen und die gleichsinnige (konkordante) Lagerung der Flöze mit deren Schichtaufbau haben schon Naturbeobachtern früherer Zeiten gezeigt, daß auch die *Steinkohle ein Absatzgestein* ist, demnach auch ehemals an der Erdoberfläche als Ablagerung entstanden sein müsse. Aber die gegenüber anderen, auch den eng benachbarten Gesteinen völlig fremdartige, schwarze und noch dazu brennbare Substanz der Kohlen blieb bis in die erste Hälfte des vorigen Jahrhunderts rätselhaft; nirgendwo auf der Erdoberfläche sah man Bildungen auch nur einigermaßen ähnlicher Art entstehen.

Frühzeitig genug bemühten sich schon einzelne Naturkundige um den Ursprung des in seinen Eigenschaften gegensätzlich und daher absonderlich erscheinenden „brennbaren Steins“. Dem Mittelalter fehlten jedoch noch gänzlich die einfachsten geologischen Grundanschauungen vom Aufbau und von der Entwicklung der Erde, ihrer Gesteine und ihres Lebens. Die fossilen Tier- und Pflanzenreste, die sich in den Gesteinen, z. B. in

der Nachbarschaft der Flöze fanden, wurden als „Spiele der Natur“ oder als Narrheiten des Teufels betrachtet; der Streit der Neptunisten und Plutonisten um die wäßrige oder vulkanische Entstehung der Basalte (fossiler Lavagesteine) liegt erst etwa hundert Jahre zurück! So kann es denn nicht wundernehmen, daß sich auch um den Ursprung der Kohle merkwürdige Vorstellungen rankten, auf die wir hier nicht alle eingehen wollen.

AGRICOLA erklärte 1544 die Steinkohle für verdichtetes Erdöl; diese Ansicht ist insofern verständlich, als es tatsächlich schwerfällt, Stücke solchen verdichteten Erdöls, nämlich des natürlichen Asphaltes, von gewissen glänzenden Steinkohlen zu unterscheiden. Im übrigen hielt AGRICOLA wohl zweifellos das Erdöl für ein Produkt anorganischer Entstehung.

Mehrfach wurde auch die vulkanische Entstehung der Kohle verfochten; sie sollte eine Art umgewandelter Lava sein, die man ja in „brennendem“, d. h. glühendem Zustand kannte, wie sie aus dem Erdinnern zutage tritt, und die überdies mit der Kohle die schwarze Farbe gemeinsam hat. Eine entsprechende Meinung wurde von einem sonderbaren Autor sogar noch im Jahre 1909 vertreten! Auch in anderer Weise behauptete man mehrfach die anorganische Entstehung der Steinkohle, z. B. durch Verwitterung des Urgebirges (1796) oder durch Verdichtung „überflüssiger“ Kohlensäure (noch 1840!).

Man hatte nach und nach gelernt, den Bildungsraum der Gesteine auch nach den in ihnen erhalten gebliebenen Resten oder Spuren vorweltlicher Lebewesen, z. B. an Fischskeletten, Ammoniten, Muschel- und Schneckenschalen, Tierfährten u. dgl., zu beurteilen; auch hier schien *die Steinkohle selbst* unerbittlich zu schweigen. Sie schien auch noch in einer Zeit, in der das Mikroskop längst bekannt, seine Anwendbarkeit aber noch beschränkt war, keinerlei Andeutungen des Lebens zu enthalten. Inzwischen war man aber immer mehr auf die oft wunderbar erhaltenen Pflanzenfossilien aufmerksam geworden, die sich nahezu regelmäßig mit der Kohle zusammen *in den begleitenden Tonschiefern* finden. Man beobachtete riesige Baumstümpfe, die im Liegendgestein des Flözes mit mächtigen, weit ausladenden Wurzelsternen verankert und offenbar auf diesem Boden gewachsen waren; sie bestanden zur Gänze aus Stein, hatten höchstens eine kohlige Rinde und ragten oft in das Flöz hinein, waren in ihm selbst aber offenbar Fremdkörper. Man erkannte in Schieferstücken die plattgedrückten, mit merkwürdigen Außenskulpturen bedeckten Reste vorweltlicher Baumstämme und sah riesige Gesteinsplatten mit herrlich bis in alle Feinheiten erhaltenen

Abdrücken farnähnlicher oder striemenförmiger Blätter bedeckt, wie sie schon für frühere Zeiten vielbestaunte Wunder gewesen sein mögen und noch heute in unseren Museen große Anziehungskraft auf die Besucher ausüben. Angesichts dieser Merkwürdigkeiten im Schiefer und der Brennbarkeit des ihm benachbarten Flözes hatten schon in früheren Jahrhunderten nachdenkliche Naturbetrachter an die pflanzliche Herkunft der Kohle gedacht, als erster der seiner Zeit auf naturwissenschaftlichem Gebiet weit vorauseilende Geist des ALBERTUS MAGNUS (1193—1280). Diese Ansicht ist dann im Lauf des 16., 17. und 18. Jahrhunderts wiederholt vertreten worden, besonders eindringlich wohl von J. J. SCHEUCHZER (1. Hälfte des 18. Jahrhunderts); sie hatte sich aber selbst im 19. Jahrhundert noch nicht allgemein durchgesetzt. Neben den Hinweisen durch die begleitenden Pflanzenreste stützte sie sich wohl von Anfang an auch auf den Vergleich mit der künstlich in Meilern hergestellten Holzkohle (ein gleichartiges Material kommt als Einsprengling auch in der Kohle vor!).

Da die Steinkohle selbst aber mit freiem Auge gewöhnlich keinerlei Spuren der ehemaligen Pflanzlichkeit erkennen läßt, wurde aus der *Vermutung* erst vor knapp 100 Jahren ein wirklicher *Nachweis*, als W. HUTTON 1833 und H. Fr. LINK 1838 die Kohle zum erstenmal mit Erfolg unter dem Mikroskop betrachteten. Sie fanden so viele feine Pflanzenreste in ihr, hauptsächlich wohl solche holzkohliger Erhaltungsweise (vgl. S. 125), daß die pflanzliche Entstehung auch der übrigen, den damaligen Untersuchungsmethoden noch lange trotzens Kohlenmasse nahelag. Jene Beobachtungen wurden aber erst in den achtziger und neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts durch andere Forscher wieder aufgenommen und vor allem durch v. GÜMBEL bestätigt und ergänzt. Dem vorigen Jahrhundert war es überdies vorbehalten, endlich auch den *stofflichen* Charakter des Gesteins näher zu untersuchen; man erkannte, daß in der Kohle offensichtlich *organische Substanz* vorliegt, daß sie sich neben beigemengten Mineralstoffen aus den gleichen Elementen aufbaut wie die Körperstoffe der Pflanzen und Tiere, nämlich aus Ver-

bindungen von Kohlenstoff (C) mit Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O), wozu noch ein kleiner Gehalt von Stickstoff (N) und Schwefel (S) tritt.

Indessen bestand noch immer das große Rätsel: Wo bilden sich noch heute Ablagerungen von Pflanzenresten, die auch nur einige Ähnlichkeit mit Steinkohle besitzen? Man kam dabei von dem schwarzen, homogenen Äußeren der Steinkohle nicht los; solche Bildungen freilich sah man nirgendwo in den menschlicher Beobachtung zugänglichen Regionen der Erdoberfläche entstehen. Also verlegte man ihre Bildung in die Tiefe großer Seen oder des Meeres, worauf die regelmäßige Gemeinschaft der Kohlenflöze mit typischen Ablagerungen der Gewässer, mit ehemaligem Tonschlamm oder Sand hinzudeuten schien. Man hatte also schon frühzeitig eine „Zusammenflößung“ (davon der Ausdruck „Flöz“!) pflanzlichen Materials durch reißende Katastrophengewässer angenommen, die man sich in der frommen Denkungsart noch des 18. Jahrhunderts (SCHEUCHZER!) als „Sintfluten“ vorstellte. Später — und ab und zu noch bis in die neueste Zeit! — nahm man eine Zusammenschwemmung und Anhäufung der Pflanzenreste in Seen und Meeren als Delta- und Ästuarienbildungen¹ großer, aus Waldgebieten kommender Flüsse an; hatte man doch aus den Berichten der Reisenden Kunde erhalten von den gewaltigen Mengen von Baumstämmen, Holzstücken und Genist, die z. B. der Amazonenstrom alljährlich dem Meere zuführt. Da man aber auch an solchen Stellen keine Bildung reiner Kohlen kennenlernte, dachte man sich wenigstens die als Landpflanzen erkennbaren fossilen Reste, z. B. die Farnblätter, auf diese Weise eingeschwemmt² und verlegte die eigentliche Entstehung der Kohlen in die unkontrollierbare Tiefe des Ozeans. Man erinnerte sich dabei an die großen Tanganhäufungen

¹ Die großen Ströme ergießen sich in das Meer unter mannigfacher Verzweigung in selbst aufgeschütteten Böden: Deltabildungen; andere münden in einheitlichen Flußbetten, die sich buchtenartig erweitern: Trichtermündungen oder Ästuarien.

² Nach AGASSIZ können sich Blätter, Hölzer und Früchte auf dem Meeresgrund noch in über 1000 km Entfernung vom nächsten Lande finden.

des Sargasso-Meereres, von denen die Seefahrer seit jeher Wunderdinge zu berichten wußten.

Die Kohle sollte also auf dem Boden des Meeres aus gewaltigen, Jahrtausende hindurch andauernden Anhäufungen riesiger Tange und auch kleinerer Algen entstanden sein, die schließlich vom Meeresschlamm überdeckt wurden. Eine gewisse Stütze schien diese Theorie dadurch zu erhalten, daß tatsächlich in verschiedenen großen Steinkohlenegebieten die Flöze von Schichten begleitet sind, die durch die Eigenart ihrer Fossilien als Meeresablagerungen zu erkennen sind (Marine Horizonte, vgl. S. 75). Da man andererseits aber doch schon in der „vormikroskopischen“ Zeit und erst recht nach her viele Anzeichen dafür beobachtet hatte, daß die Kohlen mindestens vorwiegend aus Landpflanzen entstanden waren, entspann sich ein heftiger Streit; er lebte gerade nach den klassischen Mikrountersuchungen von HUTTON und LINK am heftigsten auf, und die *Sargasso-Theorie* hatte noch bis gegen die Jahrhundertwende erbitterte Verteidiger (K. F. MOHR 1866; MUCK 1881 usw.).

Durch zum Kreislauf zusammenwirkende Meeresströmungen werden in manchen Teilen der großen Ozeane ungeheure Mengen losgerissener, treibender Tange (meist der Gruppe der Braunalgen = *Phaeophyceen* angehörig) im toten Innern des Strömungswirbels angehäuft. Die klassischen „Tangwiesen“, die „Sargassosee“ der Seefahrer (benannt nach der Braunalge *Sargassum*) befindet sich im mittleren Atlantischen Ozean und dehnt sich westlich der Azoren über eine Fläche aus, die Großdeutschland vier- bis fünfmal übertreffen soll. Vor wenigen Jahren wurden im Südlichen Eismeer förmliche Tangwälder auf dem seichten Meeresgrunde entdeckt, und an der Küste von Chile fand der bekannte amerikanische Forscher BEEBE gleichfalls solche Tangwälder. Tange können beträchtliche Größe erreichen; wenn auch ihre Haftstränge gewöhnlich nur fingerdick sind, so werden sie doch bei einzelnen Formen an die 100 m lang, und die daran sitzenden blattähnlichen und oft zierlich gegliederten Flachsprosse erreichen die ansehnliche Größe von $1\frac{1}{2}$ m. Es gibt aber auch richtige „Algenbäume“, deren Stämme bei allerdings nur 3—5 m Höhe schenkel dick sind und sich verzweigen (*Lessonia* u. a. Formen).¹

Der wissenschaftliche Streit, ob Landpflanzen oder die Tanggewächse des Meeres Ausgangsmaterial der Kohle waren, durfte schließlich kurz nach der Jahrhundertwende als

¹ Vgl. R. KRÄUSEL, Riesenalgen und Algenbäume, in „Natur und Volk“ (Frankfurt a. M.), Jg. 1936, S. 13.

endgültig zugunsten der *Landpflanzen* entschieden gelten. Die in der Kohle noch struiert erhaltenen Pflanzenpartikeln, wie sie LINK, v. GÜMBEL u. a. studiert hatten, wiesen mit ihren anatomischen Merkmalen eindeutig auf Landpflanzen hin und stammten meist von deren holzigen Organen. Dies stimmte gut überein mit dem Vorkommen ausgesprochener Landpflanzenreste in den Begleitschichten der Kohle, die das prächtige Blattwerk farnähnlicher Gewächse gleich einem Herbarium aufbewahrt haben und die oft überdies von gewaltigen Baumresten durchspickt sind. Gegen die Gültigkeit der Algentheorie sprachen in zunehmendem Maß auch die Ergebnisse der Meeresboden-Erforschung; sie zeigten, daß die Tanganhäufungen schon auf dem Weg in die Tiefe zersetzt werden und daß sich hier keine kohligen Ablagerungen bilden.

Neuere Forschungen brachten für einige seltene Fälle das wieder zu Ehren, was ältere Naturforscher aus den Lücken der Naturerkenntnis ihrer Zeit heraus annahmen. So sind die *Boghead* „kohlen“ (vgl. S. 133) aus allerdings mikroskopisch kleinen Algenkolonien aufgebaut — und gewisse, als *Sapromyzite* bezeichnete Kohlen Sibiriens scheinen sich ihrer Struktur nach tatsächlich aus Anhäufungen größerer Tange gebildet zu haben. Beide Kohlenarten zeigen stofflich eine gewisse Verwandtschaft mit Erdölgesteinen. An der Entstehung des Erdöls aber waren, wie vor allem feinchemische Untersuchungen ergaben, neben Meerestieren zweifellos auch Algen mitbeteiligt.

Durch den Kohlenhunger der aufstrebenden Industrie waren inzwischen viele neue, oft zwar kleine, aber um so interessantere Kohlenlagerstätten in Abbau genommen worden, die bis dahin unbekannt Zustände und Umwelten der Kohlenflöze studieren ließen. Vor allem waren nach Erfindung der künstlichen Verfestigung lockerer natürlicher Brennstoffe die gewaltigen Braunkohlenvorkommen des deutschen Bodens in großartigem Ausmaß erschlossen worden. Durch die neuen Beobachtungsmöglichkeiten hatte die Kohlengeologie in den verschiedensten Teilen der Erde, vor allem aber Europas, immer mehr *Übergangszustände* zwischen den sonst sich so fremdartig gegenüberstehenden *Braunkohlen* und den *Steinkohlen* kennengelernt; so wurde die Annahme, daß die eine das entwicklungsmäßige Vorstadium der anderen sei, geradezu zwingend. Die Braunkohlen aber fand man wie-

der durch Übergänge (Torf) mit dem stofflichen Zustand der lebenden Pflanzen verbunden.

Währenddessen war allerdings der Meinungsstreit darüber noch nicht zur Ruhe gekommen, ob die als Ausgangsmaterial festgestellten Landpflanzenreste dort gewachsen seien, wo sich heute die Kohle befindet oder ob sich das Urflöz aus zusammengeschwemmtem Material angehäuft habe.

Die Anhänger der *Bodenständigkeit* (*Autochthonie*) der Flöze konnten für ihre Ansicht die tadellose Erhaltung selbst sehr großer und zart gegliederter Farnblätter usw. in den begleitenden Tonschiefern ins Treffen führen, die unmöglich durch bewegtes Wasser von weither zugeschwemmt sein konnten; sie verwiesen ferner auf die sogenannten Wurzelböden, nämlich Gemeinschaften zahlreicher, im Liegendgestein der Flöze wurzelnder und in aufrechter, also offensichtlich ursprünglicher Stellung ins Flöz einragender Baumstümpfe, wie sie auch unterhalb der Braunkohlenlager, und hier als „Stubbenhorizonte“ sogar innerhalb des Flözes auftreten. Diese und andre Argumente überzeugten selbst die Anhänger der *bodenfremden* Flözentstehung (*Allochthonie*), aber freilich immer nur für den Fall, in dem solche Erscheinungen zu beobachten waren.

Zweifellos ist der Gehalt vieler dunkler Gesteine an kohligter Substanz durch Einschwemmung zu erklären — und vor den Mündungen großer Flüsse (Kanada!) und in ihren strömungsträgen Teilen mögen heute noch solche Mischgesteine entstehen. Aber so können eben nur *kohlige Gesteine mit beträchtlicher Mineralbeimengung*, nie aber mächtigere Flöze *reiner Kohle* entstehen. Jener Streit ist hier völlig gegenstandslos, zumal wir heute — wie zum erstenmal die klassischen Arbeiten H. POTONIÉS (Anfang dieses Jahres) zeigten — die Möglichkeiten für die bodenständige Anhäufung reiner Pflanzensubstanz in der Natur ausreichend kennen.

II. Bedingungen der Erhaltung und Ablagerung pflanzlicher Reste. Moorbildungen in Gegenwart und Vorzeit.

Jenes Ergebnis, daß die Kohlenflöze aus organischer Substanz bestehen, daß sie im wesentlichen aus bodenständigen Anhäufungen von Landpflanzenresten hervorgegangen sind, bedeutete noch lange nicht die Endlösung des Kohlenbildungsproblems. Man sah sich nun erst recht am Anfang und

war plötzlich vor eine Fülle neuer Fragen gestellt; ihre wichtigste war noch immer, wo und wie diese Pflanzenreste zur Ablagerung und Erhaltung kommen konnten.

1. Das Schicksal toter Pflanzensubstanz an der Luft. Der Kreislauf des Kohlenstoffs.

Steinkohlenflöze erreichen in Deutschland Mächtigkeiten von 12 m und mehr (Oberschlesien); die weniger umgewandelten und in ihrer Substanz noch nicht so verdichteten Braunkohlenflöze können sogar an die 100 m stark werden (Rheinland, Geiseltal b. Halle). So mächtigen Kohlschichten entsprechen aber noch mehrfach größere Anhäufungen pflanzlichen Urmaterials.

Man stand damit voll Staunen vor einer über alle Maßen gewaltigen *Produktionsleistung* der vorweltlichen Pflanzen; Wälder von einer unfaßbar hemmungslosen Wachstumskraft mußten sich unzählige Jahrtausende hindurch förmlich überwuchert haben. Nicht einmal die grüne Hölle tropischer Dschungel, geschweige denn die Pflanzenwelt gemäßigter Breiten schienen in der Gegenwart einer so ungebändigten Lebensfülle vergleichbar. Kurz und bündig: *Man betrachtete zunächst die Kohlenbildung als Folge einer in der Urzeit besonders gesteigerten Leistungsfähigkeit der pflanzlichen Stoffbildung* durch eine erdgeschichtlich nur ab und zu verwirklichte und der Gegenwart fehlende Verknüpfung günstiger Wachstums- und Ernährungsbedingungen. Ein feuchtwarmes, *tropisches Klima* wurde als selbstverständlich vorausgesetzt -- zumal sich solche Verhältnisse bei vielen (aber wie wir wissen nicht allen!) Kohlenvorkommen sehr wahrscheinlich machen oder sogar erweisen lassen (karbone Steinkohlen besonders Europas und untertertiäre Braunkohlen Mitteldeutschlands). Tropische Wärme herrschte nun freilich zu allen Zeiten wie auch heute noch über weiten Gebieten des Erdballs, während die Kohlenbildungen Europas eine besondere Bindung an zwei erdgeschichtliche Epochen zeigen: An das *Oberkarbon* und an das *Tertiär*. Beide Zeitabschnitte

waren überdies durch große *Gebirgsauffaltungen* und sehr rege *vulkanische Tätigkeit* ausgezeichnet. Mit diesen Vorgängen glaubte man besonders günstige Ernährungsverhältnisse für die damalige Pflanzenwelt in Zusammenhang bringen zu können.

Die Heraushebung der Gebirge sollte durch reiche *Zufuhr mineralischer Nährsalze* die Vegetation der umliegenden Niederungen zu besonderer Üppigkeit angeregt haben. Auf diesen Gedanken kam man durch den ziemlich offenkundigen räumlichen Zusammenhang der großen europäischen Steinkohlenfelder mit dem Verlauf des damals entstandenen varistisch-amerikanischen Gebirges, eine Beziehung, die später eine wesentlich andere Erklärung finden sollte (vgl. S. 105).

Ebenfalls abwegig war eine zuerst von A. v. HUMBOLDT, dann von dem schwedischen Chemiker SVANTE ARRHENIUS vertretene Ansicht. Nährstoff für die Pflanzen sind nicht allein wasserlösliche Mineralstoffe und das Wasser selbst, sondern nicht minder der geringe Kohlendioxidgehalt der Luft, aus dem die Gewächse ihren ganzen Kohlenstoffbedarf decken müssen (vgl. S. 70). ARRHENIUS dachte sich nun das Stoffbildungsvermögen der karbonen wie der tertiären Pflanzenwelt durch einen *höheren Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre* belebt. Diese angeblich veränderte Luftzusammensetzung suchte er durch den gewaltigen Vulkanismus jener Epochen zu erklären, bei dessen Ausbrüchen nach den Erfahrungen an heutigen Vulkanen große Mengen von Kohlendioxid aus dem Erdinnern freigeworden sein mußten. Diese Annahme scheint auch deshalb bestechend, da es gärtnerisch tatsächlich gelingt, die Ertragsfähigkeit von Kulturgewächsen durch eine solche Kohlendioxiddüngung zu steigern.

Beide Annahmen müssen nun aber jedem überflüssig erscheinen, der jemals die Urwälder feuchtwarmer Tropengebiete in ihrer Üppigkeit kennengelernt hat. Ihre Lebensfülle in der Ausnützung des Raumes, die Gewaltigkeit ihrer Lebensformen ebenso wie ihr Wachstumstempo wären zweifellos keiner weiteren Steigerung weder durch zusätzliche Bodendüngung noch durch Kohlendioxidzufuhr fähig. Trotzdem bildet sich auch in ihnen keine Ablagerung von Kohle, während umgekehrt in der jüngeren Tertiärzeit unter einem zum Teil schon recht gemäßigten Klima sehr ansehnliche Braunkohlenflöze entstanden sind. *Wir befinden uns überhaupt auf ganz falscher Fährte, solange wir an einen Zusammenhang der Kohlenbildung mit einer besonders erhöhten Leistungsfähigkeit der Vorzeitpflanzen glauben*; wir werden gleich erkennen, warum.

Eine Pflanzengemeinschaft, in der uns die Macht und Größe pflanzlicher Stoffproduktion auch in gemäßigten

Breiten eindrucksvoll vor Augen tritt, ist *der Wald*. Seiner Betrachtung werden wir uns so lieber zuwenden, weil der Holzgehalt vieler Braunkohlenflöze und die versteinerten Baumstücke der Steinkohlenlager bezeugen, daß Wälder an der Entstehung dieser Bildungen beteiligt waren.

Entstehen nun in den Wäldern Anhäufungen pflanzlicher Stoffe, deren Umwandlung schließlich zur Bildung von Kohlenflözen führen könnte? Wir wissen, welche Unmenge pflanzlicher Produkte im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte aus den Kulturwäldern, den Forsten entnommen wurde: an Holz und Reisig, als Streu an Blättern und Nadeln. Wir müssen also Wälder aufsuchen, in denen sich alle diese Stoffe ohne störenden Eingriff des Menschen im Laufe der Jahrtausende anhäufen konnten, *Urwälder*, in denen Leben und Sterben der Pflanzen seit Urzeiten sich selbst überlassen blieb. Es gibt solche Naturwälder auch heute noch in Europa: Im Böhmerwald, in den Alpen und Karpaten, in den Weiten des polnischen und russischen Raumes usw. Wenn wir nun den Boden, auf dem ein solcher Wald seit Urzeiten wurzelt, näher untersuchen, werden wir etwas zunächst sehr Erstaunliches feststellen können. Viele tausend Male deckte der herbstliche Laubfall den Waldgrund mit dichter Schicht von Blättern und Nadeln; Stamm- und Astwerk aller Bäume kamen auf ihm zur Ruhe, wenn ihr Lebenskreis beendet war. Allüberall sind denn auch gestürzte Stämme und wirres Gestrüch zu sehen. Und trotzdem — wo wir auch in den Boden graben, allüberall stoßen wir bald auf das mineralische Erdreich zersetzten Gesteins. Unter der vom jüngsten Laubfall stammenden Blätterschicht liegt nur eine dünne, wenige Zentimeter oder höchstens Dezimeter mächtige Schicht von braunem lockerem „Humus“; sie besteht in ihren oberen Teilen noch deutlich aus zerkleinerten Blatt- und Nadelstücken, aus Splintern zerfallenen Holzes und undeutlichen Fasern. Bald darunter aber erkennt man schon keine Andeutung pflanzlicher Formen mehr, hier liegt nur eine Schicht dunkler, vergänglicher, aber von oben her sich erneuernder Modererde, in die sich mehr und mehr mineralische Stoffe in Sandkörnchen, Glimmerplättchen oder Tongekrümel men-

gen, bis diese schließlich allein herrschen und keine Beimischung organischer Substanz mehr erkennen lassen. *Kaum etwas von dem, was der Wald in langer Zeit dem Boden übergab, blieb bestehen, alles verging.* Nicht anders als in unseren europäischen Urwäldern ist es in denen des gemäßigten bis subtropischen Nordamerika oder Ostasien, die im Hinblick auf die vielfältige Zusammensetzung ihrer Pflanzenwelt den Kohlenwäldern der Tertiärzeit viel vergleichbarer sind. Und genau so ist es schließlich auch in den undurchdringlichen Regenwäldern der Tropenzone. Mag hier der Eindringling auch knietief im lockeren Mulm toter Pflanzenreste versinken — nicht sehr tief darunter liegt auch hier der reine Verwitterungslehm des mineralischen Untergrundes.

Die organischen Stoffe, Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und Sauerstoff, sind also an der Luft nicht beständig, sie vermodern und verwesen; es bleibt nichts Festes, Kohlignes von ihnen zurück. Wie ihr Aufbau, so erfolgt auch ihr Abbau durch das Leben. Unzählige tierische und des Blattgrüns entbehrende pflanzliche Organismen machen sich den Stoffaufbau der toten Pflanze zunutze und halten mit der in ihm gespeicherten Energie (vgl. S. 70) ihr Lebensgetriebe in Gang. Käfer, Ameisen, viele andere Insekten samt ihren Larven und unzählige andere Tiere nagen und bohren im toten Holz und durchwühlen die Blattstreu; die Fadengeflechte der Pilze durchwuchern das vermorschende Holz, das modrige Laub. Alles wird zerfressen, gelockert, zernagt und aufs äußerste zerstückelt. Jeder morsche alte Baumstumpf zeigt beim Aufbrechen seines braunen, aller Festigkeit beraubten Holzes eine unendliche Fülle sichtbaren kleinen Lebens. Viel umfassender noch ist die alles durchdringende Tätigkeit der mikroskopisch kleinen Pilze und Bakterien, die in vielartig gestuften Formen des Stoffwechsels auch den letzten Energierest ausnützen. In diesem Getriebe des zerstörenden Lebens ist in großartiger Arbeitsteilung jedem seine Rolle zugewiesen; aller Bedürfnisse ergänzen sich oder schließen sich lückenlos aneinander, bis der letzte Rest gespeicherter Spannkraft verbraucht wurde und der verwickelte organische Stoffaufbau der höhe-

ren Pflanze, aber auch der ihrer Zerstörer in seine flüchtigen Urbestandteile zerlegt ist und als Kohlensäure (CO_2), Wasser (H_2O), Ammoniak (NH_3) und einfache Schwefelverbindung sich wieder der unbelebten Natur einfügt.

Keine Gemeinschaft höherer Pflanzen könnte auf die Dauer ohne diese „*Mineralisierung*“ der organischen Stoffe bestehen. Die grüne Pflanze kann ja organische Stoffe nicht wieder verwerten; ihre Wurzeln sind auf die Zufuhr anorganischer, mineralischer Nährsalze angewiesen. Die Pflanzenwelt müßte schließlich über den unverwesten Resten früherer Generationen verhungern, zumal auch der Kohlensäuregehalt sich inzwischen durch die vorgeschrittene Bindung an feste organische Massen sich auf ein ungenügendes Minimum verringert hätte. Alles Leben jeder Art würde schließlich über einem gigantischen Leichenfeld erstarren, soweit es sich überhaupt hätte entwickeln können.

Das wesentlichste Ergebnis unserer Betrachtungen ist der ständige *Kreislauf des Kohlenstoffs in der Natur*. Als Kohlensäure (CO_2) kam er zu Urzeiten aus dem Erdinnern und strömt heute noch aus Erdspalten und Vulkankratern der Atmosphäre neu („juvenil“) zu; durch die Lebenstätigkeit der Organismen wird er vorübergehend in festen oder halbflüssigen organischen Substanzen gespeichert, weiterhin aber nach unzähligen Verwandlungen durch gleichfalls lebensbedingte langsame Verbrennungsvorgänge („Atmung“) in die Atmosphäre zurückgeführt. Keine auch noch so gesteigerte Stoffproduktion der Pflanze könnte diese Gesetzmäßigkeit beirren. *Nur wo der Kreislauf des Kohlenstoffes durch Kräfte der unbelebten Natur unterbrochen wird, kann es zur Kohlenbildung kommen.* Die Zerspaltung organischer Stoffe in ihre Urbestandteile beruht auf Oxydationsvorgängen und damit auf der Möglichkeit ausreichenden Sauerstoffzutritts. Ein dauerndes *Erhaltenbleiben* oder sogar eine *zunehmende Ansammlung toter Pflanzen- und Tierkörper ist also nur bei weitgehendem Luftabschluß* denkbar. Ohne Zuhilfenahme sofortiger mineralischer Überdeckung kann organische Substanz nur durch Tränkung oder Überflutung mit Wasser jenem ewigen Kreislauf des wichtigsten Elements entzogen werden. Da andererseits aber feststeht, daß Land- und nicht etwa Wasserpflanzen die Flöze gebildet haben und weiterhin diese Landpflanzen zweifellos nicht zusammengeschwemmt wurden, sondern an Ort und Stelle gewachsen sind, kann nur

eine „Vegetation zwischen Wasser und Land“ das Urmaterial der Kohlen geliefert haben :

Es ist die Pflanzenwelt der Moore, deren Reste fortdauernd im Wasser „ertrinken“ und sich im Laufe der Zeit zu mächtigen Schichten von Torf anhäufen. Die Kohlenflöze sind nichts anderes als umgebildete Torflager der Vorzeit!

2. Die Erhaltbarkeit organischer Stoffe unter Wasser. Ablagerungen der Seen und Moore: Gytija und Torf.

Man kann *die Moore* von verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten und näher kennzeichnen. *Landschaftlich* bedeutet „Moor“ ähnlich wie „Sumpf“ ein vernäßtes, von einer Vegetation besonderer Prägung besiedeltes Gelände, auf dem immer wieder auch einmal das blanke Wasser zutage tritt oder doch mindestens gleich unter der begrüneten Oberfläche steht. Für den *Botaniker* ist das Moor die entsprechend gekennzeichnete Umwelt (der „Standort“) einer Gemeinschaft von Pflanzen mit gleichartigen oder sich ergänzenden Bedürfnissen, die an einen solchen „Standort“ mit seiner Nässe und seinem aus organischen Resten bestehenden Boden besonders angepaßt sind oder sich diesen Bedingungen mindestens anpassen können. *Die Geologie wiederum sieht im Moor die Bildungsstätte des Torfes*, einer braun bis fast schwarz gefärbten, dicht verfilzten oder auch mehr erdigen Ablagerung von unvollständig zersetzten organischen Resten, wie sie von der Pflanzengemeinschaft des Moores fortdauernd dem wasserdurchtränkten Boden übergeben wurden und in ihm zur Erhaltung kamen.

Die Moorkunde, an der verschiedene Forschungsrichtungen im Austausch von Frage und Antwort beteiligt sind, ist heute ein sehr ausgedehntes und vielseitiges Wissensgebiet, das mit überaus feinen Unterscheidungen arbeitet; die Moore nämlich sind im Bewässerungsgrad des Bodens, in der Zusammensetzung und dem Gesamteindruck ihrer Pflanzenwelt und damit auch in der Art ihrer organischen Ablagerungen das Wandelbarste und Verschiedenartigste, das man sich denken kann.

Wir können für unsere Zwecke zwei Haupttypen unterscheiden: *Niedermoore* (auch Niederungs- oder Flachmoore genannt) und *Hochmoore*. Niedermoore sind vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens, und zwar vom Hochstand des Grund-

wasserspiegels abhängig; die Hochmoorbildung hingegen ist unter allen Umständen an ein luftfeuchtes, nicht allzu warmes Klima, vor allem also an atmosphärische Feuchtigkeit gebunden.

Über die wechselnde Beschaffenheit der Moore, die gesetzmäßige Verknüpfung ihrer Abarten und Entwicklungszustände und über die Beschaffenheit ihrer organischen Ablagerungen müssen wir uns im Rahmen einer etwas weiter ausgreifenden Betrachtung der *Verlandungsvorgänge* an Gewässern unterrichten; dabei bietet sich Gelegenheit, auch den organischen Ablagerungen der freien stehenden Gewässer einige Aufmerksamkeit zu widmen.

Eine durch geologische Vorgänge neu entstandene *Hohlform* des Bodens¹ füllt sich schließlich bei genügend hohem *Grundwasserstand* mit Wasser und wird zum *See*. Ein solches Gewässer wird zunächst völlig frei von Pflanzen und Tieren sein, und auf seinem Grund wird sich nur rein mineralisches Material ablagern können. Unter der Gefällezone der Ufer entstehen aus dem eingeschwemmten und eingewehten Verwitterungsschutt der Gesteine Schichten von Kies, grobkörnigen und schließlich feinkörnigen Sandes; weiter entfernt von den Ufern setzen sich die ganz feinen und lange schwebefähigen Produkte der Gesteinsverwitterung, feine Einschlammungen und hereingewehter Staub in tonigen Schichten ab. Schließlich wird das Gewässer aber ebenso wie das umliegende Land zunehmend vom Leben erobert. Die Gegenden um das Ufer werden von Wiese, Gesträuch und dann von Wald besiedelt, feuchtigkeitsliebende Gewächse nehmen die Uferzone ein, und das Gewässer selbst wird von mikroskopisch kleinen, doch überaus vielgestaltigen Wesen pflanzlicher und tierischer Art belebt, die im Wasser schweben und es schließlich — wenn der Nährstoffgehalt des Wassers günstig ist — in ungeheurer Menge und Artenzahl bevölkern können. Die grüne oder blaugrüne Färbung vieler

¹ Solche Geländeformen sind z. B. in Norddeutschland in großer Zahl durch die schürfende Tätigkeit der Eiszeitgletscher entstanden. Als teilweise vermoorte Seen schaffen sie den jeden Naturfreund anziehenden Reiz der Landschaft.

stehender Gewässer rührt von dieser *schwebenden*, als *Plankton bezeichneten Kleinlebewelt*, an der auch viele niedere Pflanzen, ein- oder wenigzellige Algen teilhaben. Wenn sich genügend Plankton entfaltet hat, werden sich sehr bald vielerlei höher organisierte Tiere einstellen, deren unmittelbare oder mittelbare Nahrung eben das Plankton ist, wie Würmer, Muscheln und Schnecken, Insekten und Krebstiere, Lurche und Fische usw., die das Wasser durchschwimmen, auf seinem Boden kriechen, ihn durchwühlen oder auf ihm verankert sind. Zusammen mit dem Absatz mineralischen Materials: der Tontrübe des Wassers oder durch die *Lebensfähigkeit der Algen ausgefällten Kalkschlammes* (vgl. S. 4) gelangen nun fortdauernd auch die *Reste der Lebewesen selbst* auf den Grund des Sees. Sie können hier einem ganz verschiedenartigen Schicksal verfallen, das sich nach dem *Sauerstoffgehalt der bodennahen Wasserschichten* richtet. Wenn diese Zone durch Strömungen oder durch tiefgreifende Wellendurchfurchung des Wassers gut durchlüftet ist, dann werden die organischen Stoffe unter Mitarbeit vieler vom Abfall lebender Tiere und der alles zersetzenden Bakterienwelt *verwesend* und in ihren einfachen, flüchtigen Urbestandteilen dem Kreislauf der Stoffe verfallen. Nur die mineralischen Skelete und Hartkörper der Tiere und Pflanzen können übrigbleiben, so die Glasgehäuse der Kieselalgen, die Nadeln gewisser Süßwasserschwämme, Muschel- und Schneckenschalen, die Knochenskelete der Wirbeltiere. Sie können sich, mehr minder vermengt mit mechanisch eingedrifteter oder chemisch ausgefällter Mineralsubstanz, im Lauf der Zeit zu ansehnlicheren Schichten anhäufen.

In ruhigen und stillen Seen oder Seenbuchten ist aber diese für die aufarbeitende Tätigkeit der Verwesungsorganismen nötige *Durchlüftung der Tiefenzonen sehr mangelhaft*; das Leben beschränkt sich auf wenige durch Eigentümlichkeiten ihres Blutes an *Sauerstoffarmut* angepaßte Wesen, welche aus der organischen Masse die verdaulichen Stoffe (hauptsächlich N-reiche Eiweißverbindungen) auswählen, dabei den Schlamm durchwühlen und ihre Kotballen als Lebenszeichen hinterlassen. Dieses karge Leben sauerstoffarmer Zonen ist

bei weitem nicht imstande, der zu gewissen Jahreszeiten besonders gehäuft anfallenden Reste Herr zu werden, zumal ihr Atmungsverbrauch den verfügbaren Sauerstoff noch weiter vermindert. Die organischen Reste verfallen also unter solchen Umständen nur einer auf besonders labile Stoffe beschränkten Teilerzersetzung unter geringem Sauerstoffzutritt, zumal gerade die im Wasser lebenden Organismen, niedere Pflanzen (Algen) ebenso wie die Tiere, sich durch einen hohen Gehalt an recht widerstandsfähigen *Fett- und Eiweißstoffen* auszeichnen. Gerade solcherlei Substanzen steuern nun aber auch die stofflich sonst ganz andersartigen Pflanzen des umliegenden Landes zur Ablagerung bei, und zwar in ihrem Blütenstaub, der alljährlich in großen Mengen von den benachbarten Wäldern weit über die Wasserfläche hin verweht wird, sich auf ihr fängt und schließlich in die Tiefe sinkt (vgl. S. 66). Ein Großteil dieser fett- und eiweißreichen Reste bleibt also erhalten, und zwar in diesem Fall nicht nur als Substanz, sondern reichlich *auch der Form nach*. Jene Stoffe scheinen nämlich bei Umbildung unter schwachem Sauerstoffzutritt eine Art Gerbung zu erfahren, durch die sie gegen die weiterhin einsetzenden Angriffe der *Bakterienwelt sauerstofffreier Bodenzonen* widerstandsfähig werden. Immerhin erfahren sie eine gewisse stoffliche Umwandlung im Sinne starken Sauerstoffverlustes, wobei sich neben C vor allem H anreichert. Dieser Vorgang, der auch bei der im folgenden beschriebenen, zum Formenverlust führenden Umbildungsart stattfindet, wird als Fäulnis oder *Bituminierung* bezeichnet. Soweit dabei, wie im vorliegenden Fall, ein großer Bestand an Algenkörpern, Pollenkörnern und Sporen oder tierischen Weichteilen mehr minder gut mit Struktur erhalten bleibt, führt das entstandene Sediment den heute allgemein üblichen Namen „*Gyttja*“ oder „*Halbfaulschlamm*“. Wir werden auf diese sehr interessante Art von organischen Ablagerungen noch bei der Behandlung einiger merkwürdiger Kohlentypen zurückkommen (S. 136).

Bei den besprochenen Umbildungen in der sauerstoffarmen Tiefe entsteht auch *Schwefelwasserstoff* (H_2S), ein für das Leben überaus schädliches Gas, dessen Anwesenheit weiterhin jeden freien Sauerstoffgehalt im Wasser bzw. in den wassergetränkten Bodenschichten ausschließt. In den

dadurch vergifteten Wasser- oder Bodenzonen ist eine Umbildung der organischen Substanzen allein durch solche *Bakterien* möglich, die *ohne freien Sauerstoff* — also „anaërob“ — existieren können, weil sie den in der Substanz selbst *gebundenen Sauerstoff* für ihren Atmungsprozeß zu nützen verstehen. Die anaërob-bakteriellen Zersetzungsvorgänge sind durch den geringen verfügbaren Vorrat an gebundenem Sauerstoff sehr eng beschränkt und daher sehr unvollständig. Verläuft nun die obere Grenze der durch H_2S vergifteten Zone im Bodenschlamm, dann erfahren die anfallenden Fett- und Eiweißstoffe über ihr als Gytija die beschriebene Vorergerbung und bleiben auch nach ihrer Versenkung in den Schwefelwasserstoffbereich geformt als Gytija erhalten. Anders kommt es aber, wenn auch schon die unteren Wasserhorizonte mit Schwefelwasserstoff versetzt sind, die absinkenden organischen Substanzen also unmittelbar in diesen Bereich der anaërob-bakteriellen Umbildung gelangen. Sie werden dann unter *völligem Strukturverlust* in flüssige und z. T. auch gasförmige Kohlenwasserstoffe erdölähnlicher Beschaffenheit überführt; es entsteht ein von diesen Umsetzungsprodukten durchsetzter und durch Schwefeleisen (FeS_2) dunkelgefärbter Tonschlamm, der „*Faulschlamm*“ (*Sapropel*) im eigentlichen Sinne. (Früher wurde auch die Gytija fälschlich als Faulschlamm bezeichnet.)

Solche Bildungen werden, wenn sie, wie z. B. heute noch im Schwarzen Meer, großräumig entstehen, als Muttergesteine des Erdöls betrachtet. Mit der Kohlenentstehung haben sie im Gegensatz zu manchen Gytjabilbildungen in keinem Fall etwas zu tun.

Durch die fortgesetzte Ablagerung mineralischer wie organischer Stoffe wird das Gewässer immer seichter, und besonders die Uferzonen werden so verflacht, daß nunmehr eine Gemeinschaft hochorganisierter *Sumpf- und Wasserpflanzen* sich vom Lande her immer weiter in das Gewässer vorschiebt (Abb. 2). Längst haben sich die Vorposten dieser Verlandungspflanzen in großen Beständen frei im Wasser schwimmender oder auch durch lange Fadenstengel mit dem Seengrund verbundener Schwimmgewächse eingestellt. Große randliche Bereiche des Sees sind mit den schwimmenden Blattwiesen der Laichkräuter, Seerosen, des Froschbiß, der Wassernuß und der Seekanne und vieler anderer Wasserpflanzen bedeckt. An diese Vorpostenzone der *Verlandung* schließt sich nach allerlei Übergangsgürteln gegen das Ufer zu das *Röhricht* an, eine Gemeinschaft unter Wasser wurzelnder, aber hoch und aufrecht über seinen Spiegel aufragender Pflanzen, wie Schilf, Binsen, Rohrkolben, hochwüchsiger Gräser und Riedgräser (*Carex*-Arten). Auch die Reste all dieser höheren Schwimm-, Wasser- und Schlammgewächse kommen nun am Grunde der zum „Sumpf“ ge-

wordenen Seebereiche fortlaufend und zunehmend zur Ablagerung. Sie sind chemisch von anderer Beschaffenheit als die Überbleibsel der bisher beschriebenen Wasserorganismen, der Tiere und Algen.

Die Zufuhr organischen Materials nach dem Seengrunde steigert sich nun immer mehr, während die Mineralbeimischung durch die Pflanzenbedeckung des umliegenden



Abb. 2. Verlandungsgürtel am Ostufer des Kurischen Haffs (Ostpreußen). Die schwimmende Wasserpflanze im Vordergrund ist ein gelbblühendes Enziangewächs (*Limnanthemum nymphaeoides*). Aufn. K. Hueck.

Landes und die starke Verminderung des Gefälles auf ein Minimum beschränkt ist. Durch ihre Ablagerungen bereiten die verschiedenartig gestuften *Gürtel der Verlandungspflanzen* einander den Boden und lösen sich in *gesetzmäßiger Aufeinanderfolge (Sukzession)* ab. Die Uferbereiche werden bis an den Wasserspiegel aufgehöhht, das Gewässer eingeengt; die höhere Pflanzenwelt rückt immer weiter vor, bis schließlich mit dem Verschwinden jeder *größeren* frei blinkenden

Wasserfläche der See „erblindet“ und weiterhin zum *Niedermoor* wird. Inzwischen haben die unter dem Wasserspiegel gebildeten Ablagerungen längst einen völlig neuen Charakter erhalten. Fettähnliche Stoffe und widerstandsfähige Eiweißarten, die in so hohem Maß am Körperbau der vorher herrschenden Kleinlebewelt und der Wassertiere beteiligt sind, treten in den Resten der Verlandungsvegetation stark zurück.



Abb. 3. Torfstich bei Neustadt (Donau). Aufn. K. A. Jurasky.

Diese höheren Wasser- und Sumpfpflanzen liefern ebenso wie die Landgewächse neben vielerlei anderen Stoffen, vor allem Zellulose und Lignin (vgl. S. 61 f.), deren Umsetzung unter Wasser andere Wege geht und zu anderen Produkten führt, nämlich zur *Entstehung dunkelbraun bis schwarzbraun gefärbter Stoffgruppen, die als Humussubstanzen bekannt sind* (vgl. S. 84).

Mit dem Erblinden des Sees und seiner Umbildung zum Niedermoor überwiegt die Ablagerung von geformten Resten der Sumpf- und Wasserpflanzen alles andere. Es entstehen

aus ihnen dunkle, verfilzte Schichten, deren Humusgehalt durch Umbildung der Ausgangsstoffe immer mehr zunimmt und die unter der Bezeichnung *Torf* wohl jedem geläufig sind (Abb. 3).

So ein *Niedermoor*, wie wir es uns aus der Verlandung eines Sees entstanden dachten, ist zunächst ein recht nasses Gelände mit einer reichen Vegetation von Sumpfgewächsen, unter denen im Verlauf der weiteren Entwicklung bald



Abb. 4. Riedmoor im südlichen Florida (Everglades). Die Braunkohle wurde zweifellos zum Teil auch von solchen baumlosen Riedmoorstadien, also von „krautigen“ Pflanzen geliefert. Bestimmbare Reste haben sich aber im allgemeinen nur von den baumführenden Moorstadien erhalten. Aufn. J. C. Th. Uphof 1922. Aus Karsten-Schenk: Vegetationsbilder aus Florida. Beitrag Uphof. Jena: Gustav Fischer.

Moose und grasartige Gewächse niederen Wuchses, darunter viele Sauergräser (*Carex*-Arten) das Röhricht und seine vielartige Pflanzenwelt verdrängen und so das Bild des Moores zu größerer Einförmigkeit umgestalten. Sie zeichnen sich vielfach durch horstartig gedrängte Wuchsform aus; dadurch entstehen unzählige Erhöhungen im Moor, die sogenannten Bulten, die mit wasser- und torfschlammgefüllten Vertiefungen, den „Schlenken“, abwechseln. Im übrigen kön-

nen in diesem *baumlosen* „*Riedmoor*-Stadium“ des Niedermoors (Abb. 4), in dem es oft den Charakter einer vernässten „sauren“ Wiese hat, die verschiedensten staudenartigen Gewächse das Bild des Moores über weite Flächen bestimmen, wie neben zahlreichen Moosen z. B. in unseren Breiten Schachtelhalme, Fieberklee (*Menyanthes*), Spierstaude (*Filipendula*), Doldengewächse (*Umbelliferae*) u. a. m. Das richtet sich nicht allein nach den pflanzengeographischen und klimatischen Verhältnissen des Gebietes und dem Vernäsungs- bzw. Bewässerungsgrad des Bodens, sondern vor allem nach den *Ernährungsverhältnissen im Moor*, auf die wir noch einige Worte verwenden müssen. Die Pflanzenwelt des Niedermoors, wie wir es eben schilderten, wurzelt längst nicht mehr in *mineralischem* Boden, sondern auf mächtigen Torfschichten, also auf *organischen* Massen, die sich unter Wasser nur unvollständig zersetzen und dabei saure Humusstoffe liefern, welche die Möglichkeiten der Zersetzung noch weiter einschränken. Dieser Boden birgt an sich keine Ernährungsmöglichkeit für die darauf wurzelnden noch lebenden Pflanzen, da diese ja mit organischen Stoffen nichts anfangen können. Aber diese Torfschichten werden ja vom Grundwasser durchtränkt, das in langsamen Austauschströmungen und durch Diffusionsvorgänge immer wieder *Mineralsalze* zur Nahrung herbeiführt. Ihre Art ist von den im Gebiet vorherrschenden Gesteinen abhängig. Die Pflanzenwelt der Moore kalkreicher Gebiete, z. B. Ober- und Niederbayerns, besitzt eine ganz andere und viel reichere Zusammensetzung als Gegenden, in denen mehr kieselige Gesteine (Granit, Gneis, Schiefer, Sandstein usw.) anstehen.

Es ist wichtig, diese Abhängigkeit der Niedermoore vom Grundwasser wohl zu vermerken; die Hochmoore bieten ganz andersartige Verhältnisse.

Betrachten wir aber zunächst die *Weiterentwicklung des Riedmoors!* Dieses ist nämlich keineswegs das Endstadium, seine Pflanzengesellschaft kein „Schlußverein“. Fortdauernd gelangen ja noch tote Pflanzenreste unter den Wasserspiegel, bleiben hier zum großen Teil erhalten und höhen den Boden immer weiter auf, ändern also seinen Bewässerungs- und

Festigkeitsgrad. Damit wechselt aber auch die Pflanzenwelt weiterhin nicht nur ihre artliche Zusammensetzung, sondern nunmehr auch ihre Lebensformen. Es stellen sich nämlich einzeln und bald darauf truppweise und schließlich in geschlossenem Vordringen auch *holzige Strauchgewächse* und endlich *Bäume* ein, welche an die Eigentümlichkeiten des Moorbodens besonders angepaßt sind oder, unter mancherlei Bedingungen lebend, sich auch solchen Verhältnissen an-



Abb. 5. Birken-Bruchwald in der Schorfheide, Brandenburg.
Aufn. K. Hueck.

passen können. Zur ersten Gruppe gehören in Europa vor allem Faulbaum und Schwarzerle, zu den anpassungsfähigen Formen z. B. Birke und Kiefer. Solche Bäume müssen zunächst die Fähigkeit aufbringen, durch besondere Gestaltung ihres Wurzelsystems auch auf dem schwammigen, schwankenden Moorboden Halt zu gewinnen. So bildet denn auch z. B. die Kiefer, die sich sonst mit einer mächtigen, senkrecht in den Boden eindringenden Pfahlwurzel verankert, auf dem Moor einen waagrecht ausladenden Wurzelstern, der ihr Standfestigkeit verbürgt. Eine weite Sonderheit des Moorbodens ist für die Bäume seine schlechte Durchlüftung; die-

sem Übelstand begegnen jene Bäume durch Atmungslücken (Lentizellen) am Stamm, durch das oberflächliche Hin- und Herstreichen der Wurzeln (Kiefer) oder auch durch die Ausbildung atmender Luftwurzeln (Erle); diese erlangen bei manchen fremdländischen Sumpf- und Moorbäumen, z. B. den Mangrovegewächsen oder der nordamerikanischen Sumpfpypresse *Taxodium distichum*, eigentümliche Formen: Aus dem sauerstoffarmen oder vergifteten Boden werden spitz-



Abb. 6. Alter Sumpfwald von *Taxodium distichum*, der auch in der Braunkohle nachgewiesenen Sumpfpypresse, im nordwestlichen Florida. Zu beachten die basale Verdickung der Stämme und die (in der Mitte des Bildes) aus dem Wasser ragenden Atemwurzeln. Aufn. U ph of (vgl. Abb. 7). Aus Karsten-Schenck, Vegetationsbilder aus Florida. Jena: Gustav Fischer.

kegelige Atemwurzeln (Pneumatophoren) geradeauf in die freie Luft getrieben.

Mit der Besiedlung des Niedermoors durch nässeliebende Baumgesellschaften ist aus dem Ried ein *Waldmoor*, ein „*Bruchwald*“ geworden (Abb. 5); die häufigste Form solcher Sumpfwälder ist in unseren Breiten das Erlenbruch, wie man es in schöner Ausbildung z. B. in der weiteren Berliner Umgegend, in großartigem Maßstab aber im Memeldelta antreffen kann. Weite Teile des atlantischen Nordamerika

werden von Waldsümpfen eingenommen, den sogenannten Cypress swamps, in denen die Sumpfyzypresse (Abb. 6), Nyssa-Bäume, Kiefernarten und andere Gewächse herrschen. In den Waldsümpfen stehen die Bäume oft auf kleinen Erhebungen, zwischen denen freies oder von Sumpfpflanzen überwuchertes Wasser den Boden bedeckt.

Auch im Bruchwald schreitet die Bodenaufhöhung durch Bildung sehr holzreicher Torfe fort, bis schließlich der Grundwasserspiegel und endlich auch die kapillar durchfeuchtete Zone erreicht und damit *der Waldgrund trockengelegt* ist. Der Bruchwald wird nunmehr, ganz nach den sonstigen Umständen, von einer „trockenen“ *Waldgemeinschaft* abgelöst. Sie kann unter normalen Verhältnissen keinen Torf mehr liefern, da ihre Reste ja nun nicht mehr unter den Grundwasserspiegel gelangen, sondern über ihm an der Luft zersetzt werden. Die Bodenbedingungen ändern sich also nicht mehr, der herrschende Waldtyp ist von Dauer, er ist das Schlußglied der geschilderten, mit der Verlandung des Gewässers begonnenen Entwicklung.

Unter einem kühlen und sehr luftfeuchten Klima (Küstenbereiche Norddeutschlands, Höhen der Gebirge) und in Gebieten, deren Untergrund aus nährstoffarmen Kieselgesteinen aufgebaut ist, kann nun in einen solchen Wald — gleichgültig, ob er aus einem Niedermoor hervorgegangen ist oder auf mineralischem Gestein wurzelt — der Keim einer neuen Entwicklung gelegt werden, nämlich der *Hochmoor*-Entstehung. Der Boden ist in solchen Gebieten von Haus aus arm an Nährstoffen; das wenige für die Pflanzen Nutzbare wird überdies durch die reichen Niederschlagswässer ausgelaugt und weggeführt. Es fehlt dem Boden vor allem am Kalkgehalt, der die weiterhin entstehenden sauren Stoffe neutralisieren könnte. Die sonst reiche Lebewelt des Bodens einschließlich luftbedürftiger (aërober) Bakterien verarmt. Ein Großteil der Baumstreu (Blätter und Nadeln) und des anfallenden Holzes bleibt wenig zersetzt liegen. Durch Nebel- und Regenfeuchtigkeit wird der organische Abfall dauernd durchfeuchtet, der Sauerstoffzutritt gehemmt, die unvollständige Zersetzung schafft saure organische Stoffe (Humussäuren), die weiterhin ebenso die Auslaugung fördern wie das Leben der Mikroorganismen stören. So bildet sich schließlich eine Schicht von saurem „Rohhumus“ oder Trockentorf, auf der sich bestimmte Moosarten ansiedeln, vor allem das Weißmoos (*Leucobryum*) und die Torfmoose (*Sphagnum*-Arten). Diese merkwürdigen Pflanzen können mit einem Minimum an Nährstoffen haushalten. Sie besitzen überdies durch eigenartige Kapillarzellen die Fähigkeit, sich wie ein Schwamm mit Niederschlagswasser vollzusaugen. Der Boden wird schließlich völlig vernäßt und vom Luftzutritt gänzlich abgeschlossen. Die Bäume und der Wald kränkeln und sterben schließlich

ab. Baumstümpfe und gestürzte Stämme werden von schwellenden, nassen Moospolstern überwuchert, die immer mächtiger werden und bald einen geschlossenen Teppich bilden. Es entsteht eine insgesamt uhrglasförmig gewölbte, im einzelnen sehr bucklige Moorbildung, ein Hochmoor. Der Name leitet sich von der gegenüber den Rändern deutlichen Hochlage des mittleren Moorteils ab, nicht etwa von der Höhenlage der ganzen Bildung, die nicht an die Gebirge gebunden ist und auch in Niederungslandschaften entstehen kann.

Das Hochmoor birgt neben den ihm eigentümlichen Moosen eine kärgliche Gemeinschaft bedürfnisloser Gräser, Kräuter und Stauden; auch Strauchgemeinschaften, wie die der Krummholzkiefer, und lockerstehende Bäume (Birken, Kiefern) stellen sich schließlich ein.

Auch das Hochmoor liefert mächtige Torfbildungen verschiedener Art, sein Wachstum ist aber immerhin durch die sich immer weiter steigernde Nährstoffarmut und die dadurch immer geringer werdende Stoffproduktion begrenzt. Hochmoore müssen sich natürlich nicht immer aus Wäldern entwickeln, sie können sich auch unmittelbar auf atmosphärisch-vernäßigem Gesteinsuntergrund kalkfreier Beschaffenheit bilden. Sie entstehen oft auch durch die Verlandung solcher Gewässer, wie sie vor allem im Gebirge durch die Ansammlung von Niederschlagswasser in Gesteinsmulden zustande kommen. Teppiche schwimmender Torfmoose leiten hier die Hochmoorbildung ein.

Wichtig ist, daß die Hochmoore im Gegensatz zu den vorher gekennzeichneten Nieder- oder Flachmooren nicht vom nährstoffhaltigen Grundwasser, sondern von *atmosphärischen Niederschlägen* und damit von feuchtkühlem Klima abhängig sind und sich nur über kalkfreiem Mineral- oder Niedermoorboden entwickeln.

Die Kohlenflöze, am augenfälligsten die Braunkohlen, sind ganz zweifellos nicht aus Hochmoortorfen, sondern aus den Bildungen der Niedermoore entstanden, in die sich wohl gelegentlich und ausnahmsweise vielleicht auch Hochmoorschichten eingeschaltet haben können.

Die Niedermoore und ihre Ablagerungen sind für uns also noch genauerer Betrachtung wert. Die Art, wie wir sie und ihren Werdegang vorhin schilderten, ist ein überaus vereinfachtes Schema, dem jetzt noch einige nähere Einzelheiten eingefügt werden müssen. Zunächst ist zu sagen, daß jener völlig geradlinige und lückenlose Verlauf der Entwicklung vom neu entstandenen See bis zum Dauerwald — oder anders ausgedrückt: die Entstehung eines so vollständig und folgerichtig aufgebauten Profils entsprechend verschiedenartiger übereinanderliegender Schichten in der Natur nur vereinzelt verwirklicht werden kann. Ganz abgesehen von störenden *Schwankungen des Grundwasserspiegels*, auf die wir noch näher zu sprechen kommen, kann die Besiedlungsfolge mit

jedem beliebigen Stadium beginnen, also beispielsweise durch Vernässung vorher trockenen Landes mit dem Riedmoor oder auch gleich mit dem Bruchwald. Weiterhin ist ein Moor keine gleichförmige Torfbildungsfläche; es ist, wie die erwähnten Bulten und Schlenken schon erkennen lassen, schon auf kleinstem Raum, ebenso aber auch in großflächiger Verteilung von Erhebungen und Senken durchgliedert, so daß eine *mosaikartige Verschachtelung und Durchdringung der verschiedenartigsten Entwicklungszustände*, Pflanzengesellschaften und Torfbildungsmöglichkeiten gleichzeitig nebeneinander besteht; auf höher gelegenen Teilen mögen sich Riedtorf oder gar Baumtorf abgelagern, während unweit davon im tieferen Wasser stehende Sumpfgewächse herrschen oder sogar noch das Plankton seine andersartigen Stoffe zum Absatz bringt — und anderwärts wieder lokale Hochmoorbildungen sich einschalten.

Die Grundzüge der Moorentwicklung, die Ausbildung und Folge der Einzelstadien und das Gesicht, die „Physiognomie“ ihrer *Vegetation*¹ sind wohl auf den Moorbildungen der ganzen Erde ziemlich ähnlich: sie waren es wohl auch bei den Mooren der Vorzeit, soweit schon eine der heutigen nahe verwandte Pflanzenwelt existierte wie im Tertiär. Die Moore der Karbonzeit freilich werden infolge der Fremdartigkeit ihrer Lebensformen auch in den vergleichbaren Grundtypen einigermaßen abweichend ausgesehen haben (vgl. S. 52).

Was hingegen in der Jetztzeit in den einzelnen Erdregionen wechselt und natürlich auch in den vorzeitlichen Mooren anders war, das ist die *Flora* — die artliche Zusammensetzung vergleichbarer Moorbildungszustände¹. Diese Zusammensetzung richtet sich, ganz abgesehen von dem Nährstoffgehalt des

¹ Was die Pflanzengeographie als *Flora* eines Gebietes bezeichnet, bedeutet die Summe der in ihm vorkommenden verschiedenen Pflanzenarten; diese Arten, von denen jeweils eine Anzahl in besonderer Individuenfülle auftritt, schließen sich zu Pflanzengesellschaften, wie Steppe, Wiese, Riedmoor, Bruchwald, Laub-, Nadel- oder Mischwald zusammen, in denen die Lebensform, der „Habitus“ (z. B. baumförmiger Wuchs) der vorherrschend beteiligten Arten eine bestimmte Physiognomie der Pflanzengesellschaft (z. B. „Wald“) mit sich bringen. Die Gesamtheit der Pflanzengesellschaften eines Gebietes, die sein Landschaftsbild weitgehend bestimmt, heißt „*Vegetation*“.

Bodens, in den einzelnen Teilen der Erde hauptsächlich nach der klimatischen Wärme und ihrer Verteilung über die Jahreszeiten, ferner natürlich auch nach den Gewächsen, die im Rahmen der pflanzengeographischen Lage des Gebietes zur Moorbesiedlung zur Verfügung stehen. Wir haben bis jetzt unsere Beispiele für die floristische Beschaffenheit der Moore der heimischen Pflanzenwelt entnommen. In anderen Erdteilen ist die artliche Zusammensetzung der Moorstadien natürlich gänzlich anders. So ist z. B. die atlantische Küste Nordamerikas von Virginien bis herunter nach dem subtropischen Florida durch weite Sumpfbereiche ausgezeichnet. Darunter finden sich baumlose Riedmoore (in den sogenannten Everglades, Abb. 4), die in der Physiognomie den unseren ähnlich sind, aber natürlich von ganz anderen Pflanzenarten besiedelt werden. Ebenso ist es mit den Sumpfwäldern dieser Gegenden; an die Stelle der Erlenbrüche treten die Zypressensümpfe oder „Cypress swamps“ mit gewaltigen, im Wasser stehenden Bäumen der Sumpfyzypresse (*Taxodium distichum*), *Nyssa*-Arten, Kiefern usw. (Abb. 6, 7). Wir werden noch sehen, daß diese floristisch gut gekennzeichneten Moortypen in ihrer Pflanzenwelt hohe Ähnlichkeit mit den tertiären Braunkohlensümpfen gehabt haben müssen.

Nun noch einige Worte über die heutige geographische Verteilung der Moore, oder besser: über ihren Zusammenhang mit den verschiedenen Klimazonen der Erde. Während die für die Kohlenbildung kaum oder doch nur ausnahms- und einschaltungsweise in Betracht kommenden *Hochmoore* sehr eng an ein bestimmtes Klima und damit in die gemäßigte Zone, in den Tropen an Gebirgshöhen gebunden sind, ist das Klima für die Existenz der im Grundwasserbereich lebenden *Niedermoore* nur in großen Zügen und insofern von Bedeutung, als es die Höhe des Grundwasserspiegels mitbestimmt, oder aber in seinen Extremen einerseits eine zureichende Produktion an pflanzlicher Substanz verhindern kann (arktische Gegenden), andererseits wieder durch allzu rasche Zersetzung die Ablagerungsfähigkeit pflanzlicher Stoffe gefährden kann. In extremen Trockengebieten wird das Grundwasser nicht über die Landoberfläche treten können oder stehende Gewässer werden salzigen, moorfeindlichen Charakter haben; es werden sich dann in ihnen zum mindesten kaum Humusstoffe, sondern u. U. Algengytten oder Faulschlamm ablagern. Unter arktischen Bedingungen ist die Produktion an pflanzlichem Material schon wegen der Beschränkung des Wachstums auf einen kleinen Jahresteil auf ein Minimum reduziert; größere Torflager können hier nicht entstehen. In den Tropen wiederum ist das Wachstum der Pflanzen zwar

sehr üppig, aber auch die zerstörenden, zersetzenden Einflüsse sind hier aufs Äußerste gesteigert.

Was uns früher als vermeintliche Voraussetzung der Kohlenbildung erschien: Tropenklima — das wird nun nach den Erfahrungen aus der Gegenwart geradezu zum Problem. Zweifellos sind nämlich mächtige Kohlenbildungen, z. B. die Braunkohlen Mitteldeutschlands, unter echt tropischen Bedingungen entstanden, obwohl wir aus den angeführten Gründen in den Tropengegenden der Jetztzeit relativ wenige Torfbildungsstätten kennen. Das mag z. T. allerdings auch an der ungenügenden Er-



Abb. 7. Verlandungszone und nachrückendes Sumpfympressen-Waldmoor (vgl. Abb. 6) am Apopka-See, Mittelflorida. (Die Bäume sind mit einem bartflechtenähnlichen Ananasgewächs, der *Tillandsia usneoides*, behangen.) Das Bild zeigt Verhältnisse ähnlich denen, wie sie in den tertiären Braunkohlenmooren geherrscht haben dürften (vgl. auch Abb. 6). Aufnahme J. C. Uphof. Aus Karsten-Schenck, Vegetationsbilder aus Florida. Jena: Gustav Fischer.

forschung größerer Tropenbereiche liegen. Im allgemeinen aber lehrt uns die Beobachtung gegenwärtiger Verhältnisse, daß die gemäßigten und auch noch die subtropischen Klimazonen die besten Bedingungen für die Moorbildung bieten; ein großartiges Beispiel dafür bieten ja die sehr ausgedehnten und früher wohl noch viel umfassender herrschenden Moore Nord-, insbesondere Nordwestdeutschlands, die wir geradezu als Fortsetzung der tertiären Braunkohlenbildung auffassen können.

3. Die Bedeutung von Erdkrusten-Bewegungen für Ausbildung und Wachstum der Torflager.

Moore, und zwar Niederungs- oder Flachmoore, sind die Bildungsräume jener Ablagerungen organischer Substanz, der Torfe, die später zu Kohlenlagerstätten umgebildet werden können (Abb. 3). Zu den *biologischen* Voraussetzungen der Kohlenbildung, dem ungestörten Gedeihen der üppigen Pflanzenwelt des Niedermoore, tritt hier bereits auch eine *geologische* Bedingung: Die vorausgehende *Ausbildung von Hohlformen des Bodens* durch irgendwelche geologische Vorgänge, durch Erosion, also Ausräumung durch Wasser, Gletschereis oder Wind — oder durch Stauung (Gletschermoränen, Bergstürze u. ä.) — durch vulkanische Ausbrüche (Maarbildungen) — durch Einbrüche der Oberfläche infolge von Kalk- oder Salzauslaugung im Untergrund — und schließlich durch *Erdkrustenbewegungen*, sogenannte tektonische Vorgänge, z. B. im Bereich der Gebirgsbildung. Auf allen diesen Wegen können Hohlformen des Bodens geschaffen werden, in denen schließlich das Grundwasser zutage tritt.

Niedermoore können sich nur ganz verflachte Gewässer untertan machen und mit ihren Torfbildungen erfüllen. Ursprünglich tiefer angelegte Hohlformen werden infolge des großen Gefälleunterschieds zur Umgebung mit mineralischen Sedimenten, gegebenenfalls vermischt mit Faulschlammbildungen oder Gytjen ausgefüllt und zu flachen Gewässern umgestaltet, bevor die Pflanzenwelt des Moores von ihnen Besitz ergreifen kann.

Die unter den bisher geschilderten Verhältnissen sich bildenden Torfschichten können also die verhältnismäßig geringe Mächtigkeit von einigen wenigen Metern nicht übersteigen. Eine Torfmasse von etwa $2\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit würde aber erst einem etwa 1 m mächtigen, also kaum abbauwürdigen Braunkohlenflöz entsprechen. Wir sehen daraus, daß *die bisher erläuterten Bedingungen der Moorbildung allein noch nicht ausreichen für die Entstehung wirklich nutzbarer Kohlenlager mit bedeutenden Flözmächtigkeiten*. Wir lernten

bisher zwar die Umstände kennen, unter denen organische Substanzen dem Kreislauf der Stoffe entzogen werden können, aber noch nicht die Bedingungen, die so gewaltige Anhäufungen organischer Reste ermöglichen, daß sie mit unseren großen Braun- und Steinkohlenlagern verglichen werden können.

Die Anhäufung organischer Substanz kann nur dann über jenes engbegrenzte Maß zu größerer Mächtigkeit vorschreiten, wenn sich die Moorbildung nicht auf ruhendem Boden, sondern über fortlaufend sinkendem Untergrund vollzieht.

Die Geologie kennt zweierlei Bewegungsarten von Erdkrustenteilen: Faltung der Gesteine durch seitlichen (tangentialen) Zusammenschub, wie sie im Extrem zur Bildung großer Faltengebirge führt, und zweitens das Zerbrechen großer Krustenbereiche in blockartige Einzelschollen an einem System tiefgreifender Spalten und die weiterhin erfolgende Auf- und Abbewegung der Schollen durch radial gerichtete Kräfte des Erdinnern (Bruchtektonik). Beide Bewegungsarten können miteinander oder nacheinander im gleichen Krustenbereich stattfinden. Solche tektonische Vorgänge sind eine der wesentlichsten Voraussetzungen für die Bildung größerer Kohlenlagerstätten. Sie schaffen die *großflächigen Einnuldungen*, in denen unter einem geeigneten Klima die Moorbildung einsetzen kann; sie ermöglichen weiterhin durch *fortschreitende Übertiefung* dieser Hohlformen die Anhäufung so riesiger Torfmassen, wie sie unseren mächtigen Braunkohlen- und Steinkohlenflözen entsprechen. Schließlich gewährleisteten sie die *endgültige Überdeckung* des Torflagers mit mineralischen Sedimenten und seine *Versenkung in die Tiefe* der Erde.

Um all dies verständlich zu machen und gewisse eigentümliche Erscheinungen in den Kohlenlagern näher erklären zu können, wollen wir uns jetzt die Wirkung solcher Senkungen auf die Pflanzenwelt des Moores und auf das Wachstum der Torfmassen zu ihren Füßen näher überlegen.

Einnuldung eines Gebietes durch Faltungsvorgänge oder als Vorbote großer Einbruchsbewegungen kann zur Ausbildung großer, sich mit Wasser füllender Senken führen, von

denen die Pflanzenwelt der Verlandungszonen und schließlich die des Niedermooses für lange Zeit Besitz ergreifen kann, wie wir das oben schon ausführlich schilderten.

Vielfach aber wird die Einmuldung, die Herausbildung der Hohlform, so langsam einsetzen und vor sich gehen, daß sich die Senkung nur in einem Ansteigen des Grundwasserspiegels und in zunehmender Vernässung bislang trockenen Landes äußert. Die ursprüngliche Vegetation verkümmert, stirbt ab und wird durch die des Niedermooses verdrängt. Torfbildung, also Ablagerung unvollständig zersetzter organischer Massen setzt ein und trachtet den Boden bis über den Bereich des Grundwasserspiegels aufzuhöhen. Aber dies gelingt ihr nicht, denn die Eintiefung des Geländes schreitet fort, das *Moorwachstum wird immer von neuem angeregt*, und der gebildete Torf, dessen untere Schichten in immer größere Tiefen absinken, kann sich zu großer Mächtigkeit anhäufen.

Nun sind selbstverständlich die beiden gegenläufigen Vorgänge der Bodenaufhöhung durch Ablagerung und die entgegenwirkende Untergrundsenkung nicht aufeinander abgestimmt, da sie ja von ganz verschiedenartigen, voneinander unabhängigen Kräften bewirkt werden. Der Senkungsvorgang (und damit das entsprechende Ansteigen des Grundwasserspiegels) kann mehrfach sein Tempo ändern und durch längere Zeit auch zur Ruhe kommen. Diese *wechselnden Verhältnisse* sind dann von großem Einfluß auf die Entwicklung, das Vegetationsbild und die Lebensdauer des Moores; sie bestimmen dadurch auch die Verschiedenartigkeit der entstehenden Torfe, ihre Mächtigkeit, den Abschluß und gegebenenfalls die Wiederholung der Flözbildung. Diese Dinge — an sich schon sehr interessant — ermöglichen erst ein volles Verständnis für das Bild, das der Aufbau der Kohlenflöze, ja die ganze Kohlenlagerstätte bieten. Wir wollen daher einige mögliche Fälle in schematischer Kürze überlegen:

1. Die *Senkungsgeschwindigkeit ist kleiner* als die gegenläufige Bodenaufhöhung durch Ablagerung pflanzlichen Materials. Die Aufeinanderfolge (Sukzession) der verschiedenen Pflanzengesellschaften findet dann in der normalen Reihen-

folge statt, wie wir sie in einem Moor auf ruhendem Boden kennengelernt haben — jedoch mit entsprechender *Verzögerung*. Das Endstadium der Entwicklung bilden Waldmoore. Die Torfbildung wird nicht begrenzt.

2. *Senkungs- und Aufhöhungsgeschwindigkeit halten einander die Waage*: Ihre Wirkungen heben sich gegenseitig auf. Die Sukzession der Pflanzengesellschaften wird fortlaufend verhindert; das jeweils verwirklichte Moorstadium (Riedmoor, Sumpfwald) bleibt *beständig*. Die Mächtigkeit des Torflagers kann unbeschränkt wachsen.

3. Die *Senkung beginnt über die „Liefergeschwindigkeit“ der Pflanzenreste hinauszugehen*, sie kann nicht mehr voll durch Torfbildung kompensiert werden. Die Gesellschaftsfolge wird dann *rückläufig*. Hatte die Vegetation des Moores beispielsweise den Typ des *Sumpfwaldes* erreicht, so wird sie nunmehr wieder in ein *baumloses* Vorstadium (Riedmoor, Röhrichtsumpf) zurückgeführt und so weiter, bis wieder *offenes Wasser* die Herrschaft an sich reißt und mit zunehmendem Gefälle schließlich wieder *mineralische Ablagerung*, gegebenenfalls unter Zwischenschaltung von Gyttjabildungen, eingreift. *Die Flözbildung wird damit beendet*. Versetzen wir uns diesen Vorgang in die erdgeschichtliche Vergangenheit, denken wir uns den Torf in Steinkohle, den Ton in Tonschiefer, Sand in Sandstein verwandelt — dann bietet uns das ehemalige Torflager das Bild eines Kohlenflözes, dessen obere, „hangende“ Partien immer unreiner, immer reicher an Mineralsubstanz („Asche“) werden, bis auch dieser noch durchaus kohlenähnliche schwarze „Brandschiefer“ in reines Mineralgestein, z. B. in Tonschiefer, übergeht.

Es gibt nun — wie erwiesen werden konnte — nicht nur langsame und gleitend-fortwirkende Senkungen des Untergrundes; man kennt auch *ruckartig einsetzende, sogenannte „instantane“ Bodenbewegungen*, deren Folgen sehr auffällig im Bild der fertigen Ablagerung hervortreten können. Wenn sie nur Beträge von wenigen Metern erreichen, wird die Ablagerung der organischen Reste zwar nicht unterbrochen, aber die Entwicklung des Moores plötzlich auf einen früheren Stand zurückgeworfen, von wo sie neu ausgehen muß.

Betrifft nun eine solche instantane Senkung ein von einer waldartigen Pflanzengesellschaft (Sumpfwald, „Trocken“-wald) besiedeltes Gelände, dann steigt der Grundwasserspiegel plötzlich um den entsprechenden Betrag an der Basis der Stämme, der Wald stirbt ab (Abb. 8); an der durch Ka-



Abb. 8. Entstehung von Stubbenhorizonten in Gegenwartsmooren (Granitz auf Rügen). Durch starken Grundwasseranstieg im Laufe weniger Jahre „ertrunkene“ Birken; die Bäume sind bereits entlaubt und tot und werden bald an der Durchfeuchtungsgrenze abfaulen und niederbrechen, während ihre Stümpfe unter dem Spiegel des vermoorenden Gewässers erhalten bleiben und in Torf gebettet werden. Aufn. Aug. Thienemann.

pillarwirkung und durch Wellenschlag durchfeuchteten Zone über dem Grundwasserspiegel beginnt das Holz der Stämme zu vermodern und abzufaulen. Die vermorschten oberen Teile des Stammes brechen nieder und stürzen in das Moor-gewässer. Die unter Wasser gesetzten Baumstümpfe hingegen bleiben ohne größere Zerstörungen erhalten, sie werden weiterhin mumifiziert, von der weiterwachsenden Torfmasse umhüllt und umschlossen. *So kamen in den großen Braun-*

kohlenflözen Deutschlands ganze Waldböden fossil zur Erhaltung mit aneinandergereihten Baumstümpfen [Stubben (Abb. 9), Stubbenhorizonte (Abb. 10)] und dazwischenlie-



Abb. 9. Baumstumpf in der Braunkohle (Oberflöz) von Grube Ilse, N.-L., 1928. Aufn. Grube Ilse.



Abb. 10. Durch Abraumbagger freigelegte Oberfläche eines Braunkohlenflözes. Fossiler Waldboden (Stubbenhorizont); Baumstümpfe zum Teil von Mammutbäumen (*Sequoia sempervirens*). Welzow, N.-L. Aufn. Eintritt A.-G.

genden niedergebroschenen Stämmen; oft ist sogar in der Braunkohle noch die aus Blättern und Nadeln aufgebaute Streu des ehemaligen Waldes infolge der plötzlichen Wasserüberflutung und Versenkung aufbewahrt worden und noch deutlich zu erkennen (vgl. Abb. 27).

Die Moor- und Torfbildung kann mit der ruckartigen Versenkung eines auf mineralischem Verwitterungsboden wurzelnden Waldes *beginnen*; dann ist bereits an der Basis des Flözes ein solcher Stubbenhorizont zu erkennen. Die das Flöz unterlagernde Gesteinsschicht, z. B. Ton oder Tonschiefer, zeigt sich dann von einem in kohlige Substanz verwandelten Wurzelwerk durchzogen oder — wenn die organischen Stoffe längst flüchtig entführt worden sind — von röhrenartigen, mit rostfarbigem Belag ausgekleideten Bildungen durchsetzt (Fossile Wurzelböden).

Wenn ruckartige Senkungen größere Beträge erreichen, dann können sie zur Entstehung *offener Gewässer* über dem versunkenen Torfflöz und zur Herausbildung starker Gefällsunterschiede führen; *durch die Zufuhr und Ablagerung von Mineralstoffen kommt die Flözbildung zum Abschluß*. In scharfem Wechsel, also ohne Übergang, breiten sich dann über das Torflager Ton- und Sandschichten; das spätere Kohlenflöz zeigt sich oben „wie abgeschnitten“ und von Tonschiefer oder Sandstein überlagert.

Bestand zuletzt ein Wald auf dem Moor, dann ragen seine Baumstubben vom Flöz her in das mineralische Hangendgestein; dieser Fall ist oft nicht nur über Braunkohlenflözen verwirklicht (Abb. 10), er kann auch über karbonen Steinkohlenflözen ab und zu beobachtet werden. Obwohl in diesem Fall die organische Struktur des ehemaligen Holzes infolge der schon weit vorgeschrittenen Umwandlung völlig unkenntlich geworden ist, sind die Stubben doch hier durch eine Eigentümlichkeit im Bau vieler karboner Bäume kenntlich geblieben. Die Stämme jener Bäume waren nämlich z. T. röhrenförmig gebaut und besaßen einen weiten inneren Markhohlraum, etwa wie ein in mächtigen Dimensionen gedachter Bambusstamm; diese Kernhöhle wurde mit mineralischem Material (z. B. Sand) ausgefüllt, das später zum Gestein verhärtete. Oft werden im Hangenden der im Abbau befindlichen Steinkohlenflöze solche *Ausgüsse oder „Steinkerne“* angetroffen. Vielfach zeigen sie an ihrer Oberfläche noch getreu die inneren Skulpturen der Lepidodendren, Sigillarien oder Riesenschachtelhalme (Kalamiten) (Abb. 11, 14), die in der damaligen Vegetation so führend hervortraten (s. S. 53). Oft aber ist ihre mit kohligem Belag versehene Oberfläche durch die Setzung der Kohlen- und Gesteinsschichten glatt gescheuert („Harnisch“-Bildung), sie

sitzen überaus locker im „Dach“, rutschen bei Erschütterungen heraus und können so Veranlassung zu Unglücksfällen geben („Sargdeckel“).

Das geschilderte Wechselspiel der Ablagerung bald organischer, bald mineralischer Stoffe kann sich in allen seinen Abwandlungen mehrfach nacheinander wiederholen, und so erklärt sich das Bild unserer großen Steinkohlenlagerstätten mit ihren in großer Zahl übereinanderfolgenden Flözen



Abb. 11. Baumstumpf (Steinkern) einer *Sigillaria* im Hangendgestein eines westfälischen Steinkohlenflöztes.

Aufn. Zeche Julia.

Aus P. Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Kohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

wechselnder Mächtigkeit. Die Störung der Flözbildung durch Mineralzufuhr war zuweilen kurz und bald vorübergehend: Das Flöz zeigt nur eine schwache Einschaltung von Sand- oder Tongestein, ein „Mittel“.

Manche Flözmittel können auf Aschenfälle von Vulkanen zurückgeführt werden, so im Sudetenland (Braunkohle) und im Zwickauer Steinkohlenrevier („Lehestreifen“).

Der für die Erhaltung der Ablagerungsmächtigkeit so wichtige *Stand des Grundwasserspiegels* ist nicht allein von den *Bodenbewegungen*, sondern auch *mehr minder vom Klima und seinen Schwankungen abhängig*. Auf diesem Umweg kann auch ein Trockener- oder Feuchterwerden des Klimas (wie wir es z. B. mehrmals in der Nacheiszeit annehmen müssen)

in das Leben der Moorvegetation und in den Ablauf der Torfbildung abwandelnd eingreifen.

Aus unseren Überlegungen über die Verlandung der Gewässer und die daran anknüpfende, durch Bodenbewegungen und Klimaänderungen beeinflusste Sukzession der Moortypen geht klar hervor, daß ein Torflager selten oder nie von einer einzigen, über die ganze Fläche des Moores herrschenden, während der vollen Dauer der Torfbildung beständigen Pflanzengesellschaft aufgebaut worden ist, sondern daß nebeneinander und nacheinander sehr verschiedene Moortypen an der Lieferung des Materials sich beteiligt haben mögen. Selbst unter der Voraussetzung, daß die Produkte dieser verschiedenartigen Pflanzengesellschaften keine größeren chemischen Verschiedenheiten aufweisen, müssen sich die von ihnen gelieferten Torfe doch in ihrer Textur und in ihrem *physikalischen* Gesamtverhalten unterscheiden. Tatsächlich läßt jedes Moorprofil schon in dieser Hinsicht die verschiedensten Typen von Torf erkennen; erdige, mulmige, vielleicht aus den feinen Organen zarter Moose aufgebaute Abarten wechseln mit solchen mehr filzig-faseriger Beschaffenheit, die von grasartigen Pflanzen abstammen — und dazwischen schieben sich reichlich mit groben Holzstücken, mit Nadel- und Blattstreu durchsetzte Waldtorfe ein.

Tatsächlich werden diese einzelnen Horizonte auch gewisse *chemische* Unterschiede aufweisen können, oder feine Zonen andersartiger stofflicher Zusammensetzung werden sich zwischen gleichbleibende Bänke einschalten können. Schon der Gehalt an Mineralsubstanz, z. B. Kieselsäure, wird starken Wandlungen unterworfen sein, je nach dem sehr verschiedenen Aschengehalt der jeweils herrschenden Pflanzen und nach Maßgabe des von außen hereingewehten Staubes. Es kann in gewissen Stadien der Moorbildung zur Massenproduktion nicht nur in ihren abgelagerten Resten sehr auffallender, sondern auch stofflich eigenartiger Organe und Ausscheidungen kommen. Eine zeitweise verwirklichte Algenvegetation liefert sehr *fettreiche* Produkte. Nach der Fruchtzeit eines mit Wollgräsern bestandenen Moores können die aus feiner weißer *Zellulose* bestehenden Wollschöpfchen bzw.

Samenhaare des Wollgrases sich zu sehr eigenartigen Schichten im Moor ablagern. Manche Jahre wiederum sind durch eine besonders reiche Blüte der das Moor besiedelnden oder seine Umgebung beherrschenden Nadelhölzer (Krummholzkiefern, Fichten usw.) ausgezeichnet. Jeder Lufthauch ent-

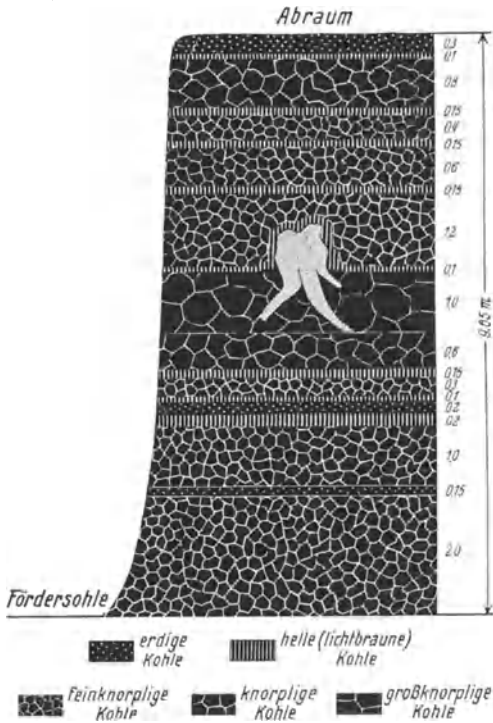


Abb. 12. Schichten-
aufbau eines Braunkohlenflözes; in der
Mitte Baumstumpf
(Ausschnitt eines
Stubbenhorizonts).
Lausitz. Nach
Pietzsch.

bindet ganze Wolken gelben *Blütenstaubs* (vgl. S. 66) aus den männlichen Blütenkätzchen, der sich als „Schwefelregen“ auf die Moorfläche niederschlägt und zur Bildung einer durch reichen Gehalt an den besonders fettreichen Pollenkörnern ausgezeichneten Torfschicht beiträgt. Mit dem Waldtorf schließlich gelangen besonders *harzreiche* Organe zur Ablagerung. Schließlich werden sich die einzelnen Torfarten auch in ihrem Umwandlungsvermögen und in ihrem Umwandlungsgrad unterscheiden.

Alle diese Umstände bedingen in den inneren wie in den äußeren Eigenschaften eine ausgesprochene *Schichtung der Ablagerung* (Abb. 12), die schließlich noch während des Torfstadiums dadurch verstärkt wird, daß es unter dem Druck der überlagernden Massen in den Torfbänken zu einer fortschreitenden *Parallelstellung* der Blätter, Fasern, Holzstückchen usw. kommt. Diese deutliche Schichtung schon der ursprünglichen Torfablagerung kann durch die Vorgänge, die den Torf in echte Kohle wandeln, infolge des chemisch, kolloidchemisch und physikalisch verschiedenen Verhaltens der einzelnen Torfbänke und -bänkchen noch besonders hervorgehoben und bis in sehr kleine Einzelheiten verfeinert werden.

4. Die Pflanzenwelt der Vorzeit-Moore.

Die Pflanzenwelt der vorzeitlichen Moore, deren umgebildete Torflager als Kohlenflöze erhalten sind, war von anderer Art als die der heutigen Torfsümpfe; sie hatte z. T. ein sehr fremdartiges Aussehen. Der Weg ihrer Erforschung, die in der Arbeit von anderthalb Jahrhunderten über sie zusammengetragenen Kenntnisse — und die Genauigkeit, mit der uns vielfach die feinsten Geheimnisse des Zellbaues und der Lebensart von Gewächsen bekannt wurden, die vor Hunderten von Jahrmillionen grünten — dies alles bildet eines der wunderbarsten Kapitel der Naturwissenschaften. Es fällt schwer, hier nicht näher darauf eingehen zu können. Dieses Buch dient indessen der Aufgabe, *allgemeinere* Fragen um Natur und Entstehung der Kohlen zu erläutern, wie sie in wichtigen Abschnitten bisher nur der Fachwissenschaft geläufig waren. Diese Dinge sind aber von der näheren botanischen Zugehörigkeit der kohlenbildenden Pflanzen ziemlich unabhängig, und so müssen hier einige kurze Hinweise genügen¹.

¹ Eine gute und durch viele Bilder unterstützte Darstellung über „Das frühere Pflanzenkleid des deutschen Bodens“, findet man in dem jüngst erschienenen gleichnamigen Buch W. GOTHANS.



Abb. 13. Waldmoor der Steinkohlenzeit mit *Lepidodendren* (links), *Sigillarien* (Mitte), *Kalamiten* und *Kordaiten*-Bäumen (rechts) sowie baumfarnähnlichen Gewächsen. Großgemälde von W. Kukuk, Düsseldorf, im Geologischen Museum zu Bochum. Aufn. K. Hege, Essen. Verkleinerte Wiedergabe des gleichartigen Titelbildes aus P. Kukuk, Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

Die Reste, die uns von den vorzeitlichen Pflanzen in den Gesteinen überliefert wurden, entstammen ganz verschiedenartigen Organen und liegen in sehr wechselndem Erhaltungszustand vor. Auf den Schichtflächen der kohlenbegleitenden Gesteine, vor allem der feinkörnigen Tone und Tonschiefer sind (oft von kohligem Häutchen dunkelgefärbte) *Abdrücke* vor allem des Blattwerks erhalten geblieben, die vielfach noch feinste Einzelheiten der Umriß- und Aderungsverhältnisse erkennen las-



Abb. 14 (links). Stammstück eines „Riesenschachtelhalms“ (*Calamites varians* Stbg.) aus dem Steinkohlenrevier Saône et Loire. Steinkern (Ausguß der Markhöhle) mit der aus dem Holz hervorgegangenen Kohlenrinde. $\frac{4}{7}$ nat. Größe. Aufn. K. A. Jurasky.

Abb. 15 (rechts). Beblätterung eines Kalamiten (*Annularia stellata*). Abdruck auf einer Gesteinsplatte a. d. Zwickauer Steinkohlenrevier. $\frac{4}{7}$ nat. Größe. Aufn. K. A. Jurasky.

sen (Abb. 19, 20); auch Form und Oberflächengestaltung von Stamm- und Wurzelgebilden sind häufig zu beobachten (Abb. 16—18).

Zu einem anderen Erhaltungszustand führte die Ausguß- oder Steinkernbildung, von der schon auf S. 44 erklärend die Rede war (Abb. 14).

Genauere Einblicke in die anatomische Feinstruktur, in die Besonderheiten des zelligen Aufbaues und damit der näheren Verwandtschaftsbeziehungen wie auch der Lebensweise vorzeitlicher Pflanzen gewähren uns solche Reste, die bald nach dem Tode bis in alle Einzelheiten ihres Körpers (Hohlräume und Membranen der Zellen) von Absätzen mineralischer Lösungen (Kalk, Kieselsubstanz) durchtränkt, also „echt verstei-

ner“ oder besser: *mineralisiert* wurden. Das berühmteste Beispiel dieser Art bietet in Deutschland der „Versteinerte Wald“ zu Chemnitz und die im Museum dieser Stadt aufbewahrten Schliffe von „Starsteinen“ (*Psa-ronien*, verkieselte Baumfarnstämme); für die Kenntnis der Steinkohlenpflanzen sind vor allem die „*Torfdolomite*“ von Bedeutung gewesen, in denen sehr zarte Pflanzenorgane erhalten blieben. Auf ihre Entstehung und ihren Inhalt kommen wir noch zurück (S. 75 f.).

Daß aus besonders *widerstandsfähigen organischen Stoffen* bestehende oder aus sehr starkwandigen Zellgeweben aufgebaute Pflanzenteile mit vielen Einzelheiten der inneren und äußeren Formen auch ohne Mineral-



Abb. 16. Als Abdruck erhaltener Wurzelstock (*Stigmaria*) einer Sigillaria, mit Wurzelanhängen (*Appendices*). Zwickauer Steinkohlenrevier. $\frac{1}{6}$ nat. Gr. Aufn. K. A. Jurasky.

durchträngung selbst in sehr alten Schichten bestehen blieben, wird im III. Abschnitt dieses Buches und besonders ausführlich bei der Beschreibung der Kohlenstruktur (V, S. 115) erläutert werden. Meist sind es Organe von mikroskopischer Kleinheit; in den *Braunkohlenlagern* findet man aber auch vielerlei größere, *kohlig erhaltene Fossilien*: Zapfen, Früchte, Samen und nicht zuletzt eine Unmenge von Holzstücken, deren mikroskopische Untersuchung uns zeigte, daß viele heute noch lebende Baumarten im tertiären „Braunkohlenwald“ vorkamen. Einen in der Welt einzig dastehenden Sonderfall bieten die im „Museum für Mitteldeutsche Erdgeschichte“ zu Halle aufbewahrten Tier- und Pflanzenfunde aus der Braunkohle des Geiseltals bei Merseburg. In ihnen sind selbst die zartesten und von hinfälligsten Eiweißstoffen getragenen Einzelheiten alttertiärer Lebewesen bis ins Innere der Zellen hinein erhalten geblieben (Muskel-fasern, Blattgrün-Körner, Zellkerne usw.). Durch Zufuhr von Kalk in das Braunkohlenmoor konnten sich nämlich jene Stoffe in widerstands-

fähige *organische Kalkverbindungen* („Leichenwachs“ usw.) umsetzen. Ähnliche Verhältnisse bietet ein kleines, in die Jurahochfläche eingesenktes Braunkohlenvorkommen nahe Regensburg (Viehhausen), dessen Ausbeute im Geologisch-Paläontologischen Institut der Würzburger Universität zu sehen ist.

Eine einzigartige Schau von Funden aller Art aus den *Steinkohlenflözen* gewähren die Museen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse zu Bochum und der Reichsstelle für Bodenforschung in Berlin, N. 4.

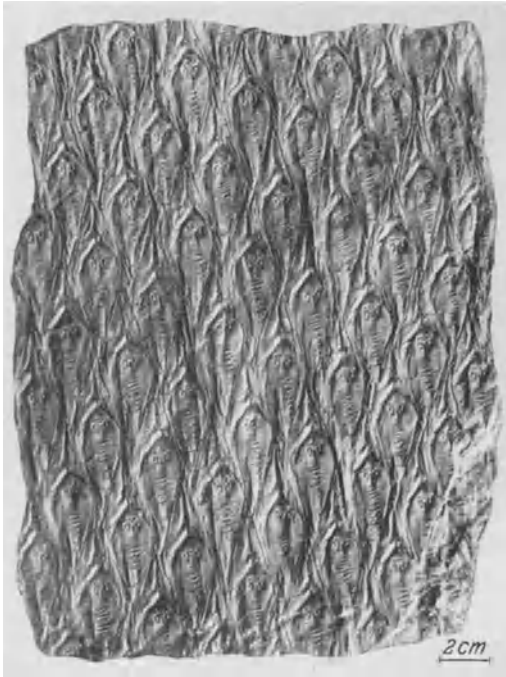


Abb. 17. Stammstück eines Schuppenbaumes (*Lepidodendron aculeatum* Stbg.) aus dem Westfälischen Steinkohlenrevier. Aus P. Kukuk, Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

Die Pflanzenwelt der *Karbonzeit*, welche die großen europäischen *Steinkohlenvorkommen* lieferte, trug fremdartige Tracht (Abb. 13), da ihr noch völlig jene Gewächse fehlten, die im gegenwärtigen Vegetationsbild der Erde führen: die flächig-belaubten Blüten- (besser vielleicht: Blumen-) Pflan-

zen. Die erdgeschichtliche Entwicklung des Pflanzenreichs hatte in jener Zeit die Verwandtschaftsgruppe der *blütenlosen* (sich durch Sporen vermehrenden) *Höheren Sporenpflanzen* zu großartiger Entfaltung geführt, eine Gruppe von Gewächsen also, die in der Gegenwart noch durch die Farnkräuter und Baumfarne, durch die Schachtelhalme und Bärlappe sowie einige nur dem Botaniker näher vertraute Sippen vertreten werden: man faßt sie insgesamt als *Farnartige Pflanzen* (*Pteridophyten*) zusammen. Pflanzen dieser



Abb. 18. Stammstück eines Siegelbaumes (*Sigillaria boblayi* Brogn.) aus dem Westfälischen Steinkohlenrevier. $\frac{2}{3}$ nat. Gr. Aus P. Kukuk, Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

Verwandtschaft waren in der Karbonzeit in allen Lebensformen, vom schwimmenden Wassergewächs bis zur Schlingpflanze und gewaltigen Bäumen vertreten und beherrschten das Lebensbild der Steinkohlenmoore (Abb. 13). Ihre markantesten Erscheinungen waren *Baumfarne* ähnlich denen, die heute noch in fernen Zonen der Welt leben, weiterhin die riesigen Schachtelhalmen ähnlichen, sternblättrigen *Kalamiten* (Abb. 14, 15) und die merkwürdigen Baumgestalten der *Lepidodendren* (Schuppenbäume) und *Sigillarien* (Siegelbäume), deren Stämme mit eigenartig geformten Blattpolstern und -narben dicht besetzt sind (Abb. 17, 18); die abfalligen Blätter waren striemenartig oder hatten die Form großer

fleischiger Dolche. Dazu traten viele Gewächse mit farnartigem Laub¹, die aber im Gegensatz zu den eigentlichen Farnen bereits die Fähigkeit zur Samenbildung erworben hatten und die man daher als *Samenfarn* (*Pteridospermen* oder *Cycadofilices*) bezeichnet. Auch *Nacktsamige Blütenpflanzen* (*Gymnospermen*), z. T. aus der Verwandtschaft unseres Ginkgobaumes gab es damals schon. Diese Bäume, zu denen die *Kordaiten* gehören, besaßen lang-zungenförmige oder dem Laub des Ginkgobaumes ähnliche, parallelnervige Blätter.



Abb. 19. Farnblattabdrücke (*Pecopteris plumosa Brogn.*) mit feiner Kohlenhaut auf einer Schieferplatte aus dem Steinkohlenrevier von Zwickau.
¹/₂ nat. Gr. Aufn. K. A. Jurasky.

Viele *Anpassungen* der karbonen Steinkohlenpflanzen weisen auf den unsicheren Stand im Moor und die schlechte Durchlüftung des vernäßten Torfschlamm Bodens hin, so die verdickte Basis der Stämme, ihr sternförmig ausladendes Wurzelsystem, die großen, als Atemkanäle dienenden Höhlen der schlauchartigen Wurzeln — und in den kalamiten-ver-

¹ Die Formen der „Farnblätter“ (*Pteridophyllen*), denen man nicht ansehen kann, ob sie echten Farnen oder Samenfarne zugehören, sind nach Aufbau und Zusammensetzung der Wedel, Umriß und Aderverlauf von unerschöpflicher Vielfalt (Abb. 19, 20).

wandten *Keilblatt-Gewächsen* (*Sphenophyllen*) kennt man Formen, die z. T. als Wasserpflanzen die vielen Tümpel und Teiche der Moore durchwucherten.

Die eigenartige Karbonflora verschwand in der Permzeit mehr und mehr; an ihre Stelle traten im Erd-Mittelalter Nacktsamige Blütenpflanzen, vor allem *Zapfenpalmen* (*Cycadeen*) und *Nadelbäume* (*Koniferen*).



Abb. 20. Farnblattabdrücke (*Neuropteris gigantea* Stgb.) aus dem Westfälischen Steinkohlenrevier. Aus P. Kukuk; Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

In der *Tertiärzeit* endlich, aus der unsere großen Braunkohlenlager stammen, hatte längst jener große Verwandtschaftskreis die Herrschaft erlangt, der auch heute noch am allermeisten im Pflanzenkleid der Erde hervortritt: Die mit flächigem Laub ausgestatteten *Bedecktsamigen Blütenpflanzen* (*Angiospermen*), denen unsere Kräuter und Stauden, Sträucher und Laubbäume zugehören. Freilich waren auch sehr vielartige *Nadelbäume* an der Vegetation beteiligt, deren Reste sich wegen ihres Harzgehaltes (vgl. S. 68) besonders reichlich erhalten konnten. Im *älteren* Tertiär. zur Bildungs-

zeit der eozänen mitteldeutschen Braunkohlen, waren die Moore mit vielen Arten besiedelt, die heute zwar nähere Verwandte besitzen, selbst aber ausgestorben sind. Die damalige Flora läßt erkennen, daß sie unter echt tropischen Bedingungen lebte.

In der *jüngeren* Tertiärzeit (Braunkohlen West- und Ostdeutschlands sowie des Sudetenlandes) besiedelten schon sehr viele Gewächse die Braunkohlenmoore, die in gleicher Art auch heute noch auf der Welt vorkommen. Das Klima war schon deutlich kühler geworden, war aber noch immer subtropisch-mild. Von den Wasserpflanzen, den moos-, kraut- und grasartigen Gewächsen der damaligen *Riedmoore*, ist uns wenig erhalten geblieben. Unter den Holzgewächsen der *Sumpfwälder* traten Lorbeer- und Zimtgewächse, unzählige Verwandte unserer Laubbäume (Eichen, Buchen, Ahorne, Weiden usw.), *Palmen* und schließlich eine Reihe von *Nadelbäumen* hervor. Unter diesen finden wir neben Kiefern-, Fichten-, Eiben- und Zypressenarten die für die Waldmoore des atlantischen Nordamerika so typische *Sumpfyzypresse* (*Taxodium*, Abb. 6, 7). Die damaligen Moore müssen überhaupt jenen subtropischen „Cypress swamps“ z. B. Floridas bzw. auch ihren baumlosen Vorstadien, den „Everglades“ (Abb. 4) überaus ähnlich gesehen haben, führten aber auch viele heute in Süd- und Osteuropa sowie in Ostasien beheimatete Pflanzen (Abb. 21). Die Entwicklung der Braunkohlenmoore erreichte immer wieder Stadien mit schon verhältnismäßig trockengelegtem Boden, auf dem sich dann eine von riesigen *Mammutbäumen* beherrschte Waldgemeinschaft ansiedelte. Oft genug wurde ein solches Gelände durch ruckartige Bodensenkungen wieder vom Grundwasser überflutet, vom Sumpfmoor zurückerobert — und so blieben in den Stubbenhorizonten der Braunkohlenflöze ganze „Waldfriedhöfe“ erhalten.

Wälder dieser Mammutbäume, vor allem des *Rotholzes* („Red wood“, *Sequoia sempervirens*) besitzt heute nur noch Kalifornien, wo sie z. T. noch genutzt, z. T. auch in Nationalparks gehütet werden (Abb. 22).

Am *Ende der Tertiärzeit* kühlte sich das Klima immer



Abb. 21. Im Braunkohlenwald der Tertiärzeit. Verlandungszone mit Seerosen usw. Waldgürtel mit Palmen, Zypressengewächsen, Mammutbäumen (*Sequoia*), vielen anderen Nadel- u. Laubhölzern (zum Vergleich Abb. 7). Gemälde von W. Kukuk, Düsseldorf, im Freiburger Braunkohlen-Forschungsinstitut. Aufn. K. A. Jurasky.

mehr ab; auch die subtropischen Pflanzen verschwanden von unserem Boden. Immer noch war aber die Pflanzenwelt ungleich artenreicher als die gegenwärtige Flora Mitteleuropas.

Im *Diluvium* („Eiszeit“) schoben sich in mehrmaligem Vorstoß riesige Inlandeismassen über große Teile Europas.



Abb. 22. Im heutigen Lebensbezirk des wichtigsten Braunkohlenbaumes: Wald der Küstensequoie (*S. sempervirens*). Redwood-Nationalpark im Kalifornischen Felsengebirge.
Aufn. Patterson.

Die tertiäre Pflanzenwelt wurde auf dem Boden unseres Erdteils, besonders Deutschlands, zum großen Teil vernichtet. Dürftige Reste wanderten nach dem Rückzug der Gletscher wieder ein und ergänzten sich zu dem besonders in den Holzgewächsen sehr artenarmen Pflanzenkleid, wie es uns in unsrer Heimat vertraut ist.

Nordamerika und *Ostasien* boten günstigere Bedingungen für das Fortbestehen und Wiedereinwandern vieler Tertiär-

pflanzen, und heute noch sind z. B. die Wälder dieser Erdteile auch in gemäßigten Breiten durch hundertfältigen Reichtum an Strauch- und Baumarten vor denen Mitteleuropas ausgezeichnet.

III. Pflanzliche Urstoffe der Kohlen. Die Herkunft der in den Kohlen gespeicherten Spannkraft.

Während das Erdöl aus der tierischen und pflanzlichen Lebewelt der Gewässer, vor allem des Meeres, hervorgegangen ist, entstand der Torf und die von ihm sich ableitenden Kohlen in Mooren aus den andersartigen Körperstoffen hochorganisierter Landpflanzen.

Welche Arten von Stoffen beteiligen sich nun eigentlich am Aufbau des Pflanzenkörpers und seiner Teile? Wie entstehen sie und in welcher Menge und Verteilung treten sie auf?

Die Beantwortung dieser Fragen ist nötig, wenn uns die Eigenheiten, die Umbildungsfähigkeit und der schließlich erreichte Zustand des Torfs bzw. der Kohlenarten verständlich werden soll.

Es ist nun nicht möglich — und auch nicht notwendig —, die ganze Vielzahl der von der Pflanze erzeugten organischen Verbindungen hier auch nur einigermaßen erschöpfend zu behandeln; offenbar werden auch nur jene Stoffe für den Aufbau des Kohlentorfs wesentlich sein, die regelmäßig und in größerer Menge von den Gewächsen geliefert werden, und auch solche, denen besondere *Haltbarkeit* (Resistenz) zu Bedeutung verhilft.

Alle Organismen sind aus kleinsten Einheiten aufgebaut, die man *Zellen* nennt. Der eigentliche *Lebensstoff* dieser Zellen, das Protoplasma, eine wasserreiche kolloidale Substanz, besteht aus einem Gemenge unerhört kompliziert aufgebauter Eiweißstoffe, Verbindungen der drei Elemente C, H, O mit Stickstoff (N), Schwefel (S) und Phosphor (P). Im Gegensatz zu den Tieren, bei denen die den Zellen ent-

sprechenden kleinen Protoplasmaeinheiten nackt sind, zeigen sie sich bei den Pflanzen von einer Membran, der *Zellwand*, umschlossen. Die Zellen können in den verschiedensten Gestalten ausgebildet werden und sich zu den mannigfachsten Formen zusammenfinden, je nach der Aufgabe und Leistung, die den aus ihren Verbänden (Zellgeweben) aufgebauten Organen im Lebensprozeß zufällt. Dabei wird oft die Zellmembran zum wesentlichen Träger der Organfunktion und bleibt es, wenn der von ihr ursprünglich umschlossene eigentlich lebende Inhalt längst vergangen ist. Jeder lebende Baum z. B. besitzt eine große Anzahl toter Zellgewebe, die als tragende, stützende oder schützend umhüllende Massen noch durchaus dem Leben dienen, so die Rinde (Borke) oder der innere Teil des Stammes, das sich durch seine dunklere Färbung vom „Splint“ abhebende „Kernholz“.

Die Pflanze besitzt die Fähigkeit, die Zellgehäuse in *funktionsgemäßer Form* auszubilden; sie kann ihr z. B. durch zweckentsprechende Verstärkung auch jeden gewünschten Grad *mechanischer Festigkeit* geben. Vor allem aber ist es ihr in ganz wunderbarer Weise möglich, durch zusätzliche Ein- und Auflagerung besonderer Stoffe den Zellwänden und ihren Vereinigungen die nötige Widerstandsfähigkeit gegen alle an das betreffende Organ herantretenden Beanspruchungen mechanischer, chemischer und biologischer Art zu verleihen.

Jedes Organ, jeder Organteil besitzt nicht allein eine geeignete Funktionsform, sondern auch eine in hohem Maß *zweckentsprechende chemische Beschaffenheit*. Da zwischen beiden gesetzmäßige Beziehungen bestehen, werden wir vielfach auch bei losgelösten zusammenhangslosen Geweben und Organen die ursprüngliche Bedeutung erkennen können, oder — was sich für uns noch als sehr wichtig zeigen wird — *aus der Form lassen sich auch noch Rückschlüsse auf die ursprüngliche chemische Beschaffenheit ziehen*.

Viele Pflanzenorgane — denken wir beispielsweise an das Holz des Stammes — sind überaus widerstandsfähig und können, meist unter bestimmten Wandlungen chemischer Art, stofflich und oft auch formlich erhalten bleiben, also ohne

eigentliche Versteinerung zu Fossilien werden. Auch die Kohle besteht hauptsächlich aus solchen mehr minder veränderten, aber noch immer *als organische Substanz* erkennbaren Zellwandbaustoffen. Wie wir noch sehen werden, sind in der Kohle auch noch eine ganze Menge *organischer Formen* zu erkennen, mehr, als man noch vor wenigen Jahren glaubte.

Bei den Pflanzen kommt also vor allem das den Tieren fehlende *Zellwandgerüst* zur Fossilisation. Daher sind die Erhaltungszustände tierischer und pflanzlicher Reste durchaus verschieden. Bei den Tieren können im allgemeinen nur aus Mineralstoffen bestehende *Hartteile* (Knochengerüste, Schutzschalen und -panzer) erdgeschichtliche Zeiträume *geformt* überdauern, während die eigentliche Körpersubstanz verwest oder in Form erdölähnlicher, „bituminöser“ Produkte sich in den umhüllenden Gesteinen verliert.

Zu allererst müssen uns daher die *Zellmembranstoffe* der Pflanze interessieren. Die Zellwand ist ein Abscheidungsprodukt des Protoplasmas; sie besteht in ihrer Grundanlage aus *Zellulose*, einem hochpolymeren Polysaccharid von der Pauschalformel $(C_6H_{10}O_5)_n$, einer Substanz also, der Stärke und Zucker chemisch nahe verwandt sind. Die Zellulose ist gegenüber rein chemischen Angriffen außerordentlich widerstandsfähig. Ganz im Gegensatz dazu wird sie aber leicht von Mikroorganismen, also unter biologisch-chemischen Einflüssen, abgebaut und zerstört. Eine sehr bemerkenswerte Eigenschaft der Zellulose ist ihr kristalliner Feinbau; sie besteht gleichsam aus lauter unendlich feinen Kristallnadelchen (= Micelle).

Zellulose, der Hauptbaustoff des pflanzlichen Zellgerüsts, tritt kaum für sich allein auf, sondern in mechanischer Verbindung (Durchtränkung, Auflagerung, Inkrustation usw.) mit einer Reihe anderer Stoffe, die ihr aufgelagert sind oder sie durchdringen. Solche Substanzen sind beispielsweise die sogenannten Hemizellulosen und Pektinstoffe, einige fettartige Substanzen, vor allen anderen aber das Lignin.

Als *Hemizellulosen* bezeichnet man Stoffe, die der Zellulose verwandt, aber bedeutend weniger widerstandsfähig sind und die schon durch

verdünnte Säuren in lösliche Zuckerarten umgewandelt werden. *Pektine* sind verwickelte Verbindungen von gleichfalls geringer Resistenz; ihre Anwesenheit bedingt das Gelieren gekochter Früchte. Der Beitrag, den diese und einige andere Stoffe zur Bildung der Kohlen liefern, ist umstritten. Jedenfalls kann er rein mengenmäßig nur sehr gering sein; wir wollen hier nicht näher darauf eingehen.

Die wichtigste Gerüstsubstanz der Pflanze neben der Zellulose ist das **Lignin**, ein trotz vieler Bemühungen in seiner näheren Konstitution noch nicht erschöpfend aufgeklärter, hochpolymerer Stoff, der sich erheblich von der Zellulose unterscheidet. Seine chemischen Bausteine enthalten einen aromatischen Sechsering und sind untereinander wahrscheinlich nicht gleich, wie die der Zelluloseketten, so daß sich keine eindeutige Grundformel für das Lignin angeben läßt.

Lignin ist eine *amorphe*, der kristallinen Feinstruktur entbehrende Substanz. Sie tritt im Zellgerüst *immer in Verknüpfung mit Zellulose* auf. Sie durchdringt deren kristallähnliches Feingerüst in unendlich feiner, unter der Auflösungsgrenze der Mikroskope liegender („submikroskopischer“) Durchwachsung. Die Einlagerung des Lignins in die Zellulosemembran, die dabei stark verdickt wird („Ligninquellung“) wird als *Verholzung* bezeichnet, da das Auftreten von Lignin für das eigentliche „Holz“ (Abb. 23) sehr bezeichnend ist. „Verholzte Substanz“ (Zellulose + Lignin) findet sich aber reichlich auch in den Geweben der Blätter und Nadeln aller höher organisierten Pflanzen, nicht nur der Bäume.

Der physiologische Sinn der Verholzung besteht in mechanischer Festigung der Gewebe, da so die in hohem Maß zugfeste Zellulose mit dem druckfesten Baustoff Lignin verbunden wird; das Lignin besitzt dabei die vorteilhafte Eigenschaft, die lebenswichtige Durchlässigkeit der Membranen für Wasser und Gase nicht zu beeinträchtigen.

Der in seinen Ausmaßen noch weit unter der mikroskopischen Sichtbarkeit liegende Feinbau der Zellwand ist in seiner technischen Vollkommenheit eine der wunderbarsten Schöpfungen der belebten Natur; er wurde erst in neuester Zeit durch das Zusammenwirken polarisationsoptischer und röntgenographischer Untersuchungen geklärt. Man kann die Zellwand mit einer Mauer aus Eisenbeton vergleichen, wobei den Eisenstäben die Bündel der Zellulosemicelle, der Füll- und Hüllsubstanz aber das Lignin entspricht.

Neben dieser Gruppe von Urmaterialien der Kohlen liefert die Pflanze noch Substanzen anderer, und zwar so wider-

standsfähiger Art, daß sie ungeheure Zeiträume ohne sehr erhebliche chemische Veränderungen überstehen und auch förmlich ihre ursprüngliche Eigenart bewahren können.

Dieser Stoffgruppe des Ausgangsmaterials, die man als das **Primär-Bitumen**¹ der Kohle bezeichnet, gehören eine Reihe fester *fettartiger Körper*, ferner die *Harze* und *Wachse* der Pflanze an. Fettartige Substanzen sind Kutin, Kork (Su-

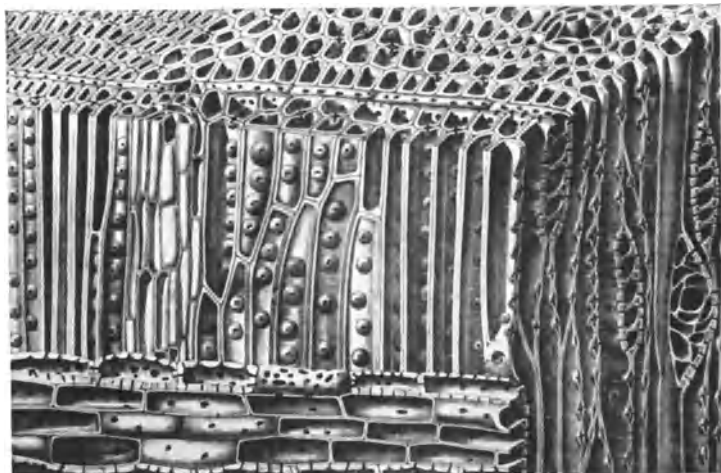


Abb. 23. Blockschema des Nadelholzaufbaues. Oben Querschnitt mit Frühholz/Spätholz-Grenze („Jahrring“); vorn links radialer, seitlich rechts tangentialer Längsschnitt. Die wesentlich verwickelter gebauten Laubhölzer sind in der Braunkohle selten geformt erhalten geblieben. Nach Hegi.

berin) und Sporopollenin. Ihre wechselnde chemische Konstitution ist in jedem Fall überaus kompliziert. Es genügt hier zu sagen, daß es sich um hochpolymere, aus gesättigten und ungesättigten Fettsäuren und Oxyfettsäuren aufgebaute Verbindungen handelt, um Kohlenwasserstoffe in Verbindung mit Sauerstoff, kleinen Mengen Schwefel usw., aus denen

¹ primär (lat.) = zuerst; in unserem Zusammenhang: schon im Ausgangsmaterial anwesend. Bitumen: Organische Stoffe der Erdölverwandtschaft; Kohlenwasserstoffe und ihre Verbindungen mit Sauerstoff, Schwefel usw. Durch Destillation können aus festen Bitumenkörpern erdölähnliche Flüssigkeiten gewonnen werden.

durch Destillation erdölähnliche Stoffe erhalten werden können.

Sie treten am Körper der höheren Pflanzen formlich als Kutikeln (Blatthäute), als Sporen- und Pollen-Exinen (ballonhüllenähnliche Außenmembranen von Fortpflanzungsorganen) und schließlich als Korkgewebe in Erscheinung. Aber auch die der lebendigen Form entbehrenden Harze und Wachse sind hierher zu rechnen.

Die *Kutikeln* (Einzahl: Kutikula) sind aus *Kutin* aufgebaute Häutchen, welche die Ober- und Unterseite der Blätter samt ihren Haarbildungen eng anliegend überziehen; infolge

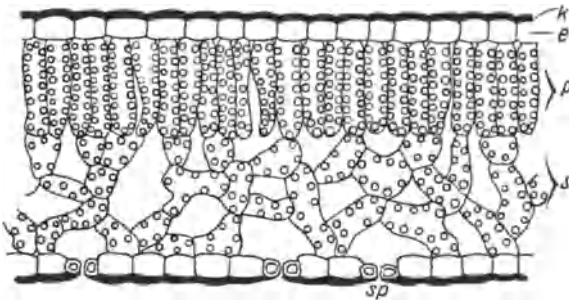


Abb. 24. Schematischer Querschnitt durch ein Laubblatt. Das von Blattgrünkörnern durchsetzte Zellgewebe des Blattinnern wird oben und unten von der Zellschicht der Epidermis (*e*) bedeckt, die wiederum von der Kutikula (*k*) überzogen ist. *p* = Palisadenzellen der Blattoberseite, *s* = von Atemhöhlen durchsetztes Schwammgewebe der Unterseite, *sp* = Spaltöffnungen (Atmungslücken) der unteren Epidermis. Nach K. A. Jurasky.

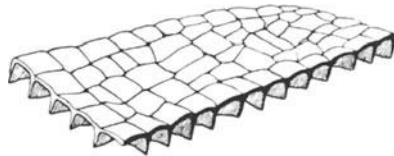
ihrer Undurchlässigkeit schützen sie die zarten Zellgewebe des Blattes gegen Austrocknung, aber auch gegen mechanische Abscherung und Verletzung und nicht zuletzt gegen die Angriffe von Kleinlebewesen. Wegen des starken Reflexionsvermögens dieser Fettüberzüge sehen manche Pflanzenblätter wie lackiert aus. Abb. 24 erläutert die anatomische Beziehung der Kutikula zum Gewebeaufbau des Blattes. Die Blatthäute sind mit einem Leistenwerk in ihrer zelligen Unterlage verzahnt; dadurch zeigen sie auch nach ihrer künstlichen oder natürlichen Loslösung, z. B. während der Einflüsse der Fossilisation, eine getreue Abprägung der bei

den einzelnen Pflanzenarten stark wechselnden, überdies auf Ober- und Unterseite der Blätter verschiedenen Zellstruktur der äußeren Zellschichten des Blattgewebes, der Epidermis (Abb. 25). Da sie außerdem oft mit Runzel-, Falten- und Lückenbildungen (durch Kristalleinschlüsse) versehen sind, läßt sich aus dem reich zusammengesetzten Strukturbild der beiden Blattkutikeln allein schon oft das ehemalige Vorhandensein einer bestimmten Pflanzenart erkennen. Das solche Ziele verfolgende Durchforschen von Sedimenten, z. B. von Kohlen oder Tonschichten, nach den in ihnen erhalten gebliebenen Kutikeln wird Kutikular-Analyse genannt.

Sporen und Pollenkörner. Ein Teil der hochorganisierten Gefäßpflanzen hat es stammesgeschichtlich noch nicht zur

Abb. 25. Raumbild einer aus dem Gewebeverband gelösten Blattkutikula.

Nach E. Stach.



Ausbildung von Blüten und den daraus hervorgehenden, der Fortpflanzung dienenden Samen gebracht, sondern vermehrt sich durch *Sporen*. Bärlappgewächse, Schachtelhalme und Farnkräuter, die man als *Pteridophyten* oder *Farnartige Pflanzen* bezeichnet, gehören zusammen mit den entwickelungsgeschichtlich tiefer stehenden Algen, Pilzen und Moosen dieser „kryptogamen“¹ Gruppe an (vgl. S. 53).

Die Sporen sind also ungeschlechtliche Fortpflanzungsorgane vor allem der Pteridophyten (aber auch der Moose und Pilze); es sind kleine, aus einer oder wenigen Zellen bestehende, oft kugelige Gebilde, die vom Wind vertragen werden, schließlich irgendwo keimen und über den Umweg des sogenannten „Vorkeims“ (Prothallium) zur Entstehung einer neuen Farnpflanze führen. Vielfach erzeugt eine Pflanzenart nur eine Sorte solcher Sporen; bei manchen Pteridophyten, vor allem der Karbonzeit, war aber bereits eine Diffe-

¹ Griechisch: kryptos = verborgen, und gemein = ehelichen — Kryptogamen also „die Verborgenenblütigen“.

renzierung in winzige männliche „Mikrosporen“ und in viel größere, schon mit freiem Auge sichtbare weibliche „Megasporen“¹ ausgebildet (Abb. 49). Aus den männlichen Sporen der Pteridophyten haben sich entwicklungsgeschichtlich die männlichen Organe der heute herrschenden Blütenpflanzen herausgebildet: Mikrosporen und *Pollenkörner* („Blütenstaub“, Abb. 26) sind als entwicklungsgeschichtlich gleichwertige (homologe) Organe aufzufassen.

Da die Sporen der Farnpflanzen und die durch den Wind oder durch Insekten verbreiteten Pollenkörner der Blüten-

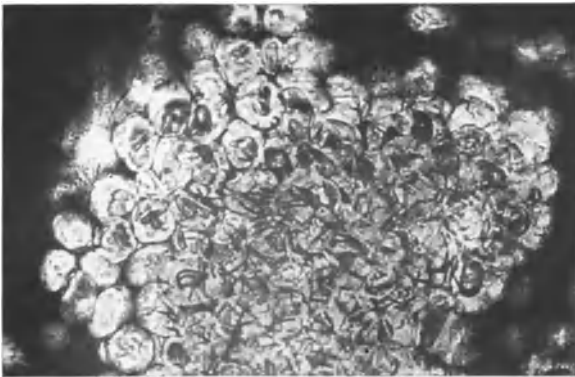


Abb. 26. Mikrosporen (oder Pollenkörner?) in Zwickauer Steinkohle. Dünnschliff, *durchfallendes* Licht. Vergr. 370. Aufn. K. A. Jurasky.

pflanzen bis zur Erfüllung ihrer Bestimmung oft einen weiten Weg zurückzulegen haben, ist ihr zarter Protoplasma-inhalt durch eine widerstandsfähige *Außenhaut* (*Exine*) geschützt, die aus dem kutinverwandten *Sporopollenin* besteht. Dieser fettartige Stoff ist, wie das Kutin, so schwer zersetzlich, daß Sporen sogar noch in Schichten erhalten sind, die im Alter unsere karbonen Steinkohlen noch bedeutend über-treffen (z. B. aus dem Devon).

Sporen und Pollenkörner zeigen durch Abweichungen von der Grundform der Kugel und weiterhin durch leisten-, warzen- und haarähnliche

¹ Griechisch: megas = groß, und mikros = klein. Die Megasporen werden vielfach fälschlich auch Makrosporen (makros = lang) genannt.

Außenskulpturen große Formenmannigfaltigkeit. Oft können solche Verzierungen in ihrer Bedeutung ebensowenig erklärt werden wie etwa die Verschiedenartigkeit der Pflanzenblätter; in einigen Fällen stehen diese Ausgliederungen aber zweifellos mit der Verbreitung dieser Organe durch den Wind oder durch Tiere in Zusammenhang.

Die Formen der Pollenkörner bzw. ihrer fossil zur Erhaltung kommenden Exinen sind meist überaus charakteristisch für die einzelnen Pflanzenarten; dies hat nun zur Entwicklung einer als Pollenanalyse bezeichneten wissenschaftlichen Methode geführt. Man hat die seit der Eiszeit gebildeten Torflager (vgl. S. 88 f.) Europas Schicht für Schicht auf ihren Gehalt an Pollenkörnern geprüft und die Ergebnisse sowohl in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht (also nach Art und Mengenverhältnis) in Tabellen bzw. Diagrammen („Pollendiagramme“) veranschaulicht. Daraus konnte das Wiedereinwandern der wichtigsten europäischen Waldbäume in das vorher vereist gewesene oder mindestens von arktischer Tundra (Kältesteppe) beherrschte Gebiet, zu dem auch große Teile von Deutschland gehören, und die anteilmäßigen Verschiebungen in der Zusammensetzung der nacheiszeitlichen Wälder genau verfolgt werden. Da die klimatischen Bedürfnisse der einzelnen Waldbäume bekannt sind, wurden durch diese pollenanalytischen Forschungen auch die Klimawandlungen in der Nacheiszeit geklärt. Die Geologie der nacheiszeitlichen Absatzgesteine, die Moorkunde, vor allem aber die historische Pflanzengeographie, die Paläoklimatologie und in zunehmendem Maß auch die Urgeschichte des Menschen verdanken dem fossilen Blütenstaub entscheidende Fortschritte.

Suberin (Korksubstanz): Nicht nur Blätter, auch junge Zweige sind anfangs von einer Kutikula umhüllt; später, mit dem Erstarken der Zweiglein zum Ast, der Stengel zum Stamm, genügt dieses zarte Fetthäutchen nicht mehr; es wird durch eine „Rinde“ aus Zellgeweben ersetzt, deren Membranen in eigentümlicher Weise verändert wurden: Die Außenwände der in radialen Reihen wie Ziegelstöbe angeordneten, tafelförmigen Zellen sind durch die Auf- und Einlagerung von Korksubstanz stark verdickt. Bekannt ist die mächtige, in ihrer Entstehung allerdings durch künstliche Eingriffe wesentlich geförderte Korkrinde der südeuropäischen „Kork-eichen“ (*Quercus phellos* u. a.). Auch Früchte und Knollen sind oft durch Korkhäute geschützt (Apfel, Kartoffel usw.).

Korksubstanz ist in den Braunkohlen der Tertiärzeit noch reichlich enthalten.

Die *Harze* sind mit Ausnahme des (tierischen!) Schellacks der Pflanze eigentümliche Stoffwechselprodukte, die von den lebenden Zellwänden bestimmter Gewebe in das Innere von besonderen Harzkanälen und Harzzellen abgeson-

dert werden, aus denen sie bei Verletzung der Organe ausfließen. Sie stellen Lösungen fester, ebenfalls sehr kompliziert aufgebauter Bestandteile in ätherischen Ölen dar. Nach ihrer Loslösung von der Lebenstätigkeit der Pflanze verfestigen sie sich meist rasch durch Verdunstung des Lösungsmittels und ändern in fossilem Zustand manche Eigenschaften (z. B. Schmelzbarkeit) weiterhin durch chemische Verdichtung (Polymerisation)¹.

Im Zellinnern nehmen die Harze oft als Ausgüsse die Quaderform des Zellhohlraumes an, meist aber behalten sie ihre tropfenartige Ausscheidungsform und ballen sich bei der Erstarrung zu kleinen Kügelchen zusammen (Abb. 54). Nach ihrem Austritt aus dem Körper der Pflanze, z. B. dem Stamm, entstehen krusten-, klumpen- oder zapfenartige Gebilde.

Die Harze sind stark antiseptische Stoffe und ihre Bedeutung für das Leben der Pflanze liegt im Wundverschluß, im Schutz gegen Austrocknung und Fäulnis und im Ausschluß bestimmter abgestorbener Zellgewebe von weiterer Funktion. (Wasserleitende Gewebe, deren Funktion durch Verstopfung der Zellen auf die mechanische Festigung beschränkt werden soll: Kernholz.) Ausgehend von den Verhältnissen der europäischen Pflanzenwelt könnte man leicht die Fähigkeit zur Harzerzeugung für eine Besonderheit der Nadelbäume (Koniferen) betrachten. Aber auch viele Laubbäume vor allem tropischer Zonen produzieren harzartige Stoffe, die zum Teil große technische Bedeutung besitzen. Indessen kommt den Nadelbäumen immerhin eine Eigentümlichkeit zu: Nur bei ihnen kommt es zur „Verkienung“, nämlich der Durchtränkung auch der Zellwände mit konservierendem Harz. Dadurch bleiben Nadelhölzer auch ohne Versteinigung häufiger und länger mit allen Einzelheiten ihres anatomischen Feinbaues fossil erhalten als die Laubbölzer.

Schon wegen ihrer antiseptischen Eigenschaften sind die Harze wenig veränderlich und fossil, z. B. in den Kohlen durch unbegrenzte Zeiträume beständig. Ein allgemein bekanntes Beispiel dafür ist ja der Bernstein, nichts anderes als das Harz vorweltlicher Nadelbäume; auch ein Teil der technisch verwerteten Kopale stammt von Pflanzen der geologischen Vergangenheit.

Schließlich sind noch die *Pflanzenwachse* zu erwähnen, den Suberinen und Kutinen einigermaßen verwandte Stoffe

¹ Polymerisation: Vereinigung zweier oder mehrerer gleichartiger Moleküle zu Großmolekülen.

wechselnder Eigenart. Sie werden von der Pflanze oft der Kutikula eingelagert, um deren Undurchlässigkeit und Unbenetzbarkeit noch zu verstärken; zuweilen treten sie auch frei an der Oberfläche von Blättern und Früchten als Ausscheidungen hervor und bilden hier aus feinen Körnchen, Schuppen oder Stäbchen bestehende Überzüge und Krusten, wie sie uns z. B. von Weintrauben und Pflaumen als „Reif“ wohlbekannt sind. Die tropische Flora bietet viel augenfälligere Beispiele solcher Wachs Ausscheidungen an Blättern und Früchten; so können z. B. hundert Blätter der Wachspalme (*Corypha* = *Copernicia cerifera*) gegen 2 kg technisch wie Bienenwachs verwertbares Material geben.

Damit stimmt gut überein, daß gerade die so überaus wachsreichen Braunkohlen („Schwelkohlen“) Mitteldeutschlands einem geologischen Zeitabschnitt, dem Eozän, entstammen, der durch die Herrschaft ausgesprochen tropischer Gewächse auch auf unserem Boden ausgezeichnet war, während die späterhin unter dem schon deutlich kühleren Klima des Miozäns usw. gebildeten Braunkohlen West- und Ostdeutschlands durch die starke Beteiligung von Nadelhölzern in der damaligen Vegetation auffällig viel Harz führen; besonders harzreich sind die ebenfalls miozänen Braunkohlen des Sudetenlandes.

Die Pflanzenwelt erzeugt noch viele andere Gruppen von Stoffen, die aber das Absterben der Pflanze kaum überdauern oder nur ausnahmsweise und in kleinen Mengen in Ablagerungen erhalten bleiben können. So finden sich z. B. in mitteldeutschen eozänen Braunkohlen die Rinden von *Kautschuk*bäumen mit dem zu feinen gelblichen Gummifäden erstarrten Milchsaft.

Ein Stoff, den einige Gruppen niederer Pflanzen regelmäßig für die Kohlenbildung beigesteuert haben, ist das den Eiweißarten nahestehende *Chitin* (Azetylglykosamin, $C_{32}H_{54}O_{21}N_4$). Es ist bekanntlich am Körperaufbau bestimmter Tiergruppen (Panzer der Insekten!) hervorragend beteiligt, kommt allerdings in der höheren Pflanzenwelt nicht vor. Doch bestehen die *Zellfäden der Pilze* und die *Membranen der Bakterien* aus dieser außerordentlich widerstandsfähigen Substanz, und viele von Pilzen stammende Formgebilde lassen sich selbst in sehr alten und stark veränderten Kohlen noch deutlich erkennen. Wir kommen darauf noch später einmal zurück, ebenso auf die Bedeutung der in Ausnahmefällen (Gyttja-Kohlen) wichtigen Algenfette.

Alle die genannten organischen Stoffe sind Verbindungen von *Kohlenstoff* (C) und *Wasserstoff* (H) mit *Sauerstoff* (O), wozu besonders in den Eiweißsubstanzen noch *Stickstoff* (N), *Schwefel* (S) und *Phosphor* (P) treten; und alle sind letzten Endes Umwandlungsprodukte von *Stärke* und *Zucker*, die unter den Lebewesen allein die grünen Pflanzen aus anorganischer Materie *unter Bindung von Energie des Sonnenlichts* herzustellen vermag. Bei diesem als *Kohlensäure-assimilation*, auch wohl als *Stärkesynthese* bezeichneten Vorgang wird der Luft entnommenes *Kohlendioxyd* (CO_2 , „Kohlensäure“) in den grünen Chlorophyllkörpern der Blätter unter Einwirkung des Lichtes gespalten und bei gleichzeitiger Abscheidung von *Sauerstoff* der *Kohlenstoff* mit den Elementen des *Wassers* (H_2O) zu *Stärke* verbunden¹. Ein Teil der so gebildeten *Kohlehydrate* wird, z. T. unter *Heranziehung* weiterer mit wassergelösten *Mineralsalzen* aus dem Boden zugeführter Elemente (N, S, P, K, Ca, Mg u. a.) in *Körperbaustoffe* umgewandelt; es entstehen daraus z. B. die *Eiweißstoffe* des *Protoplasma*, die *Zellwandsubstanzen*, die *Sekrete* (*Harz*) usw. Ein anderer Teil von *Stärke* und *Zucker*, welche die Pflanze nach Belieben ineinander überführen kann, dient weiterhin als *Kraftstoff* des *Lebensgetriebes*: Durch *Veratmung*, also eine Art *langsamer Verbrennung*, wird die *gespeicherte Energie* wieder *mobilisiert*.

Das *tierische* Leben ist nicht imstande, aus *Anorganischem* *Organisches* zu formen; es ist in seinem *Stoff- und Energiehaushalt* auf bereits vorhandene *organische Substanzen* angewiesen und somit mindestens *mittelbar* vom *Pflanzenleben* abhängig.

Kohle ist aus den *Resten vorzeitlicher Pflanzen* entstanden; die *tierischen Körperstoffe*, von denen sich das *Erdöl* vorwiegend ableitet, gehen gleichfalls letzten Endes auf *pflanzliche Substanz* zurück.

So ist denn alle in den fossilen Brennstoffen gespeicherte Energie Sonnenenergie, gleichgültig, ob wir sie als *Wärme*, *Licht* oder *Kraft* wiedergewinnen. Das *Sonnenlicht* fernster

¹ Entsprechend der Formel $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 684\,000 \text{ cal} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (*Stärke*) + 6O_2 .

Urzeiten — vor Jahrmillionen von unzählbaren Geschlechtern grüner Pflanzen empfangen und gebunden — erhellt im elektrischen Licht¹ unsere Nacht, seine Wärme läßt uns den nordischen Winter überdauern; seine Spannkraft treibt die Räder der Maschinen und bewegt den Verkehr über Land und Meer und durch die Lüfte.

Noch etwas mag erstaunlich scheinen: *Die einzige für die Pflanze nutzbare Kohlenstoffquelle ist der geringe, nur 0,04% ausmachende Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft.* Ihm allein sind also jene ungeheuren Kohlenstoffmengen ehemals entzogen worden, die das Erdinnere in den Kohlenflözen birgt und die in den flüssigen und festen Kohlenwasserstoffen der Erdöllager niedergelegt sind.

IV. Die Wandlung der Stoffe.

Der Inkohlungs Vorgang und seine Triebkräfte.

1. Die Entwicklungsreihe der Kohlen (Inkohlungsreihe).

Wir wollen kurz Rückschau auf das bisher Erarbeitete halten. Da in der Kohle zweifellos umgewandelte Pflanzensubstanz vorliegt, machten wir uns mit den Bedingungen vertraut, unter denen sich Pflanzenreste substantiell erhalten und auch in größerem Maßstab anhäufen können: Wir lernten die Entstehung und die Beschaffenheit der Moore, die in ihrem Bereich vor sich gehende Bildung von Torfflözen und schließlich die Beeinflussung ihrer Mächtigkeit durch geologische Vorgänge kennen.

Eine weitere Betrachtung galt den an die verschiedenen Organe der Pflanzen gebundenen Stoffen, die in Gegenwart und Vergangenheit in die Torfbildungen eingingen.

Der *Torf* ist in seiner typischen Form eine braune, oben noch lockere, in den unteren Bänken durch die Überlagerung schon stark gepreßte Masse, der fast immer noch deutlich ihre Abstammung anzusehen ist — ein in seinen Formelementen wechselndes Gewirr verflochtener Pflanzenteile jeglichen Erhaltungsgrades, zusammen mit einem *nach der Tiefe* zu

¹ Etwa 75% der deutschen Elektrizitätserzeugung entstammen Kohlen- (und Torf-)kraftwerken; aber auch die Wasserkräfte leiten sich von der Sonnenenergie ab.

steigenden Anteil mulmig-erdiger, also formlich aufs äußerste zerstörter Beschaffenheit. Auch gallertig-ausgefällte Substanzen treten lagen-, nest- oder adernweise auf. Das Ganze ist, zumal nahe der Oberfläche, überaus wasserhaltig (bis zu 90%!), das kapillar festgehaltene braune Moorwasser läßt sich zwischen den Händen ausdrücken wie aus einem Schwamm. Die Bräunung der toten Pflanzenmasse zeigt schon, daß *die ursprünglichen Stoffe im Torf Veränderungen erlitten haben*, ebenso der zunehmende Formverlust zarterer Pflanzenteile, z. B. der Moose. Der entsprechend vorgeschrittene Zustand tieferer bzw. älterer Moorschichten, die zunehmende Entfernung ihrer Eigenschaften vom Ausgangsmaterial beweisen, daß die entsprechenden Vorgänge nicht schon kurz nach der Ablagerung zum Stillstand kommen, sondern auch weiterhin anhalten. Das ist wichtig, und darauf kommen wir noch ausführlich zurück.

Nicht grundlegend vom Torf verschieden ist die *gewöhnliche Braunkohle*, wie sie im Altreich, besonders im Rheinland, in Mittel- und Ostdeutschland (Niederlausitz!), in mächtigen Flözen auftritt. Schon im Mittelalter verglich man sie als „Moorerde“ mit dem Torf, nicht mit der Steinkohle. Sie ist ganz augenfällig nichts anderes als *Torf der Tertiärzeit*, entstanden aus den Resten einer freilich viel reicheren Flora, wie sie in vergleichbarer Ausbildung heute noch in fernen tropisch-subtropischen Zonen Moorgelände besiedelt hält. In der Braunkohle finden wir als Blätter, Zweiglein, Zapfen, Früchte und Samen, nicht zuletzt als Holzstücke von oft gewaltiger Größe noch vielerlei bestimmbare Reste jener Gewächse — ja, manche Flözbänke können ganz durchspickt sein mit kohlig-dunklen Ästchen, Trieben, Nadeln und Blättern, und sie zeigen dann in dieser Art „fossiler Waldstreu“ noch offensichtliche Anklänge an den ehemaligen Torfzustand (Abb. 27). Aber freilich, alle diese Dinge sind nur eingeschaltete Besonderheiten; die *Hauptmasse* der Flöze wird aufgebaut aus einer meist dunkel-schokoladebraunen erdartigen, oft auch ziemlich feststückig gewordenen Masse, *an der mit freiem Auge kein pflanzliches Formelement mehr entdeckt werden kann*. Die Vorgänge, deren anhaltenden

Fortschritt wir schon im Torf erkannten, sind hier weitergediehen; jenes merkwürdige innere Geschehen, über das Stadium des Torfs fortgesetzt, reicht für die Erklärung des Braunkohlenzustands völlig aus — wenn wir noch die hinzutretende mechanische Entwässerung und Verfestigung durch den Druck der überlagernden Schichten berücksichtigen. Immerhin enthält die gewöhnliche Braunkohle, aus der die bekannten Briketts gepreßt werden, noch an die 50 bis 60% Feuchtigkeit im Flöz. Sie zerfällt daher an der Luft beim Trocknen zum großen Teil in ein erdiges Gekrümel.



Abb. 27. In Braunkohle umgewandelte „Waldstreu“ (Nadeln einer Kiefernnart). Grube Kurt bei Zeitz. Aufn. K. A. Jurasky.

Nicht alle Braunkohlen sind von dieser Beschaffenheit. Die des großen *sudetenländischen* Bergbaugebietes zwischen Elb-
lauf und dem Egerland zeigen besonders um Brüx, Karlsbad
und Falkenau eine wesentlich andere, ja z. T. sogar völlig ab-
weichende Tracht, die offenkundig einem weiteren Fort-
schritt der Verwandlung entspricht. Sie sind überaus fest
und ungleich wasserärmer (12—25%), bewahren ihren stük-
kigen Zusammenhalt und können ohne Brikettierung zum
Versand gebracht und verfeuert werden — solange man eine
so primitive Nutzung dieses edlen chemischen Rohstoffes
noch in größerem Maßstab zulassen wird. Diese Kohlen sind

schon ziemlich dunkel gefärbt, auch ein matter Glanz hat sich oft eingestellt. Von pflanzlicher Struktur ist lediglich oft eine an der Oberfläche mancher Kohlenstücke noch deutlich erkennbare Holzmaserung (Jahrringzeichnung) zu erkennen.

Dasselbe Revier birgt in einem zusammenhängenden Komplex aber auch noch andere Sorten. Schon die eben erwähnten Braunkohlen, die im Sudetenland weithin verbreitet sind, werden vielfach von schwarzen glänzenden Streifen durchzogen; um Ossegg besteht das ganze Flöz aus solcher „*Glanzbraunkohle*“. Ihr Wassergehalt ist sehr niedrig, sie ist hart und dicht und besitzt schon ganz das Aussehen einer Steinkohle, der sie im Wert auch nur unbedeutend nachsteht. Als Braunkohle ist sie nach vereinbarten Normen noch an der braunen Farbe ihres Pulvers („Strich“)¹ und an gewissen chemischen Reaktionen (Braunfärbung in heißer Kalilauge) zu erkennen (vgl. S. 101).

Über die normale *Steinkohle*, die bekanntlich meist besonders tief in der Erde und zwischen festen Gesteinen ruht, ist wenig mehr hinzuzufügen. Sie ist in den meisten Fällen in ihrer Hauptmasse ein glänzender, spröder, harter Stoff, schwer und fest — ein „Gestein“ auch im landläufigen Sinne; sie besitzt nur geringen Feuchtigkeitsgehalt. Ihr Strich ist — von Ausnahmen abgesehen — schwarz. *Nicht das geringste Zeichen deutet äußerlich an ihr selbst die Abstammung von lebensgeformten organischen Stoffen an.*

Es gibt freilich ein paar Sondertypen der Steinkohlen mit mattem Aussehen, großer Zähigkeit (man kann sie sogar dreheln und polieren) und verhältnismäßig leichtem Gewicht. Sie sind anderer Herkunft und stehen schon äußerlich abseits der entwicklungsmäßigen Vergleichbarkeit, deren Linie hier verfolgt werden soll. Wir werden ihre Besonderheiten in einem anderen Zusammenhang noch kennenlernen.

Wenn wir Torf und Steinkohle miteinander vergleichen, so sehen wir nichts Gemeinsames; aber wie der Torf mit der Braunkohle, so ist diese wieder mit der Steinkohle durch alle Übergänge, durch einen zusammenhängenden Weg vieler Wandlungen verknüpft. Überdies hat uns aber die Natur eine einzigartige Möglichkeit geboten, den *ehemaligen Torfzu-*

¹ Die „Strichfarbe“ eines Minerals usw. wird durch Reiben = Streichen an einer rauhen Porzellanplatte festgestellt.

stand auch der Steinkohle unmittelbar zu beweisen. Manche Steinkohlenflöze enthalten nämlich versteinerte Partien, in denen uns der formliche Urzustand: ein Torf aus verflochtenen Resten fremdartiger karboner Pflanzen, getreu bewahrt worden ist.

Die ungeheuer ausgedehnten, mit den fremdartigen Moorwäldern und vielleicht auch riedartigen Pflanzengemeinschaften der Karbonzeit besiedelten Bildungsfelder der Steinkohlenlager Europas, Nordamerikas usw. waren Senkungsgebiete im Vorfelde gewaltiger Gebirgsauffaltungen. In



Abb. 28. Rest eines Meerestieres (Goniatit) aus einer „marinen Schicht“ des Westfälischen Reviers. Aus Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

diese also durch großräumige Erdkrustenbewegungen entstandenen und fortdauernd absinkenden Tiefländer konnte ab und zu *das Meer* einfluten und weite Flächen in vorübergehenden Besitz nehmen. Die Pflanzenwelt der Moore wurde dann durch das Salzwasser getötet, ihr Wachstum jäh beendet; das Torfblöz wurde weiterhin unter Ton- und Sandschichten begraben, die sich später verfestigten und heute als Tonschiefer und Sandsteine die Flöze überdecken. Gegenüber gleichartigen Absätzen von Süßwasserüberflutungen, z. B. neu entstehender Binnenseen, zeichnen sie sich durch Reste ausgesprochener *Meerestiere*, z. B. Goniatiten, Brachiopoden u. a. aus, die ihre meeresische Bildung heute noch erkennen lassen. An solchen *marinen Horizonten*, die sich in den Steinkohlenlagern oft über große Entfernungen (z. B. von Westfalen bis nach England) verfolgen lassen, haben auch die Kohlenflöze ihre Besonderheiten (Abb. 28, 29). Die im Meerwasser gelösten Salze und die organischen Stoffe (Humuskolloide)

des Torfes wirkten nämlich aufeinander ein; in der verflochtenen Pflanzenmasse kam es zur Abscheidung von Gallertklumpen, die Kalzium-, Magnesium- und Eisenkarbonate, Tonsubstanz, Kieselsäure und nicht zuletzt organische Humusgele enthielten. Diese Gallerten ballten sich bei fortschreitender Wasserabgabe zu runden Gebilden und verfestigten sich später unter mancherlei chemischen Veränderungen, vor allem unter Abscheidung überschüssiger Stoffe zu Knollensteinen, die hauptsächlich aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat, also aus Dolomit bestehen. Diese *Torfdolomite* oder „Coal balls“, meist rundliche, außen von einer schwarzglänzenden Kohlschicht umkrustete Gebilde von Erbsen- bis Kopfgröße (aber auch darüber), erhielten eine wahrhaft einzigartige Bedeutung für die Wissenschaft: Sie haben uns mit den feinsten anatomischen Einzel-

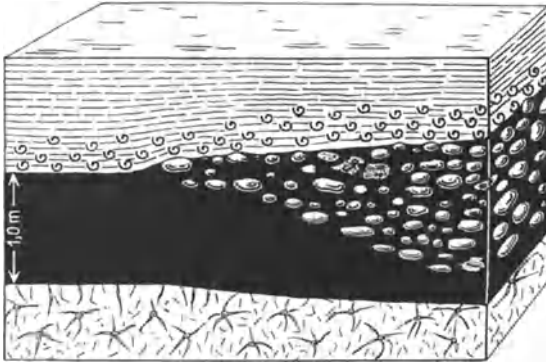


Abb. 29. Auftreten von Torfdolomiten im Flöz Katharina (Westf.) unterhalb einer meerischen Ablagerung. Sternzeichen unten = *Stigmarien*: Schneckenzeichen oben = Reste von Meerestieren (*Goniatiten*). Aus P. Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

heiten einer fremdartigen, an die 300 Millionen Jahre zurückliegenden Pflanzenwelt bekannt gemacht. Man kann sie anschneiden, ihre Flächen polieren und mit Säuren anätzen, oder man schleift sie zu so dünnen Plättchen, daß ihre Grundsubstanz durchsichtig wie Glas wird: Die ganze Knolle zeigt sich dann schon mit freiem Auge mit einem Gewirr pflanzlicher Fasern, Stengel, Stämmchen und Wurzeln durchzogen, in denen sich unter dem Mikroskop jede Zelle formlich getreu erhalten zeigt (Abb. 30). Der Torf war noch frisch, die Pflanzenreste noch unzersetzt, als die versteinemde Dolomitsubstanz jede Lücke in dem Pflanzengewirr, jeden Zellhohlraum der Gewebe verfestigend und für alle Zeiten erhaltend ausfüllte und zu einem jener wunderbaren Gegenstände und Hilfsmittel der Wissenschaft machte, von denen der Außenstehende kaum jemals etwas erfährt. Während die unversteinerte Torfmasse bei der Umwandlung in Steinkohle durch äußerste Pressung und Homogenisierung sowie durch die unter Substanz- und Formverlust fortschreitenden chemischen Veränderungen auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Mächtigkeit zusammenschrankte, bewahrte das dolomitisierte Pflanzengeflecht

annähernd seinen ursprünglichen Rauminhalt. Die Flöze schwellen daher an den reichlich dolomitführenden Teilen zu bedeutender, bisweilen vielfacher Mächtigkeit an (Abb. 29).

Der Veränderungsgrad ehemaligen Torfs, wie ihn die Steinkohle bietet, ist auch in der äußeren Erscheinung noch einer weiteren Steigerung fähig. Im *Anthrazit* kennt man eine überaus feste, harte und schwere Steinkohlenart, die sich

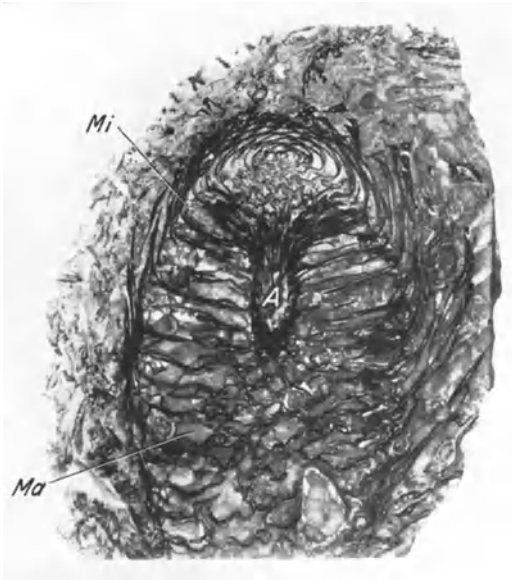


Abb. 30. Schliff durch Torfdolomit von Flöz Katharina (Abb. 29): Längsschnitt eines Sporangien-Zapfens („Blüte“) von *Lepidodendron*. Mi = Mikrosporenbhälter; Ma = Megasporenbhälter. Aufn. Leitz. Aus P. Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

überdies durch besonders intensiven, ins Gelbliche spielenden Glanz auszeichnet. Sie ist der kostbarste kohlige Brennstoff, dessen Verwendung wegen der schweren Entzündbarkeit allerdings schon Öfen mit besonders gesteigerter Luftzufuhr nötig macht¹.

¹ Was in Deutschland unter dem Handelsnamen „Anthrazit“ gehandelt wird, ist meist nur Halbanthrazit, eine erst auf dem Weg der Anthra-

Auch damit ist die Verwandlung, die „Metamorphose“ des Pflanzenmaterials, noch nicht am vollen Ziel: Man kennt auf der Erde an mehreren Stellen, z. B. in den Steirischen Alpen, in größerem Maßstab in Nordamerika, Steinkohlenflöze, die über das Zwischenstadium des Anthrazits in silbergrau glänzenden, weichen *Graphit* übergehen¹. So kann der ursprünglich unter dem Sonnenlicht von der Pflanze der Luft entnommene, mit anderen Elementen zu organischer Substanz verbundene Kohlenstoff schließlich tief im Erdinneren aus allen Bindungen gelöst und als silbergraues, weiches, unbrennbares Mineral dem Reich des Anorganischen eingefügt werden.

2. Der verändernde Vorgang: Die Inkohlung.

Der zunehmende Wandel der äußeren Merkmale wie überhaupt der *physikalischen* Eigenschaften, nach denen wir den Torf und seine kohligten Abkömmlinge in eine Entwicklungsreihe zunehmender „Alterung“, von Stadien zunehmender Entfremdung vom Urmaterial ordnen können — (Strukturverlust, Entwässerung, Verfestigung, Farbwechsel, Glanzsteigerung usw.) — alles dies sind nur Folgeerscheinungen der Änderung auch des *stofflichen* Verhaltens. Gemeinsam haben Torf und die verschiedenen Kohlen mit den Ausgangsstoffen die organische Art des Chemismus und die qualitative Zusammensetzung, also die Beteiligung vor allem der Elemente C, H und O, wozu in kleinen Mengen noch Stickstoff (N) und Schwefel (S) treten. In Spuren sind noch einige andere Elemente, z. B. Phosphor, vorhanden.

Von der stofflichen Durchschnittsbeschaffenheit des Urmaterials, aber auch fortschreitend untereinander entfernen sich Torf und Kohlenarten durch eine Verschiebung in der mengenmäßigen Beteiligung vor allem der drei erstgenannten

zitisierung befindliche Steinkohle. Echte Anthrazite gibt es in Deutschland nur an wenigen Orten; sie werden dagegen in England in großen Mengen gewonnen.

¹ Es sei aber erwähnt, daß sehr viele Graphite nichts von organischer Entstehung erkennen lassen. Ein Teil der Vorkommen ist sogar zweifellos anorganischen Ursprungs.

Elemente (auf das Verhalten von N und S wollen wir zur Vereinfachung hier nicht näher eingehen). Daß es sich auch dabei nicht um einen regellosen Wechsel handelt, sondern um ein deutlich gerichtetes System fortschreitender Verwandlung, das kommt schon voll zum Bewußtsein, wenn wir jedes dieser Kohlungsstadien in typischen, dem Ausgangsmaterial nach vergleichbaren Vertretern auf den Gehalt an jenen drei Hauptelementen prüfen und diese elementaranalytischen Ergebnisse in der schon gegebenen Ordnung vergleichend aneinanderfügen (Tabelle 1). Wollen wir wirkliche Vergleich-

Tabelle 1. Chemische Durchschnittsbeschaffenheit typischer Inkohlungsstadien. Prozentwerte, berechnet auf wasser- und aschenfreie Substanz (Werte für S weggelassen!).

Inkohlungsstufe	C	H	O	N	H bei C = 100	O bei C = 100
Holz	50	6	43	1	12,0	86,0
Torf	58	5,5	34,5	2	9,5	59,5
Braunkohle	70	5	24	0,8	7,1	34,3
Steinkohle	82	5	12	0,8	6,1	14,6
Anthrazit	94	3	3	Spur	3,2	3,2
Graphit	100	—	—	—	—	—

barkeit erzielen, dann dürfen wir dabei natürlich nur die organische brennbare Substanz berücksichtigen und müssen den wechselnden Wassergehalt der *grubenfeuchten* „Rohkohle“ ebenso wie den gesetzlosverschiedenen Anteil an mineralischen Beimengungen, den „Aschengehalt“ ausschalten; in der Tabelle sind daher alle Werte auf *aschen- und wasserfreie Substanz*, auf „Reinkohle“ umgerechnet. Diese Zusammenstellung zeigt deutlich den einfachsten und faßbarsten Unterschied zwischen den einzelnen Kohlentypen und das Gesetz, dem das Ausgangsmaterial während seiner erdgeschichtlichen Schicksale verfällt: *Aus der verholzten Substanz der Pflanzen entstehen durch immer weiter gehende Abnahme von O und H C-reichere Restprodukte*, bis sich schließlich der Kohlenstoff aus allen organischen Bindungen löst und als reines Element in der Form des Graphits zurückbleibt. Absolut gesehen vermehrt sich natürlich nicht die im Ausgangsmaterial vorhandene Kohlenstoffmenge; sie ver-

mindert sich gleichfalls fortlaufend, doch eilt eben die Abgabe von H und O dem Verlust an C bei weitem voraus. Dadurch kann sich der Kohlenstoff in einem an Rauminhalt und Gewicht im Vergleich zur Urablagerung stark verminderten Umwandlungsprodukt bzw. Rückstand zunehmend anreichern. Dieses Verhältnis wird besonders deutlich bei der Überlegung, welche Mengen von H und O in den einzelnen Stadien der Kohlenumbildung auf ein gleiches Quantum Kohlenstoff entfallen, also bei Umrechnung ihrer Werte auf $C=100$. So läßt sich auch gut erkennen, daß *die Abnahme des O-Gehaltes der jeweils zurückbleibenden festen Verbindungen bedeutend rascher erfolgt* als die des H-Anteils. (Über die Hauptursache dieser Erscheinung vgl. S. 108f.) Es sei gleich bemerkt, daß C, H und O im Verlauf der Kohlenwandlung hauptsächlich als neugebildetes Wasser (H_2O), in Kohlensäure (CO_2) und Methan (CH_4) entweichen und die Masse der Ablagerung nach und nach vermindern. Diese beiden Gase treten denn auch in kleineren oder größeren Mengen in den Kohlenlagerstätten auf, das Methan in den gefürchteten „Schlagenden Wettern“, die Kohlensäure meist nur in kleinen Mengen¹.

Jene Veränderung der Ausgangssubstanz bzw. der Kohlenarten bezeichnet man als *Inkohlung* (wohl zu unterscheiden von der *Verkohlung*, vgl. S. 87) und spricht von den einzelnen Kohlentypen als den Stufen einer *Inkohlungsreihe* — sofern natürlich ihre Ungleichheit im Verwandlungsgrad des Urmaterials und nicht in dessen völlig unterschiedlicher Beschaffenheit begründet ist (vgl. darüber S. 111).

In dieser Inkohlungsfolge sind alle Zustände durch Übergänge verbunden, und es entspricht weniger den natürlichen Verhältnissen als vielmehr der menschlichen Erkenntnis-

¹ In einigen Steinkohlenrevieren, z. B. in dem von Niederschlesien (Waldenburg, Neurode) kommt es gelegentlich der Druckentlastung durch den Bergbau immer wieder zu explosionsartigen Ausbrüchen von Kohlensäure aus den Flözen, die z. T. verheerende Folgen haben. Die gewaltigen Gasmengen, die dabei entbunden werden, sind jedoch nicht aus der Kohle entstanden, sondern entstammen nachvulkanischen Aushauchungen; sie stiegen an Spalten aus dem Erdinnern auf und wurden unter Druck in den Steinkohlenschichten in stark verdichteter Form gespeichert.

methode, aber auch praktischen, nämlich bergrechtlichen Bedürfnissen, wenn wir einzelne große Abschnitte aus dem lückenlosen Zusammenhang herausheben und mit besonderen Namen kennzeichnen. Begriffe wie Braunkohle usw. entsprechen also nur Entwicklungsausschnitten zwischen willkürlich vereinbarten Grenzwerten, innerhalb derer wiederum unzählige, wandlungsmäßig aufeinanderfolgende Stadien unterscheidbar sind.

Welche Vorgänge bilden nun aber die Brücke zwischen Anfang und Ende der möglichen Inkohlungs Zustände? *Welche Kräfte vermögen Ablagerungen pflanzlicher Reste in die chemisch gleichsam verdichtete kohlige Substanz umzubilden und diese in ihren inneren und äußeren Eigenschaften immer weiter der Urbeschaffenheit zu entfremden? Unter welchen Bedingungen kommen sie zur Einwirkung?* Offenbar vollziehen sich diese Veränderungen in der Hauptsache tief im Innern der Erde — denn an ihrer Oberfläche können wir nie die Entstehung echter Kohlen beobachten.

3. Die Humusstoffe.

Der Inkohlungsweg vom Torf zur Braunkohle.

In der Inkohlungsreihe erscheint der Torf als das jüngste Stadium; die zu seinem Zustand führenden Veränderungen, die *Vertorfung der Pflanzenteile*, spielen sich noch in der Gegenwart und gewissermaßen unter unseren Augen ab — und wenn wir nun nach den näheren Umständen und Einzelheiten, vor allem aber nach den Triebkräften der inkohlungs-mäßigen Stoffwandlung fragen, dann werden wir zweifellos vom näheren Studium der Vertorfungsvorgänge eine erste Auskunft erwarten können.

Das Schicksal der Pflanzenreste im Moor ist verschieden. Viele Pflanzenteile — denken wir nur an das Holz der Bäume — verfallen nach dem Absterben nicht gleich der vollständigen Einbettung. Sie sind, wenn auch noch so kurze Zeit — zunächst dem vollen und schließlich noch einem gehemmten Luftzutritt ausgesetzt. In dieser Übergangszeit unterliegen

viele wenig widerstandsfähige Stoffe des Zellinhalts, aber auch gewisser Membranen dem nach dem Tode rasch einsetzenden *biologischen* Abbau. Zucker und Stärke, Pektinstoffe und Hemizellulosen, vor allem aber viele stark wasserhaltige und labile Eiweißkörper des Zellinneren sind hier zu nennen. Schon am Anfang vollzieht sich also eine *Auslese zugunsten widerstandsfähigerer Stoffe vor allem der Zellwand*, die eine solche Zwischenzeit zu überdauern vermögen. Immerhin gelangen vor allem mit den rascherer Einbettung verfallenden Pflanzenblättern, mit Früchten und Samen und mit dem zarten Inhalt der Pollenkörner und Sporen und im Moor umkommender Tiere auch eine ganze Menge jener an der Luft so unbeständigen Substanzen noch in einigermaßen unversehrtem Zustand unter Sauerstoffabschluß.

Schon bei der Besprechung der Gyttja- und Faulschlamm-entstehung war die Rede davon, daß auch jetzt der biologische Abbau nicht ganz zur Ruhe kommt; *auch unter solchen anaëroben Verhältnissen sind bestimmte Gruppen von Bakterien und Pilzen befähigt, einen Teil der in der toten organischen Masse gespeicherten Spannkraft unter Zersetzung der Stoffe in Lebensenergie zu wandeln, indem sie gebundenen Sauerstoff zu Atmungs-, also Verbrennungsvorgängen benützen.* Kein tierischer oder pflanzlicher Stoff scheint diesem geheimnisvollen Geschehen, in das die Wissenschaft bisher nur wenig Einblick gewann, unverändert widerstehen zu können; alle erfahren dabei ihre Wandlungen, die allerdings verschiedener Art sind, verschiedenen Grad erreichen und für das Ganze eine nur sehr unvollständige Zersetzung bedeuten. Auch bei diesen Vorgängen geht ein Teil der Substanz schließlich in seine Urbestandteile auf und wird als Wasser, Kohlensäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff usw. flüchtig. Eine so weitgehende Zersetzung ist aber lediglich bei einzelnen Bestandteilen der Ablagerung, im übrigen nur in ganz beschränktem Maß möglich, da eben allein der in der organischen Masse selbst vorhandene Sauerstoff und auch von diesem nur ein kleiner Teil für die Lebenstätigkeit der Bakterien zur Veratmung der Stoffe verfügbar ist. Freilich geht noch ein weiterer Stoffanteil für

die Kohlenbildung dadurch verloren, daß aus manchen Substanzen durch Spaltungsvorgänge organische Produkte entstehen, die, wie z. B. Zuckerarten, wasserlöslich sind oder in gasförmigen Kohlenwasserstoffen entweichen, so als Sumpfgas oder Methan, CH_4 .

Eine Reihe pflanzlicher Stoffe verfällt also diesen Umbildungen ohne Zurücklassung fester und beständiger Reste; wiederum sind es vor allem die schon obengenannten Substanzen, die wenigstens zu erheblichem Teil sich auf diese Weise der Kohlenbildung entziehen.

Andere wieder sind dem bakteriellen Abbau nur in sehr geringem Ausmaß zugänglich und bleiben bei beschränktem Substanzverlust als widerstandsfähige Umwandlungsprodukte in der Ablagerung erhalten. So hauptsächlich einige Membranstoffe der Pflanzen, die demnach als wesentlichste Kohlenbildner in Betracht kommen.

Die geringste Angriffsmöglichkeit bietet den Mikroben die Gruppe der *Bitumenkörper*. Fettartige Pflanzenmembranen, ihre Wachsüberzüge, weiterhin auch die meisten Harze zeigen sich während der Vertorfung und auch noch lange in der Folgezeit in der Kohle kaum veränderlich. Sie geben höchstens — wahrscheinlich durch rein chemische Veränderungen und ohne Zutun biologischer Einwirkungen — einen Teil ihres Sauerstoffgehalts ab, während ihr *Wasserstoffanteil kaum verändert* wird. Im Bild der Elementaranalyse zeigt sich dann eine relative *Anreicherung nicht allein des Kohlenstoff-, sondern auch des Wasserstoffgehaltes*. Vorgänge, die zu solchem Ergebnis führen, bezeichnet man gegenüber der Inkohlung als *Bituminierung*.

Am Aufbau des Körpers (Trockensubstanz!) der Landpflanzen, gleichgültig welcher Lebensform und Zugehörigkeit, sind die beiden Gerüststoffe *Zellulose und Lignin* besonders hervorragend beteiligt¹. Ganz zweifellos war dies auch schon

¹ Nach GROSSKOPF lieferten z. B. die Bäume eines 100jährigen Kiefernforstes während ihrer Lebenszeit in Holz und Streu je Hektar 223 600 kg Zellulose und 164 800 kg Lignin.

bei der Pflanzenwelt früherer Erdzeitalter der Fall. Man wird daher zunächst bereit sein, *beiden* Stoffen eine große Bedeutung auch für die Bildung der Kohle beizumessen. Wir werden noch sehen, daß diese Annahme hinsichtlich der Zellulose einer Einschränkung bedarf. Die verholzte Zellwandsubstanz erleidet ein wesentlich anderes Schicksal als die Bitumenkörper. Ihre Baustoffe Zellulose und Lignin verschwinden als solche während der Vertorfung immer mehr aus ihr und werden — zweifellos als Folge biochemischer Vorgänge — unter Massenverlust durch braune kolloidale Restprodukte ersetzt, die unter gleichbleibenden Bedingungen keiner weiteren biologisch-chemischen Umwandlung mehr zugänglich sind. Die organische Chemie kennt sie unter dem Namen „*Humusstoffe*“; es ist ihr aber trotz aller Bemühungen und methodischen Verfeinerungen bisher nicht geglückt, die genaue Natur dieser Gemische hochmolekularer, veränderlicher Substanzen klarzustellen, denn jede auch noch so verfeinerte Untersuchungsmethode bedingt ihre Zerstörung, und die Ergebnisse beziehen sich nicht auf die ursprüngliche Beschaffenheit, sondern auf *Abbauprodukte*.

Wir wollen die **Humusstoffe** hier zunächst nur kennzeichnen als *braun bis schwarz gefärbte organische Substanzen, die bei der gehemmten Zersetzung höherer Pflanzenreste entstehen*. Ihr Kohlenstoffgehalt übertrifft im allgemeinen den des Ausgangsmaterials, während der relative Anteil von Sauerstoff und — in geringerem Maße — auch der Wasserstoffwert ihm gegenüber herabgesetzt ist.

Hier liegt also ein *echtes Inkohlungsprodukt* pflanzlicher Stoffe, wirkliche „*Kohlige Substanz*“ vor, die größtes Interesse erregen muß. Die Humusstoffe und ihre Umwandlungsprodukte sind nämlich auch die Hauptbestandteile der allermeisten Kohlen, die man daher als *Humuskohlen* bezeichnet. Andere brennbare organische Gesteine, die sich vorwiegend aus den Stoffen der Bitumengruppe (Fette, Wachse, Harze) aufbauen und auf die wir erst später zu sprechen kommen, gelten im geologischen Sinn *nur dann als Kohle, wenn sich Humussubstanzen an ihrem Aufbau wesentlich beteiligen*. In jedem Fall also sind die Humusstoffe die Träger bezeichnen-

der Eigenschaften der Kohlen; aber auch die Wandlungen, die Torf und Kohle in ihren inneren und äußeren Eigenschaften unter erdgeschichtlichen Schicksalen erfahren, sind bis weit in das Steinkohlenstadium hinein so gut wie ganz in den Veränderungen der Humusstoffe begründet.

Sie haben ursprünglich den *Charakter stark quellbarer, also überaus wasserhaltiger Kolloide*, die zum Teil in fester Form bestehen und die ursprüngliche Struktur verholzter Pflanzenorgane, z. B. des Holzes, noch lange bewahren können. Die Pflanzenreste nehmen dabei nach und nach plastische Beschaffenheit an. Manche dieser jungen Humusstoffe bilden kennzeichnend gelb bis dunkelbraun gefärbte *kolloidale Lösungen mit sauren Eigenschaften* („Schwarzwasser“), die in hohem Maß Kalk und Eisenverbindungen zu lösen und fortzuführen vermögen.

Dieses Verhalten der Humuswässer ist die Ursache auffallender Erscheinungen. „Moorleichen“ von Tier und Mensch sind nur in ihren widerstandsfähigsten Fett- und Eiweißsubstanzen (Haut, Haare usw.), aber ohne Skelet erhalten. Kalkige Tierreste (Knochen, Muschel- und Schneckenschalen u. a.) werden im Moor aufgelöst und finden sich ausnahmsweise und nur dann in Torf- und Kohlschichten bewahrt, wo das Moor auf kalkhaltigen Gesteinen ruht und die Humussäuren abgesättigt waren. Feldspathaltige Gesteine, z. B. Granit, werden in weiße tonige Massen (Kaolin) zersetzt. Durch Entfernung der färbenden Eisenverbindungen zeigen sich die Gesteine der Moorumgebung auffallend gebleicht. Torflager und Braunkohlenflöze sind daher oft von weißen Ton- und Sandgesteinen begleitet, deren besondere Reinheit sie für technische Zwecke hervorragend nutzbar macht (keramische Tone und Porzellanerde, Glassande usw.).

Aus den kolloidalen Lösungen können die Humusstoffe oder ihre Kalk-, Eisen- und Magnesiumverbindungen (Kalkhumate usw.) ausgefällt werden. Es entstehen *gallertige Bildungen*, die später bei fortschreitender Wasserabgabe zu äußerst dichten, homogenen, schwarzglänzenden und spröden Massen erhärten; solcherlei als „*Dopplerit*“ bezeichnete Abscheidungen homogener und strukturloser Humussubstanz können als Adern Torf- und Braunkohlenflöze und benachbarte Mineralgesteine durchziehen. Oft genug gelangen sie auch als tränkende Masse im zelligen Innern der Pflanzenreste, vor allem des Holzes, zur Abscheidung, die dann als Ganzes spröde und muschelartig-brechende, harte und glän-

zende Beschaffenheit bei guter Erhaltung der Strukturzeichnung annehmen (Dopplerit- und Glanzkohlenhölzer).

Unter bestimmten geologischen Bedingungen wandeln die Humusstoffe zunächst lediglich unter unumkehrbarem Rückgang der Quellbarkeit, weiterhin unter ausgesprochenen Inkohlungserscheinungen (C/H/O-Verhältnis!) ihre Eigenschaften durch *zunehmende Wasserabgabe* und Verhärtung, ins Schwarz dunkelnde Färbung, Steigerung des „Glanzes“ (= Reflexionsvermögen für Licht), veränderte Löslichkeit in Kalilauge, Verlust des sauren Charakters usw. Es sind eben die auch für die Umbildung der Kohlen typischen Wandlungen.

Mit Ausnahme der immer — wenn auch oft in geringer Menge — anwesenden Bitumenkörper, die ihre eigenen Wege gehen (siehe oben!), werden die *pflanzlichen Membranstoffe* (wahrscheinlich aber auch gewisse Eiweißstoffe, Zuckerarten u. a.) *bei der Vertorfung immer weiter in Humusstoffe umgewandelt*, so daß schließlich der größte Teil des Torfes aus diesen besteht, während unveränderte Substanzen fortschreitend abnehmen.

Es ist klar, daß für die Entstehung der Humusstoffe zu allererst die am Aufbau des Körpergerüsts der Pflanzen mengenmäßig so stark hervortretenden Substanzen Zellulose und Lignin als Ausgangsmaterial in Betracht kommen. Nach früheren Anschauungen sollte vor allem die *Zellulose* dafür von Bedeutung sein; den quantitativen Anteil des *Lignins* am Aufbau von Holz und Blattwerk der Gewächse unterschätzte man früher stark. Mit der Erforschung der Lignin-substanz erkannte man aber, daß diese Stoffgruppe nicht allein im Holz, sondern auch in der „Streu“ der Bäume den Anteil der Zellulose erreichen, ja sogar erheblich übertreffen kann (z. B. Buchenstreu!). Weiterhin konnte man feststellen, daß die an der Luft gegenüber biologischen und auch rein chemischen Angriffen sehr widerstandsfähige Zellulose unter anaeroben Bedingungen überaus leicht der Zersetzung bis zu flüchtigen Spaltungsprodukten unterliegt, während beim Lignin unter diesen Umständen kohlige Produkte, eben die Humusstoffe, zurückbleiben, die unter Luft-

abschluß und unter den von ihnen selbst geschaffenen sauren Bedingungen weiterhin für die Mikroben unangreifbar sind und erhalten bleiben. Sehr bezeichnend dafür ist die von der forstlichen Bodenkunde (W.GROSSKOPF) in Trocken-
torf (vgl. S. 33) beobachtete Erscheinung, daß Fortschritte der Torfumwandlung, die durch besonders starke Abnahme der *Zellulose* gekennzeichnet sind, keinen Zuwachs an *Humusstoffen* erbringen, während ihre Vermehrung in auffallender Weise und in entsprechender Menge in Umbildungsabschnitten erfolgt, in denen der Gehalt an unberührtem *Lignin* stark absinkt.

Unter den Ausgangsstoffen, welche die Pflanze liefert, ist also hauptsächlich das *Lignin* und nicht die *Zellulose* Bildner kohligter Substanz.

Trotzdem dürfte die *Zellulose* für die Kohlenentstehung nicht ganz bedeutungslos sein, da die Körperstoffe der an ihrem Abbau beteiligten Bakterien (widerstandsfähige Eiweißarten, vor allem aber ihre Chitinhaut) wahrscheinlich zu kohligter Substanz werden. Weiterhin können Torfe und junge Kohlen, die vor allem in den eingeschlossenen Holzresten noch unveränderte *Zellulose* führen, noch vor deren bakterieller Aufarbeitung durch geologische Kräfte einer stark inkohlenden Umbildung (vgl. weiter unten, S. 93) unterworfen werden, bei der auf rein chemischem Weg nachweisbar auch *Zellulose* zu Kohle wird. Ferner ist die in manchen Kohlen reichlich enthaltene „fossile Holzkohle“ (s. gleich unten!) zweifellos auch mit aus *Zellulose* hervorgegangen.

Außer durch Bituminierung und Humifizierung (also Inkohlung) kommen nämlich Pflanzenreste in den Mooren und Kohlenlagern zu mäßigem Anteil auch noch durch einen ganz anderen verändernden Vorgang zur Erhaltung: Durch die von der *Inkohlung* wohl zu unterscheidende *Verkohlung*.

Bei Wald- und Moorbränden kann Holzige Substanz, vor allem Holz im eigentlichen Sinn, infolge ungenügender Luftzufuhr oder starker Durchfeuchtung zu *Holzkohle* werden, wie wir sie auch künstlich in Meilern herstellen. Dabei werden die Zellwandstoffe durch ganz radikalen Entzug ihres Wasserstoff- und Sauerstoffgehalts (Dehydratisierung) in mehr minder reinen Kohlenstoff oder doch mindestens in anthrazitische Beschaffenheit überführt und gelangen in einem praktisch unveränderlichen Zustand in die Ablagerung. In dem der Kohlenstruktur gewidmeten Abschnitt wird ge-

zeigt werden, wie gerade diese „Fossile Holzkohle“ (auch Fusit genannt) infolge ihrer mechanischen und chemischen Widerstandsfähigkeit die ursprüngliche Zellstruktur der Pflanzenreste am längsten bewahrt. In manchen Steinkohlenlagern ist nun eine derartige Menge solchen Fusits enthalten, wie sie unmöglich durch Waldbrände entstanden gedacht werden kann. Auch aus anderen Beobachtungen und Überlegungen¹ heraus ist nicht daran zu zweifeln, daß Verkohlungsvorgänge irgendwelcher Art auch im Innern der Braunkohlenflöze auftreten und Braunkohlenhölzer in Holzkohle umbilden. Wie diese Wirkungen aber zustande kommen, ist bis jetzt ungeklärt.

Die im Innern der Torflager ablaufende Umsetzung der Pflanzenreste, also das fortschreitende Verschwinden ursprünglicher Stoffe wie Zellulose und Lignin usw., die *Bildung kohligter Massen, eben der Humussubstanzen*, aus Lignin und anderen Ausgangskörpern — alle diese Veränderungen werden zweifellos nahezu ausschließlich durch *Mikroben-tätigkeit* bewirkt; sie sind also biologisch-chemischer, nicht rein-chemischer Art und schöpfen ihre lebende Triebkraft *aus den inneren Bedingungen der Ablagerung*, aus der in ihren Stoffen gespeicherten Energie. Sie werden also nicht durch *von außen herangetragene Kräfte* in Gang gesetzt, im Fortschreiten erhalten. Die aus der Sphäre des Lebens stammenden und nur in ihr existenzfähigen organischen Ausgangsstoffe unterliegen — soweit sie nicht auch unter Luftabschluß bis zur Flüchtigkeit gespalten werden — so lange Umbildungen, bis ein Gleichgewichtszustand mit der neuen geologischen Umwelt erzielt und damit die Haltbarkeit der kohligen Restprodukte mindestens für die Dauer gleichbleibender Bedingungen erreicht ist.

Dieses anaerob-biologische Geschehen läuft, wie wir gleich sehen werden, *überaus langsam* für unsere menschlichen Begriffe ab. Die *Torflager* gehören der Gegenwart oder der jüngsten geologischen Vergangenheit an (Alluvium und Dilu-

¹ Vgl. JURASKY, Neue Untersuchungen und Gedanken zur Entstehung fossiler Holzkohle. In Schriften aus dem Gebiet der Brennstoffgeologie, Heft 2 (Enke, Stuttgart, 1929).

vium = Eiszeit mit Zwischeneiszeiten). Die ältesten von ihnen bildeten sich immerhin vor mehreren hunderttausend Jahren; in so alten Torfschichten ist die äußerliche Um- bildung, wie sie z. B. in der Zerstörung und Unkenntlich- werdung zarterer Pflanzenformen vor Augen tritt, schon weit vorgeschritten. Auch die Humifizierung hat bereits einen hohen Grad erreicht. Trotzdem lassen sich in widerstands- fähigen holzigen Organen, aber auch in der Hauptmasse noch immer unzeretzte Stoffe feststellen, vor allem ist noch ein Restbestand unveränderter Zellulose zu erkennen, also ge- rade einer unter den gegebenen Umständen minder wider- standsfähigen Substanz. Das beweist, daß die biologischen Wandlungen in jenem Zeitraum ihr Ziel noch nicht völlig erreicht haben und offenbar weiter im Gange sind.

Ein noch bedeutend längerer Zeitraum stand den umbil- denden Kräften in den ehemaligen *Torflagern der Miozän- zeit* zur Verfügung, also in den heutigen *Braunkohlenflözen*, deren Bildung schon einige Jahrmillionen zurückliegt. So sind denn auch aus der dichten, *äußerlich strukturlosen Hauptmasse* dieser Braunkohlen und aus kleineren, etwa noch in ihnen zu findenden Formresten Zellulose und Lignin nun- mehr gänzlich verschwunden; alle dafür geeigneten Aus- gangsstoffe sind in Humussubstanz umgewandelt worden. Nun kommen aber in diesen Flözen einschaltungsweise sehr große kohlig umgebildete Holzreste, ja ganze Stämme und Stümpfe gewaltiger Bäume vor. Wenn wir aus solchen *Braunkohlenhölzern* die Humusstoffe durch starke Alkalien, z. B. durch Kalilauge, herauslösen, bleibt ein schlohweißes Gefaser reiner Zellulose zurück. Auch Jahrmillionen fort- dauernder Bakterientätigkeit reichten also nicht aus, hier in diesen Holzresten, in deren stark verdickten Zellmembranen sehr kompakte und daher schwer angreifbare Massen vor- liegen, den letzten Rest von Zellulose zu vertilgen¹.

¹ In diesen Hölzern bietet die Zellulose der bakteriellen Wirksamkeit ein ungünstiges Verhältnis von Oberfläche, also Angriffsfläche zur Masse. Die starke Ligninimprägation, überdies die ursprüngliche Harzdurch- trängung der Zellwände (vgl. S. 68!), vermag überdies den Abbau der Zellulose lange aufzuhalten.

Untersuchen wir aber die weit älteren, hinsichtlich ihrer Bildung vielleicht an die 50 Jahrmillionen zurückliegenden und *aus der Eozänzeit stammenden Braunkohlen* Mitteldeutschlands (Halle, Geiseltal b. Merseburg, Zeitz und Weißenfels), so werden wir in den wenigen hier noch recht und schlecht erhaltenen Holzresten allermeist vergeblich nach Überbleibseln ursprünglicher Zellulose forschen: Jetzt, nach einem Zeitraum wahrhaft geologischen Ausmaßes, haben die Mikroben wenigstens hinsichtlich der Zellulosezersetzung die Grenze des Möglichen erreicht und, wie wir noch sehen werden, einen Zustand abgeschlossener Reife geschaffen.

4. Triebkräfte der Inkohlung auf dem Weg Braunkohle — Steinkohle (— Graphit).

Bekanntlich kann aber der Inkohlungsprozeß noch weiter gehen und Braunkohle über veredelte Zwischenstufen in Steinkohle, Anthrazit, ja Graphit wandeln.

Wir erkannten, wie der Inkohlungsprozeß bisher ohne Einwirkung äußerer Kräfte, nur aus den inneren Gegebenheiten der Ablagerung zunächst *bis zum Stadium der „reifen Erdbraunkohle“* fortschreitet — *wenn ihm genügend Zeit zur Verfügung steht*. Die Zeit ist also mindestens *am Anfang* der Entwicklung eine wesentliche Bedingung des Inkohlungserfolges, und der Gedanke liegt nahe und wurde vielfach auch vertreten, daß der erreichte *Umwandlungsgrad* einer Kohle bzw. des einstigen Torfs im wesentlichen vom Alter der Ablagerung abhängt, mithin eine Funktion der *Zeit* sei. Diese Annahme schien dadurch gestützt, daß die *Steinkohlenlager* in der Regel *alten*, meist *paläozoischen* Schichtfolgen (in Europa dem oberen Teil der Karbonformation) angehören, während die überdies meist oberflächennah lagernden (und daher vielfach im Tagbau gewinnbaren) *Braunkohlen* bei uns durchwegs den oft noch ziemlich lockeren (d. i. unverfestigten) Sedimenten der *Tertiärzeit* eingelagert sind, also im geologischen Sinn verhältnismäßig *jüngliche* Bildungen gegenüber den Steinkohlen darstellen. Der Altersunter-

schied tertiärer und karboner Kohlen ist überaus groß und dürfte nach einigermaßen glaubhaften Berechnungen mindestens 300 Millionen Jahre ausmachen. Man könnte also in dem unvergleichlich höheren Alter paläozoischer und auch mesozoischer Kohlen gegenüber den tertiären die maßgebliche Ursache auch des Inkohlungsunterschiedes der Steinkohlen gegenüber den Braunkohlen sehen.

Diese Auffassung, nämlich daß die kohlige Substanz aus einer Art Selbstveränderlichkeit heraus in der Zeit jeden beliebigen Inkohlungsgrad erreichen könne, mußte aufgegeben werden. Ihr Schicksal ist ein bemerkenswertes Beispiel, wie eine durch mancherlei Belege gesichert erscheinende Theorie mit einer einzigen Gegenbeobachtung entscheidend widerlegt werden kann. Man wurde nämlich immer mehr auf die merkwürdigen Verhältnisse einer in der Nähe von Moskau (bei Tula) abgebauten Kohle aufmerksam, die dem *Unterkarbon* angehört und damit sogar noch älter ist als die oberkarbonen Steinkohlen Mittel- und Westeuropas. Trotzdem trägt aber diese Kohle von Moskau noch alle Züge einer echten *Braunkohle*.

Doch auch im Bereich der großen karbonen *Steinkohlenlagerstätten* Europas und Nordamerikas machte man Beobachtungen, die sich mit jener Ansicht von der Zeit als maßgeblichem Faktor des Inkohlungsfortschrittes schlecht vertrugen. Man lernte *Breccien* und *Konglomerate* kennen, die dem jüngeren Paläozoikum, dem obersten *Oberkarbon* und der *Permformation* angehören und in denen die im ganzen gesehen geologisch nur unbedeutend älteren Karbonkohlen bereits in eckigen Bruchstücken oder in runden Geröllen eingekittet sind (Abb. 31). Daß diese Reste zertrümmerter Flöze als Steinkohle vorliegen, kann an sich nicht wundernehmen; das Entscheidende aber ist, daß sie zweifellos *schon als Steinkohle jenen Trümmergesteinen eingefügt wurden*. Das Zustandekommen der zackig-eckigen Form mancher dieser eingebackenen Bruchstücke setzt steinkohlenartige Konsistenz bei der Zertrümmerung voraus, ebenso die Art der Abrundung der Steinkohlengerölle in den Konglomeraten, der fehlende Massenschwund und die wohl zur Lagerung des ur-

sprünglichen Flözes, nicht aber zu der des Trümmergesteins ausgerichtete Orientierung gewisser Parallelstrukturen, die erst im Steinkohlenstadium zur Ausbildung kommen.

Für alle Steinkohlenlagerstätten, aus denen solche steinkohlenführende jungpaläozoische Trümmergesteine bekannt wurden, ist damit belegt, daß *die Kohlenablagerungen schon damals den Inkohlungszustand erreicht hatten, in dem sie heute noch vorliegen, und daß die seither verflossenen ungeheuren Zeiträume nichts mehr dazu beigetragen haben.*



Abb. 31. Eckige Steinkohlenbrocken enthaltende permische Breccie aus dem Zwickauer Steinkohlenrevier. $\frac{1}{2}$ nat. Gr. Aufn. K. A. Jurasky.

Dieses Beispiel beweist, daß die von innen getriebene „autonome“ Wandlung des Ausgangsmaterials nur den Anfangsabschnitt der Inkohlung zurücklegt und kein darüber hinausgehendes Stadium, wie etwa das der Steinkohle, erreichen kann, auch wenn die gewaltigsten Zeiträume darüber vergehen. *Mit der biochemischen Überführung aller nicht-bituminösen Pflanzenstoffe in Humussubstanzen wird in den durch völligen Zelluloseschwund gekennzeichneten reifen Erdbraunkohlen ein stofflicher Zustand erreicht, der bei gleichbleibenden äußeren Bedingungen (Luftabschluß, Druck-*

und Temperaturverhältnisse, keine Kalkzufuhr u. a. m.) *weiterer bakterieller oder sonstiger chemischer Veränderung nicht mehr unterliegt*¹, so gut wie endgültig ist und unbegrenzte Zeiträume ohne Wandel erhalten bleiben kann.

Man bezeichnet derartige begrenzte Umwandlungen einer Ablagerung, die in einer ruhenden geologischen Umwelt und nicht durch mehr minder gewaltsame äußere Einwirkungen erfolgen, als Diagenese, den anderen, weiter zu besprechenden Fall als Metamorphose.

Ein solcher *äußerer Ruhezustand* bleibt aber erdgeschichtlich nur selten, also in wenigen Regionen der Erdrinde über sehr große Zeiträume erhalten. Er kann *durch energetische Außeneinwirkungen gestört* werden, und zwar, wenn das Sediment erhöhtem *Druck* oder stark gesteigerter *Temperatur* ausgesetzt wird. Die kohligen organischen Massen reagieren auf solche Einwirkungen empfindlicher als irgendeine mineralische Ablagerung. Ihr komplizierter Stoffaufbau wird durch veränderte Außenbedingungen von neuem aus dem erreichten Gleichgewicht geworfen; es kommt zur Auslösung chemischer Umsetzungen, die bis zur Entstehung neuer, auch unter den veränderten Verhältnissen beständiger Verbindungen anhalten. Diese Wandlungen sind ebenso wie die bisherigen unumkehrbar (irreversibel): Der durch sie bewirkte Zustand bleibt auch nach dem Aufhören des äußeren Zwanges als Zeichen seiner einstigen Einwirkung bestehen. Die Veränderungen liegen wiederum auf der Linie der Inkohlung; ihr Fortschreiten ist aber nunmehr kein aus inneren Bedingungen ablaufender biologisch-chemischer Vorgang, sondern ein durch Energiezufuhr von außen angetriebenes rein chemisches Geschehen. *Aus gewöhnlichen Erdbraunkohlen, unter Umständen aber auch aus inkohlungsmaßig vorhergehenden Stadien* entstehen dunkler gefärbte, wasserarme und glänzende *Edelbraunkohlen*, weiterhin die *Steinkohlentypen*, schließlich *Anthrazit*, ja im äußersten Fall das aller organischen Bindungen ledige elementare *Mineral Gra-*

¹ Wir sehen ab von den die chemische Zusammensetzung kaum ändernden Alterungsprozessen der Humuskolloide (irreversible Abnahme der Quellbarkeit bzw. des Wassergehaltes) und den Polymerisationsvorgängen in den Bitumenkörpern (Harze!), die sich z. B. in herabgesetzter Löslichkeit und Erhöhung des Schmelzpunktes äußern.

phit. Die Intensität und — in gewissen Grenzen — wohl auch die Dauer der Einwirkung bestimmen den erreichten Inkohlungsfortschritt. Wir sehen daraus, daß die Gesamtinkohlung kein zusammenhängend-unaufhörlicher (kontinuierlicher), in der Zeit arbeitender Prozeß ist, sondern ein Vorgang, der, solange er auf innere Kräfte des Materials angewiesen bleibt, bald zum Stillstand kommt und nunmehr nur durch Außeneinwirkungen weiter gefördert werden kann.

Daß nun tatsächlich Einwirkungen solcher Art in der Natur für die Weiterführung der Inkohlung über das Braunkohlenstadium, also beispielsweise zur Herausbildung des Steinkohlencharakters maßgebend sind, das ist durch die genaue Betrachtung der geologischen Umwelt solcher edlerer Kohlenarten unzählige Male erwiesen worden; in solchen Fällen aber, wo uns besondere Verhältnisse eine Rekonstruktion der vorzeitlichen Einwirkungen nicht mehr gestatten, steht zumindestens nichts der Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit solcher Druck- und Wärmewirkungen entgegen.

Erhöhtem Druck wirksamen Ausmaßes können Kohlenflöze im Lauf ihres erdgeschichtlichen Schicksals durch *Überlagerung* mit Sedimenten bis zu mehreren tausend Metern Mächtigkeit, durch die Last der z. T. weit über 1000 m dicken Eiszeitgletscher ausgesetzt worden sein. Aber diese Belastungen sind noch unbedeutend gegenüber den über alles Maß gewaltigen Kräften, die beim faltenden Zusammenschub der Schichten durch *gebirgsbildende Vorgänge* wirksam werden.

Der Einwirkung *erhöhter Temperaturen* unterliegen Kohlenflöze durch die Berührung mit *glutflüssig aufdringenden Gesteinen* (Kontaktmetamorphose), durch die langandauernde *Wärmeabgabe* in der Tiefe ruhender *vulkanischer Herde* oder bis in ihre Nähe aufgedrungener glutflüssiger Gesteinskörper (Intrusionen) und schließlich durch die *Versenkung in große Erdtiefen*. Je weiter wir nämlich in das Innere des Erdballs mit Bohrungen oder Schächten eindringen, desto deutlicher kommt die Eigenwärme des Erdkörpers zur Geltung; im Durchschnitt steigt die Temperatur um 1° C auf 33 m Tiefenzuwachs (*Geothermische Tiefenstufe*).

In ehemals vulkanischen Gebieten erfolgt die Wärmezunahme noch viel rascher. Der Temperaturzuwachs beträgt also im Normalfall schon bei 3300 m Teufe an die 100° C. Verschiedene Steinkohlenlager waren aber zweifellos in weit größere Tiefen ehemals versenkt — oder sind es wohl auch heute noch. Ihrem Abbau steht dann selbst bei größter zukünftiger Vervollkommnung der technischen Hilfsmittel die Hitze des Erdinnern unüberwindlich entgegen.

Wie gesagt liefert das genaue Studium der Kohlenlagerstätten so viele Belege für die inkohlungsmaßige Wandlungen durch Druck und Wärme, daß wir zweifellos berechtigt sind, auch umgekehrt aus dem höher veredelten Zustand einer Kohle auf die ehemalige Einwirkung jener Faktoren zurückzuschließen.

Kehren wir zunächst zu dem auch im negativen Sinn so fruchtbaren Beispiel der Moskauer Braunkohle zurück; mit ihrem zurückgebliebenen Zustand stimmt die Tatsache überein, daß sie in nicht allzu großer Tiefe und in einem Schichtsystem liegt, das hier seit Urzeiten weder von gebirgsbildenden Vorgängen erfaßt noch von vulkanischen Ereignissen betroffen worden ist. Daß ein Schichtverband in so langen Zeiträumen, wie sie seit dem Unterkarbon vergangen sind (etwa 400 Millionen Jahre!), ungestört bleibt und auch nicht von sehr mächtigen Ablagerungen überdeckt wird, das ist nun auf der „ruhlosen Erde“ zweifellos ein ebenso großer Ausnahmefall, wie die Moskauer Braunkohle selbst.

Nahezu alle übrigen paläozoischen Kohlen liegen als Steinkohlen vor, aber wie schon erläutert, nicht wegen ihres hohen Alters an sich, sondern weil mit so langen Zeiträumen die Wahrscheinlichkeit des Eingreifens der eigentlich maßgebenden Faktoren gegeben ist.

Viel häufiger verwirklicht als die Erhaltung geologisch alter Kohlen in chemisch noch jugendlichem Zustand ist der umgekehrte Fall: Daß nämlich z. B. tertiäre Kohlen, die unter normalen Verhältnissen als Braunkohlen erhalten sind, einen darüber hinausgehenden Veredlungsgrad erlangt haben. Stets läßt sich dann eine Beziehung zu besonderen geologischen Umständen feststellen.

Zuweilen wurde nur der *Wassergehalt* der Kohle in unumkehrbarer Weise stark *erniedrigt*. Dieser Wasserverlust wird unter Einwirkung von Druck oder Wärme durch Änderungen des kolloidchemischen Zustands der Humussubstanz erzielt. Die Humusstoffe der gewöhnlichen Braunkohle können zunächst überaus viel Wasser festhalten, ähnlich stark gequollenen Gallerten. Dieser wasserfreundliche (hydrophile) Zustand vieler Kolloidkörper kann nun durch sogenannte Alterungserscheinungen, die durch Druck oder Wärme eine ausgesprochene Förderung erfahren, stark vermindert, ja sogar in ausgesprochen wasserfeindliches (hydrophobes) Verhalten verändert werden, wobei ein großer Teil des ursprünglichen Wassergehalts der Kohle ausgeschieden wird. Derartige Veränderungen der Kohle geben sich schon äußerlich durch ihre stark verringerte Benetzbarkeit durch Wasser zu erkennen. Solche Kohlen sind vom technischen Standpunkt trotz fehlender oder doch kaum merklicher Inkohlungsfortschritte ausgesprochen veredelt, da der Wassergehalt der Kohle ja ebenso wie die mineralische Beimengung ein die nutzbare Energie stark vermindender Ballaststoff ist.

Ein gutes Beispiel für eine vorwiegend kolloidchemische, weniger aber inkohlungsmäßige Veredlung von Braunkohlen durch äußere Einwirkungen und für die dabei möglichen physikalischen Veränderungen bieten die *oberbayrischen Pechkohlen*. Sie gehören ähnlichen, geologisch verhältnismäßig jungen, nämlich alttertiären Schichten an, die in Mitteldeutschland große Lager lockerer Erdbraunkohlen führen. Während aber diese Ablagerungen in Mitteldeutschland im großen und ganzen in Ruhe blieben, wurden sie im Alpenvorland noch von der *Gebirgsfaltung* miterfaßt. Die in diese Sedimente eingeschalteten Kohlenflöze, die sogar noch etwas jünger sind als die Mitteldeutschlands, haben dadurch eine äußerlich steinkohlenähnliche Beschaffenheit erlangt, während ähnliche Vorkommen weiter im Innern der Alpen durch die daselbst noch stärker wirksamen Faltungskräfte sogar wirklich zu Steinkohlen wurden. Sie sind fest und völlig homogen, hart, schwarz und stark glänzend geworden. Wie ihre chemische Beschaffenheit, die braune Farbe ihres Strich-

pulvers und ihr noch verhältnismäßig geringes spezifisches Gewicht erkennen lassen, sind sie aber noch durchaus als Braunkohlen zu betrachten.

Viele Stücke lassen am wirr verformten Verlauf der noch erkennbaren Holzmaserung und an den in unzählige Schlangenbögen zusammengefalteten dünnen Lagen ursprünglich geradflächig eingelagerter Nebengesteinsschichten, insgesamt an einer Art Knetstruktur den ehemals plastischen Zustand ebenso wie die Stärke der Druckwirkung erkennen und zeigen zugleich, daß die Kohle bei ihren kolloidchemischen Wandlungen einen Zustand plastischer Verformbarkeit durchlaufen hat.

Aus wohl allen großen Kettengebirgen der Erde sind in noch mitgefalteten jugendlichen Schichtverbänden Kohlenflöze beobachtet worden, die durch den gewaltigen Faltungsdruck, der tausende Meter mächtige Gesteinsserien gleichsam mühelos zusammenschob, eine bis zum Zustand der Steinkohle vorgeschrittene Reife erreicht haben. Aber auch *ältere*, bei Beginn der Gebirgsbildung schon als Steinkohlen vorgelegene Kohlen wurden durch solche Einwirkungen weitergewandelt, und wiederum finden sich auch in den Alpen Beispiele dafür. Karbonflöze der Schweizer Hochalpen liegen als *Anthrazite* vor und sind in besonders stark beanspruchten Partien sogar in *Graphit* umgewandelt worden. Durch und durch Graphit wurden karbone Steinkohlen inmitten der Steirischen Ostalpen. Die ansehnlichen Flöze des steirischen Graphits, die äußerlich oft noch deutlich den geschichteten Aufbau der ursprünglichen Steinkohle zeigen und überdies von Schiefnern mit den typischen Pflanzen„versteinerungen“ der Karbonzeit begleitet sind, werden seit alter Zeit abgebaut.

Weitere bemerkenswerte Tatsachen zur inkohlenden Wirkung des Faltungsdrucks (Dynamometamorphose) werden bei der Besprechung des Zustandes der großen Steinkohlenlager angeführt werden.

Sehr auffallend und weitgehend kann der Inkohlungsgrad durch *vulkanische Wärme* gefördert werden; zahlreiche Belege dafür sind aus aller Welt, die klassischen gerade aus Deutschland bekannt geworden. Die eindrucksvollsten Verhältnisse dieser Art bietet eine ganz junge (pliozäne) Kohle in *Niederländisch-Indien* (Moera Enim auf Sumatra), die nebeneinander in allen denkbaren Stadien der Verwandlung

(Metamorphose) erhalten ist. Sie gehört einem Schichtverband an, der mehrfach von vulkanischen Laven (Andesiten) durchbrochen worden ist. An verschiedenen wenig beeinflussten Stellen zeigt sie sich in dem ihrem Alter entsprechenden Normalzustand als Braunkohle geringer Reife; in der engeren und engsten Nachbarschaft des vulkanischen Gesteins läßt sich eine lückenlose Reihe zunehmender Verwandlung verfolgen, von der Glanzbraunkohle über Steinkohlenstadien bis zum echten, schweren, metallglänzenden Anthrazit.

Ein Fall derartiger Vollzähligkeit aller Veredlungsgrade innerhalb ein und derselben Lagerstätte ist uns zwar aus *Deutschland* nicht bekannt; dafür lassen die verschiedenen Fälle, in denen es auch hier zur Veränderung von Kohlen durch empordringende Glutflüsse kam, eine sehr große Mannigfaltigkeit der Nachbarschafts- bzw. der Berührungsverhältnisse und die verschiedenartigsten Grade der Warmwirkung studieren. Gebiete, in denen im Tertiär sich neben- oder *nacheinander Torfbildung und Vulkanismus* abspielten, sind u. a. Nieder- und Oberhessen, Rhön und Westerwald, vor allem aber das nordwestliche Sudetenland. Immer wieder einmal werden in diesen Gegenden durch die Tätigkeit des Bergmanns die durch die Flöze stoßenden, oft in ihnen reich verästelten Ausbruchswegen tertiärer Laven (meist Basalte) angefahren und freigelegt. Die erstarrte, senkrecht zur Abkühlungsfläche oft in die bekannten Basaltsäulen gegliederte Lava füllt bald als „Stiel“ schlotförmige Durchbruchskanäle, bald in tafelförmigen Gebilden („Gängen“) mächtige, von ihr selbst erzwungene oder erweiterte Erdspalten. Zuweilen hat sich bis an die Oberfläche emporgedrungene Lava als „Decke“ über junge Torflager ergossen oder — die Schichten gleichsam aufblättern — in ähnlicher Form in der Tiefe als Lagergang oder „Sill“ zwischen Flöz und Nebengestein gezwängt.

Oft genug sind Teile der ehemals zusammenhängenden Flöze samt ihren Begleitgesteinen *nur unter solchen mächtigen Hauben harten Basaltes erhalten* geblieben, während ihre Umgebung der Abtragung, Zertalung und Verebnung verfiel. Das berühmteste Beispiel dieser Art ist der *Hohe Meißner* in Niederhessen; unmittelbar unter den ursprünglich vielleicht an die 300 m mächtigen Basaltmassen, welche die Kappe dieses

weithin als Landmarke erkennbaren Berges aufbauen, liegt ein bis zu 30 m dickes, durch die Hitze des Glutflusses von oben nach unten verändertes Braunkohlenflöz. Nicht weit davon kann man in den Stollen des bei Großalmerode gelegenen *Hirschbergs* die Erscheinungen dieser „Kontaktmetamorphose der Kohlen“ an eingedrungenen und im Flöz verzweigten, heute z. T. durch die Humuswässer verlehnten Basaltgängen besonders schön verfolgen.

Das ehemals glutflüssige Ausbruchsgestein ist im Flöz von einem Mantel auffallend veränderter Kohle umgeben; an die Berührungsfläche schließt sich oft eine Lage von porösem silbergrauem „*Naturkoks*“ (in Wahrheit meist porös umgeschmolzene Kohle anthrazitischer Beschaffenheit) oder



Abb. 32. Säulige Steinkohle („Stangenkohle“) am Kontakt Braunkohle — Basaltlava (hell, oben). Hirschberg b. Kassel. Aufn. K. A. Jurasky, 1930.

offenkundiger *Steinkohle* an. Sie ist vielfach durch den bei der plötzlichen Wasserabgabe und Inkohlung eingetretenen Massenschwund in zierliche, zur Erhitzungsfläche senkrecht angeordnete Polygonalsäulchen gegliedert (Abb. 32). Zuweilen ist die Kohle in Kontaktnähe auch glänzend schwarz, von großen, bei der Umschmelzung¹ entstandenen Blasen-

¹ Daß ein verbrennlicher Stoff wie die Kohle auch schmelzen kann, ist dem Außenstehenden oft eine ungewohnte Vorstellung. Unter Luftabschluß ist dies aber bei höheren Temperaturen leicht zu erreichen, und auch der künstlich hergestellte Koks ist ja umgeschmolzene Kohle bzw. ein Schmelzrückstand. Hier hatten allerdings die durch Hitze verflüchtigten Bitumenstoffe der Kohle die Möglichkeit, zu entweichen (als Gas und Teer), so daß technischer Koks, zum Unterschied eben vom „Natur-

räumen durchsetzt — oder auch völlig dicht und homogen und dann ganz ähnlich den oberbayrischen *Pechglanzkohlen*. An diese hochveränderten Kontaktzonen schließen sich nach dem Innern des Flözes zu verschiedene Zwischenstufen bis zur normalen braunkohligen Beschaffenheit an: homogene, den bayrischen Pechkohlen gleichende *Glanzbraunkohlen* (die zuweilen dem Inkohlungsstand der Steinkohle ziemlich nahekommen), öfter aber noch schon am „Strich“ als echte Braunkohlen zu erkennen sind; dann sogenannte *Schwarzkohlen* von matter bis schwach glänzender schwarzer Farbe, eine Varietät, die ihre Beschaffenheit meist weniger echtem Inkohlungsfortschritt als der starken Wasserabgabe verdankt.

Alle diese durch die *Berührung* mit dem Glutfluß in der Kohle zustande gekommenen Veränderungen sind zwar überaus auffallend; sie besitzen aber im allgemeinen nur den Charakter rein *lokaler*, meist auf den Umkreis weniger Meter beschränkter *Besonderheiten*, denen keine große wirtschaftliche Bedeutung zukommt. Im *Sudetendeutschen Braunkohlenrevier* zwischen dem Elblauf und dem östlichen Egerland wurde durch neueste Forschungen¹ eine viel großzügigere *Beeinflussung durch vulkanische Wärme* bekannt.

Diese sehr reichen und edlen Braunkohlenlager liegen im Bereich einer gewaltigen grabenförmigen Einbruchszone des Landes, deren Nordrand sich in der mauerartig-steilen Stufe des sonst so sanfthügeligen Erzgebirges noch heute deutlich ausprägt. Vermoorung und Flözbildung standen mit den Senkungs- und Einbruchsbewegungen der Erdkruste im Zusammenhang, ebenso wie die spätere Verschüttung und Bewahrung der Kohlenschichten unter mächtigen Tonen und Sanden (vgl. S. 38). An den tief ins Erdinnere greifenden Spalten der Bruchzone drangen Lavamassen auf und gestalteten dieses Gebiet zu einer der großartigsten Vulkanlandschaften Europas. Das durch seine reizvolle Schönheit berühmte Böhmisches Mittelgebirge mit seinen Kegel- und Tafelbergen baut sich ebenso wie das gegen Westen anschließende Duppauer Gebirge aus den von der Abtragung herausgearbeiteten Lavakernen und Basaltströmen der tertiären Feuerberge auf.

Auch hier, besonders zwischen Bilin und Aussig, finden wir stellenweise alle jene schon genannten Erscheinungen der Be-

koks“, nur mehr aus reinem Kohlenstoff (abgesehen von der Aschenbeimengung) besteht.

¹ Vgl. JURASKY, K. A.: Der Veredlungszustand der sudetendeutschen Braunkohlen als Folge vulkanischer Durchwärmung. Abhandlungen der Reichsstelle für Bodenforschung, Zweigstelle Freiberg, 1940.

rührungsmetamorphose in den Kohlenflözen, und auch hier handelt es sich wiederum nur um räumlich eng begrenzte Merkwürdigkeiten. Im übrigen besitzt aber die sudetendeutsche Braunkohle *ziemlich allgemein* — und in einzelnen Bezirken in besonders hohem Maße — eine *weit edlere Beschaffenheit als die gleichaltrigen Vorkommen des Altreichs* (z. B. der Niederlausitz). Ihr Wasserballast ist bis auf die Hälfte verringert, der Kohlenstoffgehalt z. T. auch in der Reinsubstanz stark erhöht; sie ist stückig und fest, im ganzen genommen ein hochwertiger Rohstoff. Im Gebiet zwischen Ossegg und Bruch kommt sie sogar in allen ihren Eigenschaften der Steinkohle nahe. Obwohl hier keine unmittelbare Berührung mit Lavagesteinen zu beobachten ist, so kann doch kein Zweifel mehr an der *vulkanischen* Bewirkung dieser Sondereigenschaften der meisten sudetenländischen Braunkohlen bestehen: Die von dem in der Tiefe ruhenden Vulkanherd und seinen vorgeschobenen Posten¹ ausgehende langandauernde Durchwärmung der überlagernden Gesteinspakete bewirkte erhebliche Fortschritte im Inkohlungszustand der eingeschalteten Braunkohlenlager. Die Kohle birgt überdies Erscheinungen, die nur mit Hitzeeinflüssen erklärt werden können; so ist in gewissen Gebieten ein Teil der in der Kohlenmasse eingebetteten Harzkörper geschmolzen worden; das ehemals *verflüssigte Harz* durchsickerte die im Flöz aufgerissenen Klüfte und Spalten und erstarrte schließlich in ihnen zu Gängen einer spröden, hochglänzenden, durch Humusstoffe schwarz gefärbten Masse, die im Revier „*Duxit*“ genannt wird (Abb. 33).

Daß übrigens die vulkanischen Massen der Tiefe in diesem Gebiet heute noch Wärme abgeben, zeigt die gegen das Erdinnere sehr rasch vorschreitende Wärmezunahme (also die verringerte geothermische Tiefenstufe, vgl. S. 94) und die große Zahl heißer Quellen (Thermen), deren berühmteste der Karlsbader Sprudel ist. Auch die im sudetenländischen Braunkohlenrevier dem Boden reichlich entströmende Kohlensäure entstammt nicht, wie man vielfach hört, den Flözen, sondern ist als Aushauchung des sterbenden Vulkanismus zu betrachten.

¹ Den sogenannten Intrusivkörpern, Magmamassen, die nicht bis an die Erdoberfläche durchbrachen, sondern in der Tiefe steckenblieben und überaus langsam erkalteten.

Zu erwähnen wäre noch, daß an zahlreichen Stellen der Erde auch ehemalige *Steinkohlen* durch vulkanische Wärme lokal weitgehende Veränderungen erfahren haben und in der Nähe von Lavagesteinen zuweilen alle Übergänge in *Anthrazit* und sogar auch *Graphit* erkennen lassen (abbauwürdige Graphitvorkommen von Cummock in Ayrshire, Großbritannien; Karsuarsuk in Grönland; Provinz Nagato in Japan; Mt. Bopple in Queensland u. a. O.).

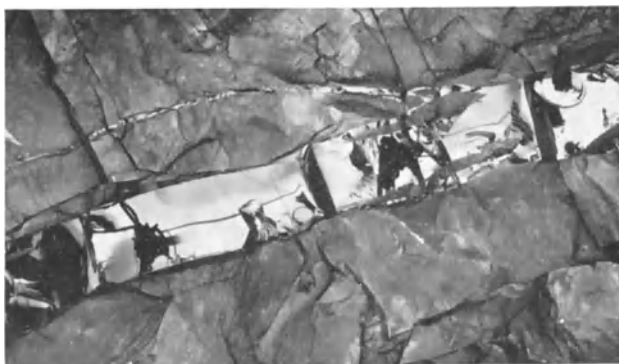


Abb. 33. Duxitgang in sudetenländischer Braunkohle (Ellyschacht bei Brüx): Ehemals durch vulkanische Wärme verflüssigtes, später in Flözspalten erstarrtes Braunkohlenharz. Nat. Gr. Aufn. K. A. Jurasky, 1939.

5. Der Inkohlungszustand der karbonen Steinkohlen und seine Bewirkung.

An einer ganzen Reihe von Belegen haben wir eben die inkohlenden Wirkungen von Druck und Wärme kennengelernt. Es wird manchem auffallen, daß bisher keine unserer *großen karbonen Steinkohlenlagerstätten*, etwa die Westfalens oder Oberschlesiens, als Beispiel erwähnt worden ist. Es kann indessen kein Zweifel darüber bestehen, daß *auch hier* der vorgeschrittene Zustand der Inkohlung durch die *gleichen Faktoren* und durch nichts anderes erreicht worden ist. Es kann hier freilich nicht so leicht eindeutig entschieden werden, ob Druck oder Wärme maßgebend waren und wie und wodurch

sie in so großräumigem (regionalem) Ausmaß zur Einwirkung kamen. Die Erörterung dieser Dinge bietet Gelegenheit, zuvor auf die *inkohlungsmäßigen Unterschiede* einzugehen, die *auch innerhalb des Steinkohlenstadiums* zu bemerken sind. Die großen karbonen Steinkohlenvorkommen führen innerhalb eines Schichtpakets von mehreren tausend Metern Mächtigkeit (in Westfalen 6500 m!) zuweilen an hundert übereinandergelagerte Flöze, deren *Teufenunterschied* mehrere tausend Meter betragen kann, und die also innerhalb der vielleicht Jahrtausenden andauernden Ablagerung der Schichtfolge erhebliche *Altersunterschiede* aufweisen können, und die natürlich auch dementsprechend *verschiedenem Überlagerungsdruck* ausgesetzt waren. In einer so mächtigen Schichtenfolge lassen die einzelnen Flöze und Flözgruppen naturgemäß auch bei gleichartigem Ausgangsmaterial erhebliche Unterschiede ihrer chemischen Beschaffenheit erkennen, die auf einem *gegen die Tiefe zunehmendem Inkohlungsgrad* beruhen. Der Gehalt der Steinkohlen an *Flüchtigen Bestandteilen* (Teer + Gas), der eng mit der Höhe ihres Wasserstoffgehalts zusammenhängt, ist in den oberen Flözgruppen am stärksten und nimmt gegen die Tiefe ab. Diese sogenannte *HILTSche Regel* ist sehr deutlich im *Rheinisch-Westfälischen* Steinkohlengebiet verwirklicht; in manchen andern großen Lagerstätten ist sie zuweilen durch die zusätzlich-inkohlenden Folgen mannigfaltiger Lagerungsstörungen stark überdeckt und verwischt und kann bestenfalls in den Grundlagen erkannt werden. Um Mißverständnissen zuvorzukommen, muß ich vielleicht hier erwähnen, daß für die Geltung der HILTSchen Regel nicht etwa die *heute* verwirklichte *absolute* Tiefenlage der Flöze, sondern ihre geologisch gekennzeichnete gegenseitige Lagebeziehung maßgebend ist, daß also diese Verhältnisse schon längst vor der Herausbildung der heutigen, unter Mitwirkung von Schichtenabtragung entstandenen Landoberfläche erreicht worden waren. Auch dies wird im Westfälischen Revier sehr deutlich. Wenn wir die mannigfaltigen und oft sehr tiefgreifenden Komplikationen der Lagerungsverhältnisse unberücksichtigt lassen und die dortigen Verhältnisse ganz stark schematisch be-

trachten, so gewinnen wir von den in Westfalen ursprünglich bis an die 6500 m mächtigen Karbonablagerungen das Bild einer gewaltigen Gesteinstafel, die nach Norden, gegen Holland zu, abwärts geneigt ist und deren aufragender Südteil im Gebiet z. B. des Ruhrtals von der heutigen Landoberfläche schräg bis auf das Zutagetreten unterer Partien abgeschnitten wird. Im Süden, gegen das Ruhrtal zu, liegen die ältesten und ursprünglich zutiefst gelagerten Flöze (Magerkohlengruppe) im Bereich des Bergbaus, ja streichen hier sogar vielfach, z. B. bei Essen-Steele, zutage aus. Dieser *im geologischen Sinn tiefe* Flözverband, die *Magerkohlengruppe*, führt stark inkohlte, gasarme Kohlen. Alles, was an Flözen darüber abgelagert worden war, ist im Süden schon in früheren Zeiträumen abgetragen und mit sandigen Sedimenten der Kreidezeit überdeckt worden. Diese höheren Flözgruppen stellen sich entsprechend der Neigung des Schichtenkomplexes nach Norden zu in immer größerer Vollzähligkeit ein, während hier die unterlagernden Magerkohlen schließlich in eine dem Bergbau nicht mehr zugängliche Teufe versinken; je nördlicher die Bergwerke liegen, um so jüngere, um so geringer inkohlte und um so gasreichere Flözgruppen werden von ihm abgebaut. Über der Magerkohlengruppe liegt die *Fettkohlen- und darüber wieder die Gasflammkohlengruppe*. Man kann in Westfalen die ganze Flözfolge nach dem Inkohlungsgrad bzw. nach dem Gehalt an Flüchtigen Bestandteilen gliedern und unterscheidet demnach:

Tabelle 2.

Flammkohle und Gasflammkohle (= jüngste Flözserie).....	35—45 %	Flücht.-Best.
Gaskohlen	28—35 %	„ „
— Inkohlungsprung —		
Fettkohlen	18—28 %	„ „
Eßkohlen.....	12—18 %	„ „
Magerkohlen (und Halbanthrazite)	5—12 %	„ „
Anthrazite	weniger	

Zu bemerken ist, daß diese Zahlen (nach KUKUK) wissenschaftlichen, d. h. geologischen Gesichtspunkten entsprechen; die gleichnamigen Qualitätsbezeichnungen des Handels rechnen mit etwas höheren Werten.

Wir kehren nun zu unserem Ausgangspunkt zurück, der Frage nach den *maßgeblichen Ursachen der Umwandlung der Karbonflöze in Steinkohle*. Nach dem eben über die Tiefenlage der einzelnen Flözgruppen, der Magerkohlen usw. Gesagten scheint der Zusammenhang des Inkohlungszustandes mit dem Druck der entsprechenden Überlagerung und gleichzeitig mit der in größeren Tiefen herrschenden höheren Temperatur ziemlich eindeutig zu sein; eine gewisse Mitwirkung dieser Faktoren wird man auch zugestehen müssen. Die ausschlaggebende Bedeutung hatten aber wohl die ungeheuren *Druckkräfte von Faltungsbewegungen*, die schon zur Zeit der Ablagerung der ersten Flözfolgen eingesetzt hatten, während des Aufbaues der ganzen Schichtenfolge in gesteigerter Intensität weitergingen und *am Ende des Oberkarbons* zur Entstehung gewaltiger Gebirgszüge führten, in Europa insbesondere des *Varistischen Gebirges*, als dessen Abtragungsreste viele deutsche Mittelgebirge zu betrachten sind (Rheinisches Schiefergebirge, Harz, Frankenwald, Fichtelgebirge usw.). Die Steinkohlenlagerstätten liegen gleichsam im Schatten dieses alten Gebirgszuges, sie lehnen sich in auffallender Weise an seine Flanken. Dieser räumliche Zusammenhang ist darin begründet, daß die Gebirgsfaltung in ihrem Vorland Einmuldungen der Erdkruste mit sich brachte und damit die Bedingungen großräumiger Vermooring schuf. Aber diese in ihrer Großzügigkeit die Alpenbildung noch bei weitem übertreffende Gebirgsauffaltung hat nicht allein die geologischen Voraussetzungen der Flözablagerung gegeben — *sie hatte darüber hinaus offensichtlich schon an der Wende vom Karbon zum Perm oder wenig später diese ehemaligen Torflager in einen dem heute vorliegenden, mindestens schon sehr nahestehenden Inkohlungs- zustand, eben den der Steinkohle, versetzt*; das zeigen eben jene am Ende des Oberkarbons und zu Anfang der Permformation entstandenen Steinkohlenbreccien und -konglomerate, an deren ausführliche Besprechung (S. 91, Abb. 31) wir uns jetzt nochmals erinnern wollen. Gewisse Erscheinungen an ihnen deuten sogar darauf hin, daß damals sogar schon jene Inkohlungsunterschiede der einzelnen Flözgrup-

pen fertig vorlagen. Diese großen Zusammenhänge aus der Beobachtung und gedanklichen Verbindung kleiner, unbedeutend erscheinender Einzelheiten erkannt zu haben, muß als ein Meisterstück der Forschung bezeichnet werden, die sich die durch den Bergbau geschaffenen Möglichkeiten nicht entgehen ließ und von ihm auch in großzügiger Weise unterstützt wurde.

Alle großen karbonen Steinkohlenlagerstätten Europas usw. wurden durch diese oberkarbonen Erdkrustenbewegungen in ihren Lagerungsverhältnissen umgeformt, ihre Schichtverbände mehr minder stark in Falten zusammengeschoben; immer wieder einmal sind sie dabei zerrissen und in großartigen, z. T. an die 100 km reichenden Überschiebungen übereinander fortgedrängt worden. Die übereinander abgelagerten Karbongesteine mit ihren Flözen sind in manchen Gebieten, wie z. B. im Aachener Revier, durch den Zusammenschub geradezu in Zickzackfalten verknittert worden (Abb. 34); auch das oberschlesische Revier zeigt überaus starke Lagerungsstörungen.

Da die Faltung während des ganzen Oberkarbons anhielt, wurden die früher abgelagerten, also die älteren Flözgruppen viel mehr und viel länger von ihren Druckwirkungen beansprucht und daher in entsprechend gesteigertem Grad höher inkohlt. In Westfalen z. B. zeigt sich ganz entsprechend ihrem „Reifezustand“ die tiefst gelegene Magerkohlenserie am stärksten, die Fettkohlengruppe deutlich geringer und die zuletzt abgelagerte Gasflammkohlengruppe am wenigsten verfaltet, also in ihrer Lagerung vom ursprünglichen Zustand entfernt. Was nun in diesem großen Steinkohlenebiet typisch nach der HILTSchen Regel übereinander verwirklicht ist — der Zusammenhang zwischen Faltungsintensität und Inkohlungsgrad —, das läßt sich, jene Regel überdeckend, in anderen Lagerstätten wiederum in räumlichem Nebeneinander beobachten. Besonders eindeutige Verhältnisse dieser Art bietet das sich über 250 Meilen Breite erstreckende Appalachianische Kohlenfeld im östlichen Nordamerika. Im Westen dieses Gebietes lagern die flözführenden Schichten ziemlich flach oder in nur unbedeutenden Wellen; im östlichen

Drittel der Erstreckung hingegen tritt eine immer stärker ausgeprägte *Faltung* auf. Wie das Ergebnis unzähliger genauer Analysen gezeigt hat, steigt der Inkohlungsgrad in genauer Übereinstimmung mit der Zunahme der Faltungsintensität. Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen der aschen- und wasserfreien Kohle sinkt hier von 40 bis auf 17%. Es liegen noch viele Beobachtungen ähnlicher Art vor. Im Einklang mit dem eben angeführten Fall nimmt auch im *Oberschlesischen Gebiet* der erreichte Inkohlungsgrad mit der sich von Ost nach West steigernden Faltung der Schichten zu; entsprechende Verhältnisse treten auch im *Aachener Revier* usw. auf, und es besteht wohl kaum viel Zweifel mehr darüber, daß vor allem gebirgsbildende Kräfte die karbonene Kohle in den heutigen Zustand gewandelt haben.

6. Das Verhalten der primären Bitumenkörper während der Inkohlung der Humussubstanz. Der Inkohlungsprung.

Ich bitte, noch einmal in der Tabelle auf S. 79 das Verhalten von H und O während der fortschreitenden Inkohlung zu betrachten: Es ist aus ihr zu entnehmen, daß *während der Kohlenwandlung der Wasserstoffwert lange in weit geringerem Grad abnimmt* als der Anteil an Sauerstoff; zwischen Steinkohle und Anthrazit ist dann aber plötzlich ein ziemlich steiles Absinken bemerkbar. Dieses Verhalten ist hauptsächlich darin begründet, daß *keine Kohle* — wie wir bisher stillschweigend voraussetzten — aus dem eigentlichen Träger der Inkohlung, der *Humussubstanz allein*, besteht, sondern daß in Wahrheit jede *auch noch Bitumenstoffe* in der Form von Kutikeln, Sporen, Pollen, Harzkörpern usw. enthält; diese Substanzen verhalten sich aber wesentlich anders als die Humussubstanz. Während nämlich diese inkohlt, d. h. O und H fortlaufend verliert, geben die *Bitumenstoffe* langhin fast allein O ab, und neben dem Kohlenstoff reichert sich in ihnen auch der Wasserstoff ab. Da sie also ihren an sich schon hohen Wasserstoffgehalt auch starken Außeneinwir-

kungen gegenüber zähe verteidigen, kann im größten Teil der Entwicklung eine Wasserstoffverminderung in der Gesamtkohle nur in geringerem Maß, im wesentlichen nur durch die inkohlungsmäßige H-Abgabe der *Humussubstanz* erfolgen. *Jene Fähigkeit der Bitumenkörper findet nun inmitten des Steinkohlenstadiums, und zwar am Übergang von der Gaskohle zur Fettkohle* (vgl. S. 104), *eine Grenze*. Die Außeneinflüsse, welche die eine in die andere überführen, werden hier übermächtig und erzwingen *unvermittelt und sprunghaft* den stofflichen Zerfall der Bitumenkörper, während die Veränderung der Humusstoffe auch diese Grenze *gleichmäßig-gleitend* überbrückt. Die Stofflichkeit der Bitumina holt hier gleichsam das bisher Versäumte plötzlich nach und nähert sich der Beschaffenheit des Humusanteils; ein Großteil ihres Wasserstoffgehalts wird als *Methan* (CH_4) frei entbunden. Die „*Schlagenden Wetter*“ der Bergleute, hochexplosive Methan-Luftgemische, treten daher besonders gefahrbringend in den Fettkohlenflözen auf. Jenes Verhalten der Bitumenkörper kommt natürlich — etwas gemildert — auch in dem knickhaften Absinken des H-Gehalts der Gesamtkohle und in der verminderten Ausbeute an Flüchtigen Bestandteilen (Teer + Gas) zum Ausdruck. Der *Inkohlungsprung* führt zur „*Magerung*“ der Kohlen und bahnt damit ihre Anthrazitisierung an. Im eigentlichen Anthrazit wird die nahezu völlige innere und äußere Übereinstimmung aller organischen Bestandteile der Kohlen und damit eine völlige Vereinheitlichung, Homogenisierung fast erreicht.

7. Die Steigerung des technischen Wertes der Kohlen durch den Inkohlungsprozeß.

Die chemischen Hauptwirkungen des Inkohlungsprozesses und ihr Gefolge kolloidchemischer und physikalischer Veränderungen bedingen eine fortlaufende Erhöhung des technischen Wertes der Kohlen; im Bereich des Steinkohlenstadiums vollzieht sich überdies eine Wandlung hinsichtlich der Art bestmöglicher Verwertung.

Der fossile Brennstoff erfährt eine höchst erwünschte *Verfestigung*; die immer weiter gehende Abgabe des Wassergehaltes, die Verminderung des Sauerstoffanteils bedeuten eine *Befreiung von unnützen Ballaststoffen*, die beide (das Wasser z. B. durch seinen Wärmeverbrauch bei der Verdampfung) den nutzbaren Anteil der in der Kohle gespeicherten Energie vermindern. Die Erhöhung des spezifischen Gewichtes bedingt einen *verringerten Raumbedarf* energetisch gleichwertiger Kohlenmengen. Die nutzbaren Fähigkeiten der Kohle werden also durch die Inkohlung gleichsam aufs äußerste verdichtet.

Den sinnfälligsten Ausdruck findet diese werterhöhende Entwicklung in der *Steigerung des Heizwertes* (also der Wärme- und damit der Energieausbeute) gleicher Gewichtsmengen (kg) verschiedener inkohlungsmäßig aufeinanderfolgender Kohlenarten; der Heizwert der Kohlen wird ausgedrückt in Wärmeeinheiten (WE) je kg. Eine Wärmeeinheit ist die Wärmemenge, die 1 kg Wasser von 15° C auf 16° C, also um 1° C zu erwärmen vermag.

Die folgende Tabelle zeigt in übersichtlicher Form diese Heizwerterhöhung der Rohkohlen und ihre Ursachen: Fortschreitende Feuchtigkeitsabgabe der Rohkohle, Abnahme des Sauerstoffgehalts der Reinkohlensubstanz zugunsten ihrer C- und H-Werte. Die Erhöhung der Wärmeeinheitenzahl der Rohkohle beruht sowohl auf der Verminderung des Wasser-

Tabelle 3.

Inkohlungsstadium	Rohkohle			Reinkohle	
	Wasser %	Sp. Gew.	Heizwert WE	O-Geh.	Theoret. Heizwert
Weichbraunkohle	50	1,2	1800—3000	20—26	6000—7000
Hartbraunkohle	10—20	1,25	4800—7200	14—20	7000—7600
Steinkohle I (Flamm- u. Gaskohle)	3—40	1,25—1,3	bis 7800	10—5	7600—8000
Steinkohle II (Fettkohle)					
Steinkohle III (Magerkohle)		1,35	bis über 8000	3—3,5	} bis 8800
Anthrazit	1—2	1,4—1,6			
(Graphit)	—	(2,25)	(prakt. unbrennbar)	—	(prakt. unbrennbar)

gehalts wie des Sauerstoffgehalts. Um zu zeigen, welche Bedeutung dabei allein der Sauerstoffabnahme zufällt, sind rechts die theoretischen (errechneten) Heizwerte auch der Reinkohle (also der aschen- und wasserfreien Substanz) beigefügt. Welche Belastung der Wassergehalt der Rohkohle für die Nutzbarmachung der in ihr gespeicherten Energie bedeutet, zeigt die Differenz zwischen ihrem Heizwert und dem errechneten Heizwert der Reinkohle.

Die Wandlung der Humuskohlen bringt indessen nicht allein eine quantitative Wertsteigerung des Brennstoffs mit sich, sondern abseits davon auch sonstige Änderungen des gesamttechnischen Verhaltens, eine *Verschiebung in der Eignung für bestimmte Sonderzwecke*. Daß solche Unterschiede an sich schon zwischen den Hauptstadien, wie Braunkohle, Steinkohle usw., bestehen, braucht ja nicht besonders erwähnt zu werden; es sei aber darauf hingewiesen, welche Rolle diese Wandlungen z. B. innerhalb des Steinkohlenstadiums hinsichtlich des *Verkokungsprozesses* (S. 156) und seiner Hauptprodukte spielen. Flammkohlen und Gasflammkohlen liefern hohe Ausbeuten an Flüchtigen Bestandteilen, aber keinen brauchbaren Koks; entsprechende Eignung besitzt in hervorragendem Maß die stärker inkohlte Fettkohle. Diese Fähigkeit geht auf dem Weg zur Magerkohle wieder verloren. Diese eignet sich auch nicht mehr für die Gewinnung von Gas und Teer, besitzt aber wiederum ausgezeichnete, im Anthrazit schließlich aufs äußerste gesteigerte Eigenschaften als Heizstoff.

8. Vom Humustyp abweichende Sonderfälle der Kohlenbildung: Bitumenreiche Kohlenarten.

In der bisherigen Darstellung wurde stillschweigend vorausgesetzt, daß sich die Kohlen im wesentlichen aus *Humussubstanz* aufbauen und daß die Vielfalt ihrer Arten in den inkohlungsmaßiigen Veränderungen eben dieser Humusstoffe begründet ist. Diese der Übersichtlichkeit der

Betrachtung dienende Vereinfachung müssen wir jetzt etwas richtigstellen. Die Humuskohlen stellen zwar den verbreitetsten und geläufigsten, also den *normalen Typ* der Kohlengesteine; wir hatten aber schon bei Besprechung des H-Gehalts und seiner auffälligen Verminderung im Inkohlungsprung auf die Beteiligung auch bituminöser Ausgangsstoffe hingewiesen. Es gibt *nun Sonderfälle*, in denen solche fett-, wachs- und harzreiche Substanzen im Aufbau der Kohle so führend hervortreten, daß diese einen ganz anderen stofflichen — und oft auch in den physikalischen Eigenschaften abweichenden — Charakter erhält. Solche *bitumenreiche Kohlen* zeichnen sich durch besonders *großen H-Gehalt* aus und sind im Zusammenhang damit von technischer Sonderbedeutung durch die hohe Ausbeute an flüssigen und festen, u. U. erdölhaften Destillationsprodukten. Ihre *Entstehung* ging zwei verschiedene Wege:

A. *Die Anreicherung bituminöser Pflanzenteile kann schon in der Urablagerung* (also „syngenetisch“¹) *zustande gekommen sein*. Diese Kohlen sind dann zwar gleichfalls in Mooregebieten abgelagert worden, aber nicht als Humustorfe, sondern als *Gyttja-* (= *Halbfaulschlamm-*) *Bildungen in freien Gewässern*, wenn auch oft sehr beschränkten Ausmaßes. Sie bestehen aus mehr minder umgewandelten Absätzen fett- und eiweißreicher Planktonalgen (*Bogheadkohlen*, s. S. 135) oder aus in großen Mengen abgelagerten Sporen und Pollenkörnern, in manchen Fällen auch aus den fettartigen Überzügen (*Kutikeln*) von Blättern. Besonders die zwei erstgenannten Organe sind typisch für die sogenannten *Kännelkohlen* (s. S. 135). Nur die einem gemeinsamen Gesamtbildungsraum entsprechende enge Nachbarschaft mit Humusbildungen und eine kennzeichnende Außeneigenschaften bedingende *Beimengung von Humussubstanz* ermöglichen es uns, sie überhaupt noch als *Kohlen* zu bezeichnen. Wo nämlich diese vermittelnden Kennzeichen fehlen, derartige Bildungen also außerhalb der eigentlichen Kohlenlagerstätten auftreten und *keine Humusbeimengung* erkennen lassen, sprechen wir von Öl„schiefern“, besser *Kerogen-Gesteinen*. Solche sind z. B. der dem Silur entstammende

„*Kuckersit*“ und der brasilianische „*Marahunit*“, die beide aus Algenabsätzen entstanden — andererseits der hauptsächlich aus Pollenkörnern, also aus Blütenstaub aufgebaute „*Fimmenit*“. Alle diese brennbaren Gesteine führen einen erheblichen Anteil an Mineralstoffen. Gytjakohlen, die genannten gyttja-artigen Kerogenschiefer und die echten Faulschlammgesteine (Erdöl-Muttergesteine, vgl. S. 26) faßt man

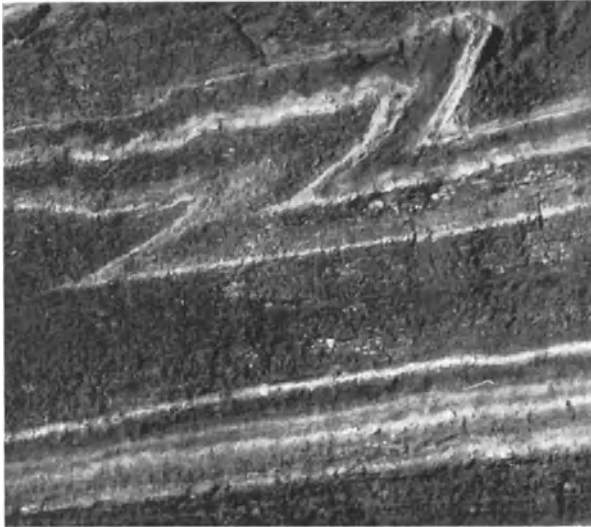


Abb. 35. Hellgelbe Schwelkohlen-Zonen in einem durch den Schub von Eiszeitgletschern gefalteten Braunkohlenflöz (Zeitz). Höhe des Flözausschnittes etwa 8 m. Aufn. K. A. Jurasky, 1930.

unter dem Namen „*Saprolithe*“ (organische Schlammgesteine) zusammen, gegenüber den Humusgesteinen, den „*Humolithen*“.

B. Es gibt nun auch stofflich ähnliche Kohlen, deren Urablagerung normaler Humustorf war und deren Bitumenreichtum offensichtlich erst durch spätere Umbildung (also „epigenetisch“¹) bewirkt worden ist. Unter Sonderbedingun-

¹ Griechisch: syn = zusammen mit . . . ; genesis = Zustandekommen, Entstehung. epi = nachher.

gen, die noch nicht eindeutig geklärt sind (wahrscheinlich u. a. bei Kalkzufuhr), können sich die sauren Humusstoffe im Erdinnern weiter zersetzen und flüchtig werden; die Bitumenkörper bleiben davon unberührt und reichern sich im Rückstand an. Durch solche auswählende (selektive) Zersetzungsprozesse sind in manchen Gegenden tertiäre Braunkohlenflöze oder einzelne Bänke von ihnen in auffallend hellgelbe „*Schwelkohlen*“ umgewandelt worden, in denen bei Zurücktreten der Humussubstanz besonders starke Anreicherungen primärer Bitumenkörper vorliegen. Durch die völlige Entfernung der Humusanteile können auf diese Weise gelblich- oder grauweiße, fast allein aus Bitumenstoffen bestehende Restprodukte, die *Pyropissite* entstehen. Insgesamt bezeichnet man diese merkwürdigen Gesteine als *Liptobiolithe*.

Durch das wechselnde Hervortreten zweier verschiedener Bitumengruppen kamen vor allem *zwei Typen* solcher Schwelkohlen zustande:

Von der tropischem Klima angepaßten Laubpflanzenwelt der Eozänzeit leiten sich die hauptsächlich aus *Wachsen* bestehenden Schwelkohlen Mitteldeutschlands ab, deren reichliches Auftreten in der Gegend um Zeitz-Weißenfels schon vor vielen Jahrzehnten zur Begründung einer chemischen Sonderindustrie, der Schwelerei, führte.

In der schon erheblich kühleren Miozänzeit, der nach den bisherigen Anschauungen fast alle anderen großen Braunkohlenvorkommen Deutschlands entstammen, traten in der Pflanzenwelt mehr *harzreiche* Gewächse, vor allem Nadelbäume hervor. Entsprechende Schwelkohlenbildungen, wie sie bei Hirschfelde (Lausitz), in großem Ausmaß aber vor allem im Sudetenland um Falkenau gefördert werden, sind durch besonders starken Harzgehalt ausgezeichnet.

Der nun folgende, der mikroskopischen Struktur der Kohlengesteine gewidmete Abschnitt wird Gelegenheit bieten, noch etwas eingehender auf die Eigenart der bitumenreichen Kohlenarten einzugehen.

V. Die Wandlung der Formen: Kohle unter dem Mikroskop.

1. Die Entwicklung der Kohlenmikroskopie.

Mit freiem Auge formhaft erkennbare Pflanzenteile findet man in kohliger Erhaltung noch in vielen *Braunkohlenflözen*; aber sie sind hier mit Ausnahme des Holzes zu Besonderheiten geworden, denen im Gesamtaufbau des Kohlenlagers meist keine Bedeutung mehr zukommt. Nur zwei Elemente erscheinen hier rein äußerlich von mengenmäßig wesentlicher Bedeutung am Schichtaufbau: Einmal eine bei freiem Anblick aller Urformen entbehrende *Hauptmasse*, die offenbar aus den erdartigen Produkten formzerfallener Reste besteht; ihren Zusammenhalt scheint sie oft lediglich der durchtränkenden Gebirgsfeuchtigkeit zu verdanken; andernfalls ist sie offensichtlich durch Druckwirkungen (Überlagerung, Auflasten der kilometerdicken Eiszeitgletscher, Faltungsbeanspruchung usw.) mehr minder verfestigt worden.

Zweitens sind dieser Hauptmasse der gewöhnlichen Braunkohle wiederum oft in erheblichem Anteil *holzige Teile* jeder Größe, ja zuweilen sogar ganze „Waldfriedhöfe“ mit zum Teil ganz gewaltigen (Durchmesser über 3 m!) Baumstümpfen und riesigen dazwischen niedergebrochenen Stämmen eingelagert. In den „Lignitflözen“ kann die Grundmasse sogar ganz und gar zugunsten dieser Braunkohlenhölzer oder Xylite¹ zurücktreten. Andererseits wieder können die Holzreste auch bis auf vereinzelt schlecht erhaltene und „mulmig“ gewordene Bruchstücke fehlen, so in gewissen älteren, auffallend hellgelb gefärbten Braunkohlen, wie den „Schwelkohlen“ (vgl. S. 138 f.) Mitteldeutschlands.

In den durch übermächtige Druckwirkungen, durch die Wärme des Erdinneren oder *vulkanischer Nachbarschaft*

¹ Da in Fremdsprachen der Ausdruck „Lignit“ für Braunkohle überhaupt üblich ist, verwendet man zur Kennzeichnung holziger Einlagerungen besser den vom griechischen Wort Xylon (= Holz) abgeleiteten Ausdruck „Xylit“.

umgeformten schwarzen und glänzenden *Edelbraunkohlen* (vgl. S. 74) beginnen Grundmasse und Holzeinlagerungen eins zu werden. Letztere treten in ihren Gesamtformen nicht mehr im Flözaufbau hervor, wohl aber läßt die spiegelnde Oberfläche mancher Kohlenstücke noch die meist stark verquetschte und verfaltete Jahrringzeichnung des Holzes erkennen.

In der *Steinkohle* endlich sind auch derlei Außenstrukturen völlig verschwunden. Eine oft an ihr hervortretende und bis zur feinsten Durchdringung wechselnde Streifung aus glänzenden und matten Lagen vermögen wir dem Ansehen nach in keinerlei Beziehung mehr zu irgendwelchen vom Leben geprägten Ausgangsformen zu bringen. Lange genug hielt man denn die Steinkohle für ein bis zum Verlust auch jeder inneren Struktur verdichtetes, homogenes Naturgebilde.

Das *Mikroskop*, das im vorigen Jahrhundert einen Siegeszug ohnegleichen durch die Naturforschung antrat und dessen Anwendung heute noch immer neue Erkenntnisse in Wissenschaft und Technik erzielen läßt — es hat uns gründlich eines anderen belehrt.

Der vollendete Gegensatz, der zwischen den verflochtenen braunen Pflanzenmassen des jungen Torfs und einem Gebilde wie der Steinkohle besteht, führt jedem, der um die genetische Verbundenheit beider Naturkörper weiß, die Größe der Verwandlung, die Macht der sie bewirkenden Kräfte vor Augen; die Tiefe des Erdinneren, aus der der schwarze brennbare Stein gehoben wird oder nach der er sich unerreichtbar verliert, läßt die unfassbar langen Zeiträume ahnen, vor denen einmal grüne Pflanzen unter dem Sonnenlicht die Urstoffe der Kohlenabstammung schufen. Um so erstaunlicher ist die Fülle pflanzlich-ererbter Formen, die das Mikroskop selbst noch in ältesten Steinkohlen zu enthüllen vermag und die mit der ans Wunderbare grenzenden Widerstandsfähigkeit gewisser pflanzlicher Stoffe zusammenhängt.

Die Ausdeutung dieser Formenwelt hat unsere Anschauungen über das Wesen der Kohle gegenüber früheren, nicht lang zurückliegenden Zeiten

völlig verändert und uns einen tiefen Einblick in ihre Entstehungs- und Wandlungsgeschichte vermittelt; sie wurde so von umwälzender wissenschaftlicher Bedeutung. Das ist noch nicht alles: Ein tiefer Sinn, ja letzten Endes der Hauptwert wissenschaftlicher Erkenntnis liegt in der Möglichkeit, nunmehr Voraussagen treffen zu können: „Dieser Stoff wird sich unter solchen Einwirkungen so und so verhalten“ oder: „Dieses Geschehen wird unter bestimmten Umständen den und den Verlauf nehmen.“ Hier wird also Wissenschaft gleichsam zu ihrer eigenen Arbeitsmethode, steigert selbst ihre Möglichkeiten und führt zu vervielfachtem Einblick in das Wesen und Werden der Dinge; vor allem hier findet sie aber auch ihre Anwendungen und kommt zu eminenter Bedeutung für das praktische Leben, für die Technik, für die Industrie. So trat denn auch bei der mikroskopischen Kohlenforschung etwas ein, was zunächst niemand vermutet hätte: Das Studium der Kohlenstruktur wurde zu einem wichtigen Hilfsmittel für die kohlenveredelnde Technik. Durch die enge Beziehung, die zwischen (Funktions-) Form und Stofflichkeit der pflanzlichen Organe besteht (vgl. S. 60), können wir schon allein nach mikroskopischer Untersuchung der Struktur einer Kohle Aussagen auch über ihre chemische Eigenart und über ihr technisches Verhalten machen. Damit entwickelte sich aus der Kohlenmikroskopie ein eigener in sich geschlossener Wissenszweig, die Kohlenpetrographie. Sie ist in der heutigen Form ein Kind der jüngsten Zeit, eigentlich erst der letzten 20 Jahre — und zu ihrer jetzigen Vollkommenheit führte ein weiter Weg.

Schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wandte man die lange allein *biologischen Objekten* vorbehaltenen mikroskopische Betrachtungsweise auch auf *Gesteine* und Versteinerungen von Tieren und Pflanzen an und entdeckte eine Unzahl bis dahin unbekannter Dinge. Man schliff kleine Plättchen solcher Materialien bis zu einer den Lichtdurchtritt ermöglichenden Feinheit; im großen und ganzen war man bis über die Jahrhundertwende hinaus auf die Betrachtung im durchfallenden Licht, also auf die Herstellung jener *Dünnschliffe* angewiesen. Unterdessen suchte man auch in das Geheimnis der Kohle einzudringen und hatte schließlich vielerlei geformte Gebilde in ihr entdeckt. Aber nur von wenigen und gerade meist von untypischen Kohlenarten lassen sich einigermaßen vollkommene Dünnschliffe herstellen; die *Braunkohle* entzieht sich dieser Methode nur zu oft durch ihre zerreibliche Konsistenz — die gewöhnliche *Steinkohle* wiederum ist allzu spröde und überdies derart dunkelgefärbt, daß sie erst in so dünnen Schichten durchscheinend wird, wie sie eben schwer zu erzielen waren. Ferner ist die mögliche Zahl der Dünnschliffe für den Forscher durch das Mühevollere, Langwierige oder auch Kost-

spielige ihrer Herstellung verhältnismäßig begrenzt. Da aber jedes Präparat mit den Zufälligkeiten der betreffenden Stelle behaftet ist und überdies nur gewisse Kohlen in befriedigender Weise der Dünnschliffmethode zugänglich sind, war es lange Zeit nicht möglich, die im Kohlenaufbau immer wiederkehrenden typischen Formelemente von den gelegentlich und vereinzelt auftretenden zu scheiden, also eine wirklich mikroskopische Systematik der Kohlenarten zu schaffen.

Dieser unbefriedigende Zustand änderte sich mit einem Schlag durch die Erfindung und den zweckgerechten Ausbau der *Auflichtmikroskopie* und des nach wichtigen Vorarbeiten von SCHNEIDERHÖHN vor allem von dem Berliner Forscher ERICH STACH entwickelten *Reliefschliffverfahrens*. Eine heute zu wunderbarer Vollkommenheit gediehene Methode ermöglichte nun auch die Untersuchung völlig undurchsichtiger (opaker) Objekte. Es ist wohl jedem bekannt, wie viele feine Einzelheiten z. B. an Holz oder irgendeinem Gestein (Marmor, Granit) nach Entfernung auch der feinsten, nicht in der Natur des Materials begründeten Unebenheiten, also durch *Polieren*, hervortreten. Diese Erscheinung machte man sich auch bei der Kohle zunutze. Hier kann man aber noch ein übriges tun: Nämlich durch Anwendung besonders verfeinerter Poliermethoden die durch abweichenden Härte- und Zähigkeitsgrad unterschiedlichen Gefügebestandteile zu einem zarten, an der Schlifffläche hervortretenden Relief herausarbeiten. Ein solcher Reliefschliff wird nun bei der Auflichtmikroskopie, wenigstens bei ihrem gebräuchlichsten Verfahren, durch eine sinnreiche Vorrichtung (Opakilluminator) durch das Objekt des Mikroskops senkrecht von oben angestrahlt; die spiegelnde Fläche des Schliffs reflektiert das einfallende Licht zurück, und durch das Okular gelangt es in das Auge des Betrachters. Das zarte, nach den Härteunterschieden durch Schattenlinien abgestufter Stärke gezeichnete Relief, die feinen Absorptions- und Reflexionsunterschiede der verschiedenen Aufbaukörper, die sich innerhalb einer Skala von bläulich-, gelblich- und grauweißen Tönen und durch Helligkeitsunterschiede voneinander ab-

heben — alle diese Verschiedenheiten gestalten an der Oberfläche der Kohle ein reichhaltiges Strukturbild ihres inneren Aufbaues; durch die Anwendung der sogenannten Ölimmersion (Verdrängung der zwischen Objektiv und Schlifffläche befindlichen Luftschicht durch einen das Licht starkbrechenden Tropfen von Zedernholzöl), welche zugleich die volle Ausnutzung der Vergrößerungsfähigkeit moderner Mikroskope gestattet, werden die Helligkeits- und Farbkontraste zwischen den Aufbautkörpern verstärkt, ein Opalisieren mancher Stoffe (z. B. des Harzes) bewirkt und auch das Letzte an vorhandener Struktur in der Kohle sichtbar gemacht. Solche Reliefschliffe können mit geringer Mühe während kurzer Zeit in großen Mengen hergestellt werden, und dieser Umstand erlaubt, die für die einzelnen Kohlenarten wesentlichen Züge von den zufällig oder vereinzelt anwesenden zu trennen, also das Gesetzmäßige der Erscheinungen und ihres Wechsels zu ermitteln.

2. Das Strukturbild der Steinkohle und ihrer Vorstadien.

Manche Steinkohlen bestehen durch und durch aus einer schwarzen, glänzenden, homogen erscheinenden Masse von klüftigem, abseits davon muscheligen oder splitterigem Bruch, welche den Eindruck äußerster Einheitlichkeit macht. Andere, seltenere Typen sind demgegenüber wieder völlig matt und gleichfalls ohne äußerlich erkennbare Aufbauunterschiede.

Die meisten Steinkohlen zeigen aber schon mit freiem Auge streifigen Aufbau aus abwechselnden und verzahnten bald gröberen, bald überaus feinen Lagen glänzenden und matten Aussehens, wozu dann noch streifen- oder linsenförmige Einlagerungen eines dritten Bestandteils treten können, eines stumpfschwarzen, zuweilen seidig faserigen Materials von holzkohlenähnlicher Beschaffenheit, das leicht zerreiblich ist und daher zum Unterschied von den vorgenannten Aufbauschieden rußend abfärbt („Rußkohle“ der

Zwickauer Bergleute). Man unterscheidet also in der Steinkohle drei „Streifen“-Arten (Abb. 36).

Glanzkohle = *Vitrit*,
Mattkohle = *Durit*,
Fossile Holzkohle = *Fusit*.

Diese drei Hauptbestandteile der Steinkohlen, die sich auch in mikroskopischem Ausmaß aufs engste durchdringen kön-

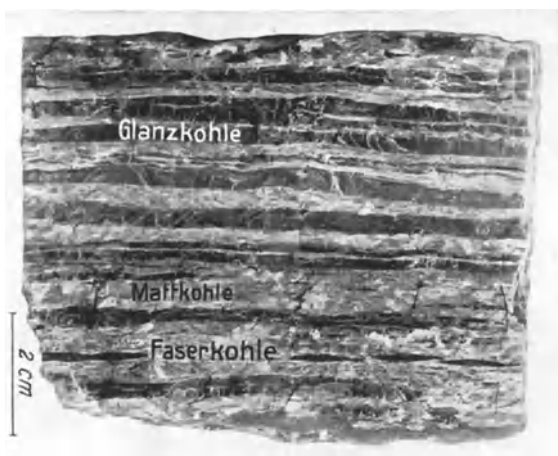


Abb. 36. Streifenkohle mit wechselnden Vitrit-, Durit-, und Fusitpartien. Westfalen. Aus Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

nen, haben kaum Gemeinsames in ihren Eigenschaften; sie verhalten sich in physikalischer, chemischer und damit auch technischer Hinsicht völlig verschieden, und ihre in weitem Spielraum wechselnde Beteiligung prägt den sehr unterschiedlichen Charakter, den die Steinkohlen auch abseits ihres Inkohlungsunterschiedes, also selbst innerhalb einer Inkohlungsstufe haben können.

Glanzkohle (Vitrit).

Abgesehen von einigen Sonderfällen ist der Vitrit der bezeichnendste und wichtigste Bestandteil aller normal ausge-

bildeten Steinkohlen; er kann auch so gut wie allein auftreten. Er ist nichts anderes als umgewandelte Humussubstanz, und eigentlich bezog sich nahezu alles, was wir vom Gang der Inkohlung feststellten, auf das Werden von Kohlen, die hauptsächlich aus ihm bzw. seinen humosen Vorstadien bestehen, also auf Humuskohlen. Im *Dünnschliff* wird die Glanzkohle in feinen Schichten transparent und zeigt schmutzig- bis rotbraune Farbe in einförmigen ungliederten Flächen.

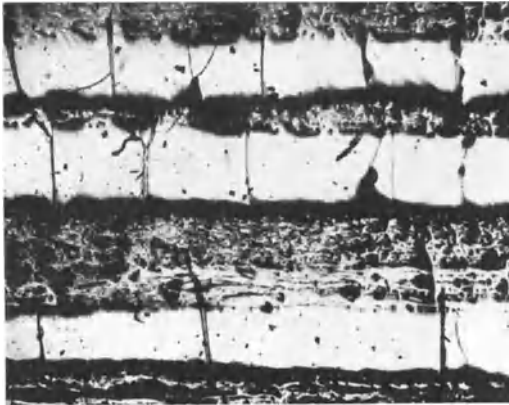


Abb. 37. Vitritlagen mit querdurchsetzenden Schwundrissen in Brandschiefer. Typisches strukturloses Aussehen im gewöhnlichen auffallenden Licht. Reliefschliff, vergr. 100. Aufn. K. A. Jurasky.

Auch *Reliefschliffe* ergeben unter dem Mikroskop zunächst wenig Bemerkenswertes: Spiegelnde grauweiße Flächen, die von vielen geradlinig oder auch bogenförmig verlaufenden Schwundrissen (alle Hohlräume erscheinen — anders als beim Dünnschliff — im Reliefschliff schwarz) durchkreuzt werden können und die bei der fortschreitenden Verminderung der verdichteten Masse gelegentlich der Inkohlung entstehen (Abb. 37). Dieses Netzwerk von Rissen ist oft das kleine Abbild einer meist nach Druckrichtungen angeordneten Gesamtklüftung, die das ganze Flöz durchgliedern kann.

Über nähere Einzelheiten seiner Natur und Entstehung gibt der Vitrit erst beim Durchmustern vieler Schliffe unter Ölimmersion einige Andeutungen: er läßt dann zuweilen eine feine *Wellenzeichnung* hervortreten, wie sie in Abb. 42 wiedergegeben ist. Sie ist der allerletzte Überrest der zelligen Struktur des *Holzes*, aus dem in diesem Fall die Glanzkohle entstand.

Alle Stadien ihrer Entstehung lassen sich sehr anschaulich an der inneren Verformung verfolgen, welche die Braunkohlenhölzer im Lauf ihrer Verwandlung erfahren. Abb. 38 zeigt einen im durchfallenden Licht fotografierten Dünnschnitt, und zwar einen Querschnitt (vgl. dazu Abb. 23) durch ein Braunkohlenholz, dessen Gewebestruktur vom frischen Formzustand noch kaum abweicht, obwohl sie mit Ausnahme eines geringen Zelluloserestes nur noch von humifiziertem Lignin, also Humusstoff, getragen wird. Wir erkennen daran die aus starkwandigen und englumigen Zellen gebildeten Spätholzzonen (welche die „Jahresringe“ markieren) und die größere Hohlräume umschließenden und weit zarteren Wandgewebe des jeweils vor ihnen gebildeten Früh(jahrs)holzes. In dem von der nebenstehenden Abb. 39 wiedergegebenen Erhaltungszustand beginnen sich die Zellreihen des Frühholzes umzulegen, in dem von der folgenden Abb. 40 gezeigten noch weiter vorgeschrittenen Stadium sind sie schon völlig deformiert und bis auf dünne Zonen zusammengesunken, die sich mit dunkelbrauner Färbung zwischen den aneinandergerückten Spätholzpartien hinziehen; diese sind noch wenig verändert, und nach der helleren Farbe zu urteilen, ist auch die Stoffwandlung hier noch im Rückstand. Auf die Dauer kann aber auch das Spätholz der völligen Humifizierung nicht widerstehen. Nach dem Verschwinden der Zellulose und der Umsetzung des Lignins in gequollene und daher ziemlich plastische Humuskolloide unterliegt sie den aufs Flöz einwirkenden Druckkräften, und seine stark geschrumpften Zellschläuche (im Holzquerschnitt als Ringe erscheinend) werden wellig verquetscht. Die Abb. 41 zeigt ein den vorhergehenden Abbildungen entsprechendes Gesamtbild dieses förmlichen Endzustandes der Braunkohlenhölzer vor der Umformung in Glanzkohle (vgl. Abb. 42).

Bei weitem nicht aller Vitrit ist direkt aus struiertem Holz entstanden, vielmehr eben allgemeiner aus den formlos gewordenen humosen Abkömmlingen der verschiedenartigsten verholzten Zellgewebe (vgl. darüber S. 62).

Das hie und da unter dem Mikroskop deutlich zu beobachtende netzadrig-e Eindringen vitrischer Substanz in das Gefüge der anderen Kohlenbestandteile, das Vorkommen in Glanzkohle „schwimmender“ und dabei ganz und gar von ihrem Stoff durchtränkter zelliger Pflanzengewebe erweisen, daß ein Teil des Vitrits als verhärtete, aus Lösungen abgesetzte Humusgallerte (vgl. S. 85) aufzufassen ist.

Den Hauptanteil der Glanzkohle lieferte aber wohl die erdige Grundmasse gewöhnlicher Braunkohle. Sie besteht — wenn wir die tertiäre Erscheinungsform zur Erklärung ihres

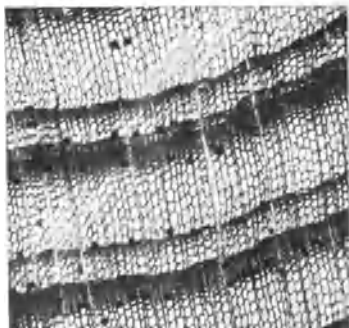


Abb. 38.

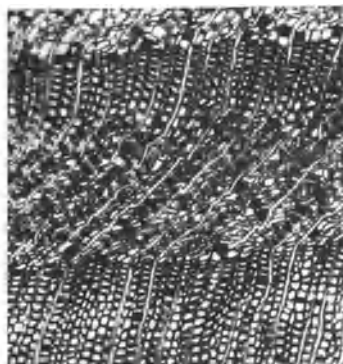


Abb. 39.

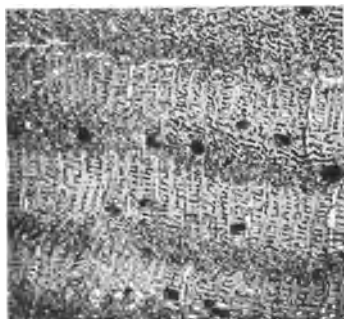


Abb. 40.

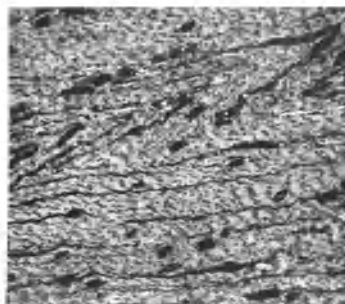


Abb. 41.

Abb. 38. Braunkohlenholz mit guterhaltener Struktur. Wechsel von Früh- und Spätholzzonen; dunkle Zellenfüllung = Harz. Dünnschnitt, *durchfallendes Licht*. Vergr. 35. Aufn. K. A. Jurasky.

Abb. 39. Beginnende Verformung in Braunkohlenholz: Die Zellreihen der Frühholzzonen beginnen sich zu verknittern und umzulegen. Dünnschnitt, *durchfallendes Licht*. Vergr. 50.

Abb. 40. Stark verformtes Braunkohlenholz: Frühholzzonen völlig „ausgewalzt“; Spätholzgewebe dazwischen noch gut erhalten. Dünnschnitt, *durchfallendes Licht*. Vergr. 80. Aufn. K. A. Jurasky.

Abb. 41. Braunkohlenholz im letzten Stadium der Verformung: Früh- und Spätholzzonen bis zum Verlust jeder Zelligkeit gepreßt und überdies verfalzt. Wellenstruktur entsprechend dem Reliefschliff (Vitrit) in Abb. 42. Dünnschnitt, *durchfallendes Licht*. Verg. 72. Aufn. K. A. Jurasky.

karbonen Vergleichsobjektes heranziehen wollen — aus durch Stoffwandlung und mechanische Kräfte in feinste Krümeln zerfallenen Geweben verschiedenster Organe. Unter dem Mikroskop erkennt man in diesem unregelmäßig-körnigen Grundaggregat noch zahlreiche eingebettete Strukturreste: Kleine Holzsplitter, Harzkörner, vor allem aber eingestreute Organteile, die aus den auf S. 64 näher gekennzeichneten widerstandsfähigen Fettstoffen bestehen und auf deren Be-



Abb. 42. Wellenstruktur von Steinkohlen-*Vitrit*, bei Anwendung von Öl-Immersion hervortretend (vgl. Abb. 41). Reliefschliff, auffallendes Licht. Vergr. 72. Aufn. E. Stach.

sprechung wir weiter unten (*Durit*) noch genauer eingehen werden. Immer wiederkehrende und sehr charakteristische Strukturkörper des Holzes, die nach seinem Zerfall in die Grundmasse der Braunkohle eingehen, sind die Sporen (Fortpflanzungszellen) und Sklerotien von holzerstörenden oder in dem organischen Abfall wuchernden Pilzen. Als *Sklerotien* bezeichnet man widerstandsfähige Dauerzustände von Pilzen, deren Lebenssubstanz in ihnen ungünstige Zeitspannen (Trockenheit, Vernässung, Nahrungsmangel, Einwirkung giftiger Stoffe, wie der nach und nach eindringenden Humussäuren) zu überstehen sucht. Diese Sklerotien

sind sehr verschiedenartige, kugelige, ovale oder auch unregelmäßig-krustenförmige Gebilde mit regelmäßig-wabenartigem oder auch unregelmäßig-schwammartig durchfächertem Inneren (Abb. 43). In den verschiedenen alten Kohlen sind sehr wechselnde Formen anzutreffen, im Karbon z. B. andere als in der Tertiärkohle. Alle diese Pilzreste bestehen aus ungeheuer widerstandsfähigen *Chitinstoffen* (S. 69) bzw. deren unbekanntem inkohlungsmaßigen Abkömmlingen. Sie überdauern in den Kohlen auch bei stärkster Metamorphose



Abb. 43. Pilz-Sklerotien in westfälischer Steinkohle. Reliefschliff, auffallendes Licht. Vergr. 176. Aufn. Jurasky u. G. Schulze.

nahezu alle anderen Organstrukturen und sind noch im Anthrazit, ja zuweilen sogar in dem bei 1000⁰ C hergestellten Hüttenkoks einigermaßen zu erkennen.

Dem Vorkommen in der erdigen Braunkohle bzw. in Braunkohlenhölzern entsprechend sind die genannten Strukturreste, besonders Pilzformen, oft auch noch inmitten vitritischer Steinkohlenpartien anzutreffen.

Fossile Holzkohle (Fusit).

Ein gegenüber dem Vitrit ganz und gar anderes Aussehen gewährt der Fusit unter dem Mikroskop. Er ist zwar ebenfalls aus verholzter Substanz, und zwar meist aus *Holz* im

strengen Sinn entstanden, aber durch einen von der Inkohlung verschiedenen und zu einem ganz andersartigen Produkt führenden Prozeß, die *Verkohlung*. Dabei wurden an der Oberfläche des Moores durch Wald- und Moorbrände frisches Holz — und weiterhin durch irgendwelche, noch unbekannte Agentien auch im Inneren der Flöze oft schon verformte Braunkohlenhölzer durch Entzug von H und O



Abb. 44. Fusit-Streuung auf Steinkohlen-Schichtfläche. Westfalen. Aus Kukuk: Geologie des niederrheinisch-westfälischen Steinkohlengebietes. Berlin: Julius Springer 1938.

(vgl. S. 87) in nahezu reinen Kohlenstoff umgesetzt. In diesem Zustande konnten sie im Inneren der Flöze die längsten Zeiträume überdauern und den stärksten Druckbeanspruchungen widerstehen — soweit diese nicht gleitend-zerreibend einwirkten. Schon in der Braunkohle finden wir als Einsprengling diesen schwarzen und völlig undurchsichtigen (opaken) Stoff¹, viel häufiger tritt er in den karbonen Stein-

¹ In dünnen Schnitten und Schliften wirkt der Fusit allerdings durch seine Porosität durchsichtig, als zartes schwarzes Zellfiligran. An fusitischen Resten erkannte man vor 100 Jahren zum erstenmal den organischen Ursprungsbau auch der Kohlenmasse.

kohlen auf, warum, wissen wir nicht. Der Fusit bildet hier Nester, Streuungen auf Schichtflächen (Abb. 44), ja auch mehrere Zentimeter dicke Lagen, die zusammen ausnahmsweise die Hälfte der Schichtmächtigkeit ausmachen können (z. B. im Zwickauer Rußkohlenflöz (Abb. 45). Die Substanz der Fossilen Holzkohle ist *überaus hart* und tritt in den Schliffpräparaten durch ein starkes, von schweren Schlag-

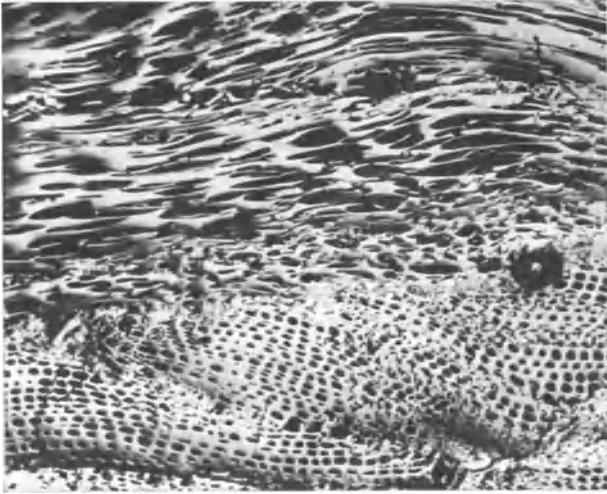


Abb. 45. *Fusit* in Zwickauer Steinkohle: Quer- und Längsstruktur des ehemaligen Holzes. Reliefschliff, auffallendes Licht. Vergr. 74. Aufnahme K. A. Jurasky.

schatten umzeichnetes Relief und ihre gleißend gelblichweiße Helligkeit (bzw. ihr hohes Reflexionsvermögen) gegen die anderen Kohlenbestandteile besonders hervor. Da andererseits aber diese Substanz ein zelliges Maschenwerk aufbaut, ist sie leicht zerreiblich, färbt dadurch rußend ab und erweckt so im ganzen den *irrtümlichen* Eindruck eines besonders *weichen* Stoffs. Der Fusit hat aus den angeführten Gründen die Zellstruktur des Holzes auch im Steinkohlenstadium noch formlich unverändert bewahrt und gewährt so unter dem Mikroskop oft prächtige Bilder (Abb. 45); in Fu-

siten, die aus bereits stark verquetschten Braunkohlenhölzern entstanden, und ferner dann, wenn das glasartig spröde holzkohlige Zellgerüst durch reibende Druckbewegungen im Flöz zerrissen wurde, zeigt sich die sogenannte „Bogenstruktur“: Ein Haufwerk ineinander verschachtelter Zellrohrtrümmer.

Mattkohle (Durit).

Ganz anders und aus völlig abweichendem Urmaterial aufgebaut sind die matten Streifen insbesondere der *karbonen* Steinkohlen, welche die Kohlenpetrographie als Durit bezeichnet (von lat. *durus* = hart).

Seine matte Farbe ist ebenso begründet in einem überaus *zusammengesetzten Gefüge* wie in dem unvollkommenen Lichtrückstrahlungsvermögen seiner *halbtransparenten* Bestandteile. Dieser Kohlenbestandteil eignet sich hervorragend zur Herstellung auch von *Dünnschliffen*, die unter dem Mikroskop im durchtretenden Licht aus der äußerlich stumpfschwarzen Masse eine Fülle schöner satter Farben von Hellgelb bis zum satten Blutorange hervorzaubern: In dem feinen Netzwerk einer völlig *undurchsichtigen* Grundmasse („Opaksubstanz“), zu der sich auch aderig verteilte, braun durchscheinende Vitritmasse gesellen kann, liegen unzählige, je nach der Feinheit des Schliffes gelb bis rot gefärbte *Strukturkörper*, verschlungen-verfaltete Doppelbänder, flachgepreßte Ringgebilde und in unregelmäßig geformten und ausgelappten Einzelheiten überdies ein Haufwerk von Bruchstücken der angedeuteten Formelemente.

Im *Reliefschliff* sind diese Dinge infolge ihrer offensichtlich größeren Härte deutlich gegenüber benachbarten Vitritpartien herausgearbeitet und fallen überdies durch ihre stumpf- bis lilagrauen Töne auf, während ja Vitrit, Fusit und auch die „Opaksubstanz“ das Licht hell zurückwerfen (Abb. 46, 47).

Im Durit der Steinkohlen liegt — das sei gleich kurzweg bemerkt — eine recht merkwürdige *Ansammlung von „Bitumenkörpern“* vor, von ehemaligen Organen und Organteilen,

die in Anpassung an besondere Aufgaben von der Pflanze aus widerstandsfähigen Fettstoffen, wie Suberin, vor allem aber Kutin und Sporopollenin gestaltet wurden. Vor allem sind die Blatthäute (Kutikeln) und die Exinen der Pollenkörner und Sporen im Durit angehäuft. Ich bitte, über diese Dinge nochmals in dem Abschnitt über die organischen Ausgangsstoffe (S. 63) nachzulesen.

Die genannten Pflanzenreste sind so überaus haltbar, daß sie sich selbst in ältesten Kohlen noch in trefflicher Formerhaltung finden; auch



Abb. 46. *Durit* (Kannelkohle) mit *Vitrit*ader. Niederschlesien. Reliefschliff, auffallendes Licht. Vergr. 160. Aufn. K. A. Jurasky.

ihre Stofflichkeit erscheint kaum verändert: Wir können an diesen Gebilden noch genau dieselben „mikrochemischen“ Reaktionen vornehmen wie an entsprechendem frischen Material, vor allem gewisse charakteristische Anfärbungen mit bestimmten Fettfarbstoffen der Anilingruppe. Man kann diese Pflanzenreste mit Hilfe der „Mazerationsmethode“ aus ihrer Verbindung mit dem Kohlengestein lösen und sie dann für sich allein wie irgendein der lebenden Pflanzenwelt entnommenes Objekt unter dem Mikroskop im durchfallenden Licht studieren. Die kohlige Substanz selbst noch der Steinkohlen läßt sich durch Behandlung mit starken Säuren (SCHULZESCHES Gemisch = Salpetersäure + Kaliumchlorat) in alkalischen Zustand überführen und dann mit Laugen (Kalilauge, Ammoniak usw.) entfernen¹. Splitter fossiler Holzkohle sowie die Bitumenkörper (mit Ausnahme der Harze), weiterhin auch die ursprünglich aus Chitin bestehenden Pilzreste bleiben unberührt zurück; sie werden lediglich

¹ In Torf und Braunkohle ist der Zustand der Humusstoffe vielfach noch so „jugendlich“, daß sie sich ohne Säurebehandlung schon allein mit kochender Kalilauge lösen und entfernen lassen.

einigermaßen gebleicht und elastisch und bieten nun nach geeigneter Präparation unter dem Mikroskop alle Einzelheiten ihrer Form und ihres Innenbaues. Ich habe bereits an anderer Stelle (S. 67) darauf hingewiesen, welche Bedeutung das Studium der Pollenkörner in eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Torfen erlangt hat; solcher fossiler Blütenstaub läßt sich ebensogut aus tertiärer Braunkohle gewinnen, und sein Formenreichtum allein deutet schon die Mannigfaltigkeit der ehemals unseren Boden besiedelnden, heute auf ferne Zonen verteilten Pflanzenwelt an. Ähnliche Möglichkeiten bieten auch die noch in den Steinkohlen erhaltenen Sporen, also Fortpflanzungsorgane der Karbonpflanzen (vgl. unten!).

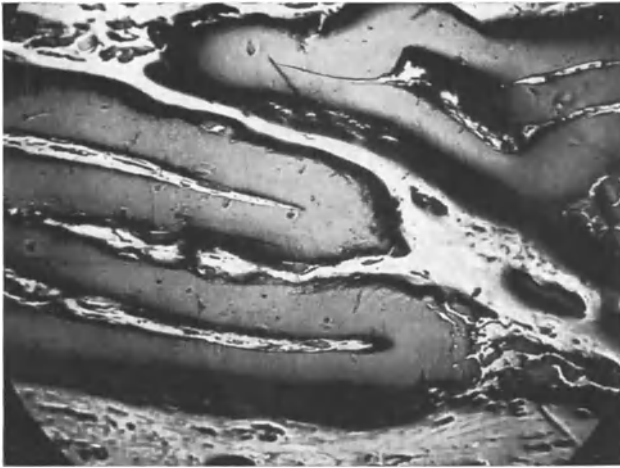


Abb. 47. *Durite*partie mit großen Megasporen. Steinkohle von Hardley Yard Seam. Reliefschliff. Verg. 120. Aufn. K. A. Jurasky.

In gleicher Weise lassen sich aus den Kohlen die Fettüberzüge der Pflanzenblätter, ihre Kutikeln präparieren; auch ihre Strukturen sind sehr zusammengesetzt, überaus wechsellvoll und oft typisch für bestimmte Pflanzenarten, deren ehemaliges Vorhandensein also mittels dieser „kutikularanalytischen Methode“ festgestellt werden kann¹. Auch die chitinösen Reste (Fadengeflechte, Sporen und Sklerotien, vgl. S. 124 f.) widerstehen der chemischen Behandlung und können durch sie isoliert und einer näheren Beobachtung zugeführt werden.

Häufig sind im Durite vor allem die z. T. noch völlig unversehrt erhaltenen oder auch schon ziemlich zerstückelten Außenhäute der *Sporen* karboner Farnpflanzen, also der

¹ Vgl. JURASKY, Kutikular-Analyse, in *Biologia generalis*, Wien, Bd. 10 u. 11, 1934/35.

eigentlichen Farne, der Schachtelhalm- und Bärlappgewächse. Es sind der Fortpflanzung dienende Gebilde von mehr minder kugelige Ursprungsform, die nunmehr natürlich durch Druckwirkungen zu linsenförmigen Plättchen gepreßt und überdies oft ziemlich verfaltet sind (vgl. Abb 47, 48). Man kann unter den Sporen deutlich zwei Größenklassen unterscheiden, deren Ausbildung wenigstens zum Teil mit geschlechtlichen Unterschieden dieser Fortpflanzungsorgane in Zusammenhang steht: Sehr kleine, dickwandige und daher

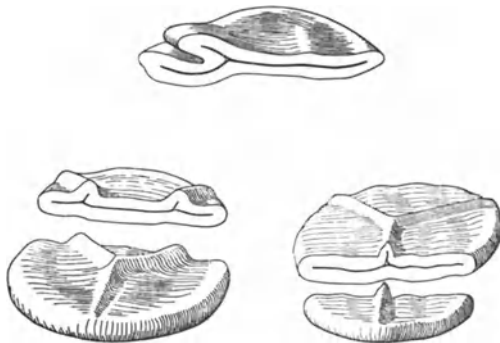


Abb. 48. Zustandekommen des verschiedenartigen Bildes, das die in der Kohle enthaltenen Megasporen im Schlibfbild bieten. Nach E. Stach.

oft noch nahezu kugelig erhaltene Gebilde von wenigen Tausendstel bis höchstens ein Zehntel Millimeter Größe, die männlichen *Mikrosporen*; sie entsprechen entwicklungs-geschichtlich den Pollenkörnern der Blütenpflanzen (Abb. 26); dann die weit größeren, zuweilen sogar bis zu 3 mm messenden weiblichen *Megasporen* (sprachlich falsch früher als „Makro“sporen bezeichnet). Besonders diese Megasporen besitzen ähnlich den Pollenkörnern oft Formeigentümlichkeiten, die für bestimmte Pflanzenarten des Karbons bezeichnend waren (Abb. 49).

Zunächst ist für nahezu alle Sporen ein dreistrahliges Sterngebilde sehr typisch, eine merkwürdige Naht, an der sie gerne aufplatzen. Sie kam dadurch zustande, daß diese Sporen zu viert zusammenhängend in einer gemeinsamen Mutterzelle in „Tetraden“ gebildet wurden; die Felder jenes Dreizacks entsprachen den Berührungsflächen der weiteren drei Sporengeschwister (Abb. 48). Ferner tragen die Sporen vielfach allerlei cha-

rakteristisch verteilte Außenverzierungen, wie Warzen, Wülste, Haare und Stachelzotten, die am Sporenquerschnitt dann als Rund- oder Stachelzählung des *Außenrandes* auffallen (Abb. 49). Diese für die zugehörige Pflanzenart bezeichnenden Eigentümlichkeiten finden auch praktische Auswertung: Wir erkennen schon an den in den flözbegleitenden Gesteinsschichten erhaltenen Blattabdrücken, Stammresten usw., daß die karbonale Pflanzenwelt im Laufe der Kohlenbildungszeit einem verhältnismäßig raschen Wechsel der Arten unterworfen war, so daß schon Nachbarflöze von einer Gemeinschaft verschiedener Formen begleitet und durch sie charakterisiert werden können. Ein bereits bekanntes Flöz ist also innerhalb eines großräumigen Lagerstättengebietes in einem entfernten Neuaufschluß an diesen begleitenden Pflanzenresten unter vielen anderen Flözen wiederzuerkennen.

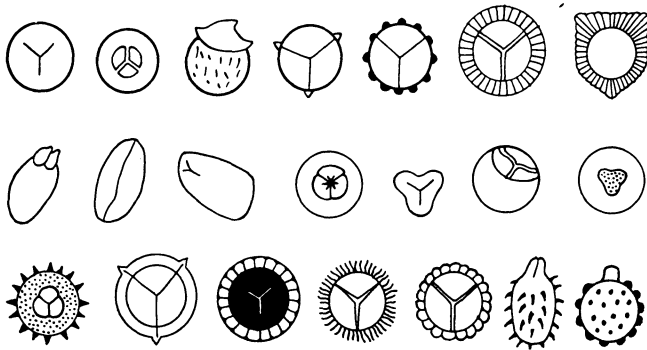


Abb. 49. Skizze der wichtigsten Formentypen karboner Megasporen.
Umgez. nach J. Zern dt.

Das kann von großem Nutzen sein, denn man weiß dann, um ein Beispiel anzuführen, welche weiteren Flöze noch in der Tiefe zu erwarten sind u. a. m. Wenn nun größere Pflanzenreste in den Begleitschichten nur spärlich oder auch gar nicht auftreten und auch andersartige Leitmerkmale (z. B. marine Horizonte) fehlen, kann die in der Kohle selbst enthaltene Kombination der Sporenformen zur *Flözidentifizierung* verwertet werden. In dieser Möglichkeit bietet sich wieder ein eindrucksvoller Beleg für die erstaunlichen und vom Außenstehenden meist ungeahnten Brücken, die von der in ihrem Wert so oft verkannten „reinen Forschung“ nach dem Bereich des Angewandten und Praktisch-Nutzbaren geschlagen werden können.

Nicht allein Sporen, auch *Blattkutikeln* können sich am Aufbau der Mattkohle bis zur nahezu alleinigen Führung beteiligen; Durit kann also auch aus übereinandergeschichteten Blättern entstanden sein, deren Kutikeln sich formhaft in einer meist vitritischen Grundmasse erhielten, die sich aus den Blattinnengeweben sowie aus zugewanderten Humus-

gallerten bildete. Die Ober- und Unterhaut der Blätter liegen dann jeweils aneinander; ihre Verbindungsstellen zeigen den Blattrand an. Diese paarweise das Schliffbild durchziehenden Bitumenleisten können den Sporen ähnliche Bilder vermitteln; doch weist die ausgedehnte Längserstreckung und die *nach innen* — nicht wie bei den Sporen nach außen — gerichtete Zähnung auf ihren anderen Ursprung hin (Abb. 25, 50).

Es gibt nun noch eine weitere Art des Durits, deren Inhaltkörper ihrer Herkunft nach lange umstritten waren. Es handelt sich um wabig-zellig durchzeichnete, nach außen hin

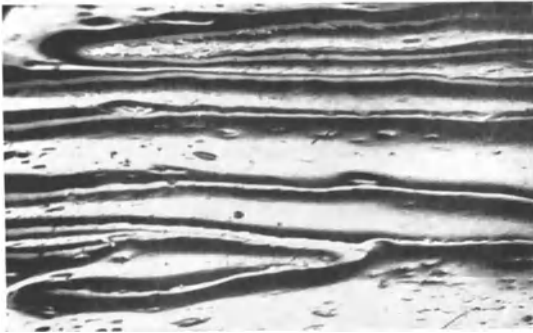


Abb. 50. Blattkutikeln in vitritischer Grundmasse. Kreide-Steinkohle von Barsinghausen (Hann.). Vergr. 127. Aufn. K. A. Jurasky.

unregelmäßig und oft blumenkohllähnlich umgrenzte Bitumengebilde, die in einer dunklen, meist reichlich vorhandenen Grundmasse verteilt sind (Abb. 51). Die verschiedensten Anschauungen wurden über die Natur dieser im *Dünnschliff* schmutzig-hellgelb erscheinenden „Bogheadkörper“ geäußert; heute weiß man mit Sicherheit, daß hier die Überreste von Kolonien an sich einzelliger *Planktonalgen* vorliegen, die infolge ihres hohen Eiweiß- und Fettstoffgehalts erhaltungsfähig waren und sogar oft noch recht weitgehende Strukturzeichen behalten haben. In diesem nicht gerade häufig verwirklichten Ausnahmefall erwies sich also tatsächlich eine Kohle als Algenbildung, und eine längst begrabene Theorie

der Kohlenentstehung (vgl. S. 15) erfuhr in eng begrenztem Gültigkeitsbereich späte und bescheidene Rechtfertigung¹.

Sporen- und Algendurite können *auch für sich allein Kohlenflöze* aufbauen. Es sind matte, höchstens mit seidigem Schimmer begabte Kohlen leichten Gewichts, die überaus zähe zusammenhalten, sich schwer zerkleinern lassen und beim Anschlagen mit holzartig-dumpfem Klang antworten. Man kann sie drechseln und polieren und kunstgewerbliche Dinge aus ihnen fertigen, was ab und zu der Besonderheit

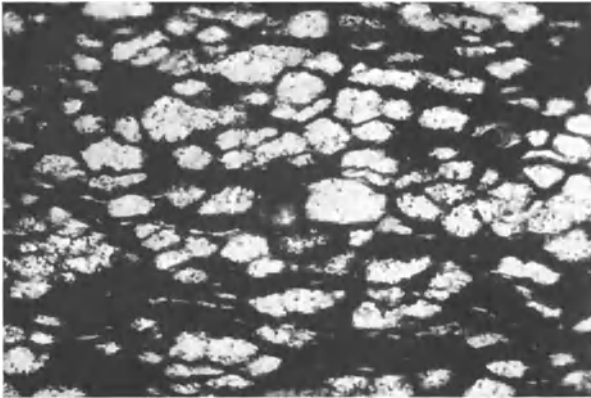


Abb. 51. Ölalgeln in Bogheadkohle (Boghead-Durit) aus dem Lugau-Ölsnitzer Steinkohlenrevier (Sachsen). Dünnschliff, *durchfallendes* Licht. Vergr. 204. Aufn. K. A. Jurasky.

halber geschieht. Entsprechend dem *hohen Wasserstoffgehalt* ihrer kennzeichnendsten Aufbaukörper² liefern sie bei der Trocken Destillation (vgl. S. 155 f.) überaus große Ausbeuten an „Flüchtigen Bestandteilen“, d. h. an Gas und an Teer (Teer = „Bitumen“ der Kohlenchemiker!). Diesem „bitumi-

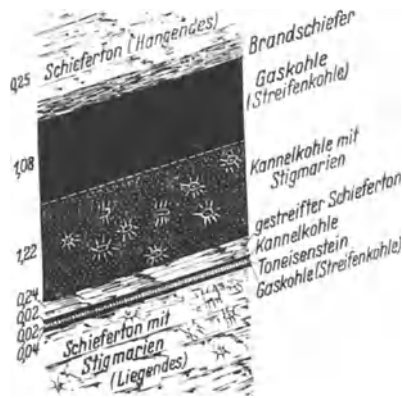
¹ Hier ist noch eine sehr interessante Bildung anzuführen: der Sapromyxit Sibiriens. Er entspricht einer bitumenreichen Mattkohle, die allem Anschein nach aus blättrig übereinanderliegenden Häuten großer, auch in den äußeren Formen noch erkennbarer Meeresalgen bestehen. Die Frage nach ihrer Entstehung hat noch keine befriedigende Antwort gefunden.

² Die in der Kohlenpetrographie als „Gefügebestandteile“ der „Streifenarten“ bezeichnet werden.

nösen“ Charakter entsprechend lassen sie sich schon mit dem Streichholz entzünden und brennen mit heller, rußender Flamme gleich einer Kerze; sie lassen dabei einen erheblichen Aschengehalt zurück. Sie sind eigentlich den Ölgesteinen (Kerogengesteinen) näher verwandt als den Kohlen, mit denen man sie nur wegen der Gemeinschaft des Bildungsraumes und im Hinblick auf ihren Gehalt an „kohligter Substanz“ vereint.

Man hat die aus *Sporen* aufgebauten Mattkohlen als *Kännelkohlen* (engl. candle = Kerze) bezeichnet, während

Abb. 52. Profil eines Steinkohlenflözes von Zeche Schlägel und Eisen in Westfalen. Die Ablagerung des Hauptflözes über dem von Wurzelstöcken (*Stigmarien*) durchsetzten Liegendgestein begann mit einer hauptsächlich aus Sporen aufgebauten Gyttabildung (Kännelkohle); in ihr wurzeln ebenfalls *Stigmarien*. Darüber lagerten sich in feinem Wechselspiel Gytta- und Humustorfschichtchen ab (aus Durit und Vitrit bestehende streifige Oberbank des Flözes). Nach einem als Brandschiefer erhaltenen Mischsediment (zunehmende Überflutung des Moores) erhielt schließlich die Ablagerung von Tongestein die Oberhand. Nach P. Kukuk: Unsere Kohlen. Berlin: W. de Gruyter.



die aus *Algen* aufgebauten Durite der Kohlengeologie unter dem Namen „*Bogheadkohlen*“ geläufig sind (Boghead = Fundort in England). Äußerlich lassen sie sich kaum unterscheiden, und auch ihre chemischen Eigenschaften weichen nicht wesentlich voneinander ab. Kännelkohlen in selbständigen Flözen oder Flözteilen sind — auch in Deutschland — verhältnismäßig häufig, Bogheads dagegen auch in kleinerem Ausmaß recht selten: immerhin kennt man auf der Erde eine ganze Reihe von Fundorten solcher Bogheadflöze. In Deutschland wurden bisher nur wenige Vorkommen bekannt (Zeche Brassert in Westfalen, Lugau-Ölsnitz in Sachsen, Saargebiet).

Das Auftreten jener „Ölalgen“ in der Mattkohle und immer wieder beobachtete *Mischbildungen* mit Sporenablagerungen hellen die besondere Art der Entstehung der Duritstreifen auf: Es handelt sich hier im wesentlichen um *echte Unterwasserablagerungen*, und zwar um *Gyttjabildungen* (S. 25 f.) gewissermaßen auf engstem Raum; sie entstanden in den tausenden freien Wassertümpeln, welche die karbonen Moore und ihre Humustorfablagerungen durchsetzten und immer wieder ihren Platz wechselten, ähnlich wie die erhöhten Bulten und wassererfüllten Schlenken mancher Gegenwartsmoore, nur wahrscheinlich doch in etwas größerem Maßstab. (Daß diese Gyttjabildungen auch innerhalb der Steinkohlenbildungsfelder ausnahmsweise *großräumig* und langfristig sich ablagern konnten, wie es eigentlich dem Normalfall einer solchen Seenbildung entspricht — das zeigen die reinen Kännel- und Bogheadflöze bzw. entsprechend ausgebildete Flözbänke.) So kam schließlich eine Gesamtschicht innig verwachsener humoser und bituminöser Bildungen zustande, Humustorf wurde zum Vitrit, die Gyttja zum Durit; sein hoher Aschengehalt rührt von eingewehtem und eingeschwemmtem Staub her. Durch die enge Nachbarschaft mit den Humustorfen wurde den Unterwasserablagerungen unter Umständen reichlich Humussubstanz zugeführt, die ja in vitritischem Zustand in der Grundmasse des Durits vertreten sein kann. Noch typischer ist in ihr allerdings jene erst in überaus dünnen Schlifften durchscheinend werdende „*Opaksubstanz*“, die selbst bei stärksten Vergrößerungen keinerlei Struktur erkennen läßt. Ihre Herkunft ist *noch* nicht aufgeklärt; da sie in allen der Beobachtung zugänglichen Eigenschaften mit der Substanz der kohlig erhaltenen Pilzreste (S. 125) übereinstimmt, vermute ich, daß in ihr die unendlich feinen *Chitinhäute von Bakterien* vorliegen, welche die ursprünglich reichlich der Ablagerung zugeführten Eiweißstoffe u. a. m. verzehrten.

Mit der Entstehung des *Durits* hat die Kohlenbildung einen *Sonderweg* eingeschlagen: Der echten Inkohlung folgen hier langhin nur die in der Grundmasse mitenthaltenen Hu-

musstoffe, nach deren Reaktionen wir das „chemische Alter“ der Ablagerung beurteilen können. Die Bitumenkörper dagegen verfielen lediglich der Bituminierung (S. 83, O-Verlust bei C- und H-Anreicherung), durch die sie nur wenig verändert wurden. Erst innerhalb der Steinkohlen-Umbildung durch übermächtige Außenkräfte (vgl. S. 105), also im Stadium der Magerkohlenbildung und beginnenden Anthrazitisierung *verlieren diese Bitumenkörper mit dem „Inkohlungssprung“ ihre bis dahin zähe verteidigten Sondereigenschaften* und werden durch weitgehenden Verlust ihres Wasserstoffgehalts der eigentlichen kohligen Substanz angeglichen. Ein rascher *Formzerfall* geht damit Hand in Hand. Gleichzeitig werden in den Flözen große Mengen von Methan („Schlagende Wetter“) frei. *Bei der Anthrazitbildung werden schließlich die Sondereigenschaften der drei Bestandteile Vitrit, Fusit und Durit einander so weit genähert, daß endlich alle Strukturen verschwinden und noch vor der Umbildung in Graphit eine physikalisch und chemisch vollkommene Einheitlichkeit erreicht wird.*

Vorstadien des Durits: Bitumenreiche Braunkohlen.

In den gewöhnlichen deutschen Braunkohlen vermißt man im allgemeinen ein so ins einzelne durchgeführtes Wechselspiel humoser und bituminöser Bildungen, wie es für den Aufbau vieler Karbonkohlen (Streifenkohlen) bezeichnend ist. Die Bildungsbedingungen der karbonen Steinkohlentorfe scheinen z. T. wesentlich feuchter, ihre Moore wasserreicher gewesen zu sein. Ob allerdings der Typ von Braunkohlen, wie er in Deutschland verwirklicht ist, als Normalfall tertiärer Kohlen weltgültig ist, mag fraglich sein¹; wir wissen z. B. noch allzu wenig über die weit ausgedehnteren Braunkohlenvorkommen Nordamerikas, die bei dem dortigen Überfluß an guten Steinkohlen noch kaum abgebaut werden.

Immerhin gibt es eine ganze Reihe bitumenreicher Tertiärbraunkohlen, die also in jüngerem Inkohlungsstadium

¹ Der Braunkohlenbergbau ist zwar derzeit eine deutsche Spezialität; indessen besitze Deutschland nur 5—10% der Weltvorräte!

stofflich, nicht durchwegs aber entstehungsmäßig den karbonen Steinkohlenduriten vergleichbar sind.

Der Tertiärzeit entstammende *bogheadartige Ablagerungen* von Ölalgen sind bisher nur *ohne* Verbindung mit kohligler Substanz, also als Ölgesteine bekanntgeworden, z. B. im *Marahunit* Brasiliens¹. Dagegen treten in manchen Braunkohlenlagern, z. B. im Sudetenland bei Karlsbad-Falkenau, Flözpartien auf, die in kohligler Grundmasse ungeheure Mengen von Pollenkörnern enthalten, also den Sporen der

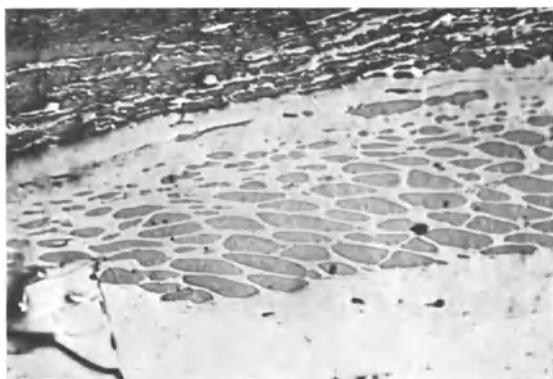


Abb. 53. Harzerfüllte Zellgewebe in sonst strukturlos gewordenem Vitrit. Oben angrenzend Duritpartie. Niederschlesische Steinkohle. Reliefschliff. Vergr. 160. Aufn. K. A. Jurasky.

Karbonpflanzen entwicklungsgeschichtlich und auch stofflich entsprechende Organe². Sind diese „Kännelkohlen im Braunkohlenstadium“ in der Mehrzahl der Fälle als Gytjabildung eine von Anfang an vorliegende, also primäre Anreicherung von Bitumenkörpern, so dürfte die Beschaffenheit der harz- und wachsreichen „Schwelkohlen“ des genannten Bergrevieres (Harzkohlen) bzw. Mitteldeutschlands (Wachskohlen) wohl erst durch eine nachträgliche Umbildung des Flözes, also

¹ Ähnliche Bildungen treten schon im Silur Estlands als „Kuckersit“ auf.

² Auch Pollengesteine kennt man abseits von Kohlenlagerstätten und ohne Beimengung kohligler Substanz, also als Ölgestein (*Fimmenit*).

Schematische Übersicht der Kohlenarten

nach genetischen und stofflichen Gesichtspunkten.

K. A. Jurasky, 1940.

Hervortretende Aufbaustoffe:	
Humuskohlen	Bitumenreiche Kohlen
(Typ der Humusgesteine oder Humolithe)	B.-Reichthum syngenetisch ¹ (Typ der organischen Schlammgesteine oder Saprolithe) <i>Gyttja-Kohlen</i> (Sapanthrakon)
Rezente Ausgangsstoffe	Fett- und Eiweißstoffe niederer Pflanzen (Algen)
Verholzte Substanz (Zellulose +) Lignin	Fett- und Eiweißstoffe von Land- und Sumpfpflanzen (Sporen, Pollen, Kutikeln)
Torf	Algenyttyja mit beigemengter Humussubstanz
Humustorf	Mischbildungen
Humus-Braunkohlen	Sporen-, Pollen- oder Kutikelyttja mit beigemengter Humussubstanz
Weich-Braunkohlen	Sporen-, Pollen- oder Kutikelyttja mit beigemengter Humussubstanz
Härt-Braunkohlen	Pollenbraunkohlen (Abart der Schwelkohlen ¹)
Glanz-Braunkohlen	Vergleichbares Ölgestein ohne Humus: z. B. Marahunit Braunsilens
Flammkohle	Durit
Gasflammkohle	Kännelkohle
Gaskohle	Bogheadkohle (bzw. ohne Humussubstanz)
(Inkohlungssprung)	Kuckersartige Kerogenschiefer
Steinkohle A H-reiche Phase	(Inkohlungssprung)
Steinkohle B H-arme Phase	Theoretisch: Meta-Kännelkohle (durch Metamorphose H-verarmt)
Anthrazit	(Theoretisch: Anthrazit)
Graphit	(Theoretisch: Graphit)
Inkohlungszustand	Inkohlung
	(Inkohlungssprung)
	?
	(Theoretisch: Anthrazit)
	(Theoretisch: Graphit)
	B.-Reichthum epigenetisch ² (Liptobolith-Gesteine) <i>Harz- und Wackskohlen</i>
	Harze und Wachse höherer Landpflanzen
	(Harze und Wachse noch im Humustorf verteilt)
	(B.-anreicherung durch Auswählzeretzung) Harzbraunkohlen Wachsbraunkohlen (bei Verlust d. Humusstoffe: Pyropissit „Schwelkollen“)
	(Bekanntlich reich an harzreiche Vitrit-, bzw. Duritpartien [„Clarit“] z. T.)

¹ Schon in der Urablagerung vorhanden. ² Erst nachträglich durch Auswählzeretzung bewirkt.

sekundär zustande gekommen sein, und zwar, wie schon früher angedeutet wurde (S. 114), durch *auswählende (selektive) Zersetzung*, die bei Schonung der Bitumenstoffe den Bestand an Humussubstanz verminderte, also ein wachs- und harzreiches *Restprodukt* übrigließ¹. Gleichartige Bildungen im Inkohlungszustand der *Steinkohle* sind bisher, wenigstens

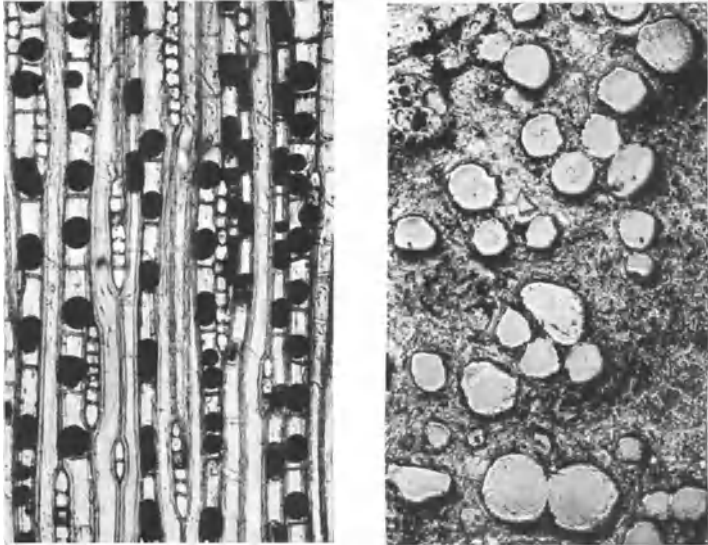


Abb. 54 (links). Längsschnitt durch ein Braunkohlenholz (*durchfallendes Licht*) mit Harzkugeln in den Zellen. Vergr. 98. Aufn. K. A. Jurasky.

Abb. 55 (rechts). Schwelkohle von Hirschfelde (Lausitz), völlig von Harzkörnern durchsetzt. Reliefschliff im *auffallenden Licht*. Die Abb. 54/55 bringen die Verschiedenartigkeit des Bildeindrucks bei Betrachtung im durch- und im auffallenden Licht zum Ausdruck. Vergr. 139. Aufn. K. A. Jurasky.

in größerem Maßstab, noch unbekannt, wenn wir auch ab und zu schon in der karbonen *Steinkohle* harzreiche Einzelpartien entsprechend der Abb. 53 antreffen². Es gab im

¹ Auf diese Weise an Humusstoffen nahezu gänzlich verarmte, gelbliche bis rötlichweisse Bildungen Mitteldeutschlands werden als *Pyropissit* bezeichnet.

² Ein derartiger Durit mit einer *Grundmasse aus Vitrit* (bei fehlender Opaksubstanz) wird als *Clarit* bezeichnet.

Karbon also schon harzerzeugende Pflanzen (Kordaiten?), während die Fähigkeit zu ansehnlicherer *Wachs*produktion sich erst bei den mit flächigem Laub ausgestatteten Blütenpflanzen (*Angiospermen*) der Kreidezeit eingestellt haben dürfte.

Die hauptsächlich *wachshaltigen* Schwelkohlen Mitteldeutschlands zeigen unter dem Mikroskop bei gewöhnlicher Betrachtungsweise wenig Auffallendes, da die Wachse in der Hauptsache diffus die Kohlenmasse durchsetzen und ihnen irgendwelche bestimmt-umschriebenen Formen abgehen. Ihre Partikelchen treten aber bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht sehr deutlich hervor, da sie in weißlichem bis bläulichem Fluoreszenzlicht aus der dunkel bleibenden Grundmasse aufleuchten.

Ein auffallendes Strukturbild schon im gewöhnlichen Licht bieten dagegen die *harzreichen* Schwelkohlen. Dazu eine Vorbemerkung! Abb. 54 zeigt, wie die von den Zellwänden ausgeschiedenen Harztröpfchen als verhärtete Kügelchen noch in den Zellgeweben der Braunkkohlenhölzer beobachtet werden können. Nach dem Zerfall der Holzgewebe gelegentlich der fortschreitenden Inkohlung werden diese Harzkörper frei und gelangen in die erdige Kohlengrundmasse, in der sie sich bei der Umbildung der Humuskohle in Schwelkohle anreichern. Abb. 55 zeigt das Reliefschliffbild einer solchen „Harzkohle“.

3. Praktischer Nutzen der Kohlenpetrographie.

Schon zu Anfang dieses Kapitels wurde erwähnt, daß die Kohlenpetrographie nicht nur der rein *wissenschaftlichen* Erforschung der Kohle dient, daß sich vielmehr ihre Erkenntnisse auch in *praktische* Ergebnisse umformen lassen. Sie kann — vielfach eindeutiger als die chemische Analyse — den Weg weisen zur bestmöglichen Auswertung der wechselnden, in dem Rohstoff Kohle ruhenden Möglichkeiten. Grundprinzip ist dabei die *Deutung der Stofflichkeit aus dem Studium der Form*. Wir wollen diesen Dingen einige kurze Ausführungen widmen, zumal sie wie überhaupt die

Ergebnisse der Kohlenmikroskopie eigentlich noch nie vor weiteren Kreisen der Gebildeten ausgebreitet worden sind.

Die mannigfache Nutzbarkeit insbesondere der *Steinkohle* wird — wenigstens zu einem wesentlichen Teil — durch die unterschiedlichen Eigenschaften ihrer Abarten ermöglicht — oder auch bedingt. Die Kohlenpetrographie arbeitet daran mit, von Anfang an eine Fehlleitung des kostbaren Rohstoffs zu verhindern — oder auch umgekehrt: die bei irgendeinem technischen Verfahren zutage tretenden, in der Beschaffenheit der verwendeten Kohlenart begründeten Mängel ihrer Ursache nach aufzuklären und eine geeignetere Kohlensorte ausfindig zu machen. Die Verwertung der Kohle geht von wenigen einfachen Grundprozessen bzw. den dabei entstehenden ersten Zersetzungsprodukten aus. Die technisch wichtigsten, in den Kohlenarten bald hervor-, bald zurücktretenden Eigenschaften, die sich z. T. gegenseitig beeinträchtigen können, sind

1. Ihr Heizwert, ausgedrückt in Wärmeeinheiten (WE).
2. Ihre Kokbarkeit bzw. die Ausbeute an Koks und dessen technische Eigenschaften.
3. Ihr Gehalt an „Flüchtigen Bestandteilen“ = Teer + Gas.

Jeder der drei Kohlenpetrographischen Hauptbestandteile (Streifenarten) besitzt hinsichtlich dieser drei Punkte besondere Fähigkeiten oder Mängel, die mit seiner *chemischen Eigenart* verknüpft sind; diese wiederum ist ein *Produkt aus der stofflichen Herkunft und dem erreichten Inkohlungsgrad*. Das bedeutet also, daß Vitrit und Vitrit nicht dasselbe ist. Seine Eigenschaften ändern sich gesetzmäßig mit dem Inkohlungsgrad; ist dieser bekannt, sind auch seine technischen Eigenschaften ausreichend genau bestimmt, oder: Gleiche Streifenarten verschiedener Kohlenflöze oder Lagerstätten verhalten sich so gut wie gleich, wenn sie im Inkohlungsgrad übereinstimmen¹. Dieser letztere läßt sich mit

¹ Sinngemäß bezieht sich dies vor allem auf Vitrit und Durit; der Fusit hat von Anfang an nahezu den höchsten Inkohlungsgrad, und während der Verwandlung der beiden anderen Hauptbestandteile sind seine Eigenschaften so gut wie keinen Änderungen mehr unterworfen.

Hilfe besonderer optischer Instrumente (Vergleichsmikroskop, Spaltnikrophotometer) messen; man benützt dabei die Tatsache, daß *im Steinkohlenstadium* mit der Inkohlung das Reflexionsvermögen für Licht (also der „Glanz“) sich in gesetzmäßigem Fortschritt steigert. Wichtig ist nun, daß diese Feststellungen nur bei dem dafür geeignetsten Bestandteil, dem Vitrit, getroffen werden müssen, denn innerhalb einer Streifenkohle bestimmten Umwandlungsgrades stehen die chemischen Eigenschaften der drei Hauptbestandteile in einem festen Verhältnis zueinander.

Die technischen Besonderheiten der Streifenarten innerhalb einer Steinkohle mittleren Inkohlungsgrades (z. B. der Fettkohle) lassen sich in großen Zügen folgendermaßen kennzeichnen: Der *Vitrit* hat verhältnismäßig niederen Kohlenstoffgehalt, mittlere Wasserstoffwerte und einen noch immer relativ erheblichen Sauerstoffanteil. Er besitzt mittleren Heizwert, mittleren Gas- und Teergehalt. Er ist der Träger der Verkokbarkeit: Vitritische Kohlen liefern in dem gekennzeichneten Inkohlungsstadium besonders reichlich einen hohen Ansprüchen gerechten geblähten Koks.

Der *Durit* mit seinen überaus wasserstoffreichen primären Bitumenkörpern ergibt eine besonders große Ausbeute an Gas und Teer, also an bituminösen Abkömmlingen; dagegen liefert er unbrauchbaren sandig-sintrigen Koks. Als Brennstoff ist er besonders leicht entflammbar; stark duritische Kohlen lassen sich oft schon mit dem Streichholz entzünden. Entsprechend seiner Entstehung als organischer Schlamm ist er verhältnismäßig aschenreich.

Der *Fusit* besitzt nahezu 100% Kohlenstoffgehalt, besitzt daher weder Verkokbarkeit noch Gasgehalt nennenswerten Ausmaßes. Er ist ein hochwertiger *Brennstoff*, nur meistens ziemlich aschenreich (durch Mineralsubstanzen, die sich in seinen Zellhohlräumen festgesetzt haben). *Allen übrigen Verwendungsarten* der Kohle, an deren Aufbau er sich beteiligt, *wird er hinderlich*.

Die *technischen Eigenschaften* einer Steinkohle können also durch *Bestimmung des Inkohlungsgrades am Vitrit* und durch *Auszählen der mengenmäßigen Beteiligung der vor-*

kommenden Streifenarten unter Berücksichtigung der z. T. gleichfalls petrographisch erschließbaren *Aschenmineralien*, ihrer Art und Verteilung mit praktisch ausreichender Genauigkeit durch mikroskopische Untersuchung festgestellt werden.

Wie kann man nun aber die zahlenmäßige Beteiligung der Hauptbestandteile im Aufbau eines oft viele Meter mächtigen Flözes oder einer vielleicht aus mehreren Abbauorten zusammengeschütteten Bunkerkohle ermitteln? Etwa durch mühsame Auszählung hunderter von Schliffen? Man hat hier einen Ausweg von genialer Einfachheit gefunden. Eine gewissermaßen aus der ganzen Flözmächtigkeit herausgeschnittene Säule (Schlitzprofil) wird gepulvert; von dem innig durchmengten Staub wird nach Durchtränkung mit einem geschmolzenen Harz-Wachs-Gemisch ein „Gußschliff“ hergestellt, der so gewissermaßen tausende Einzelschliffe in einem Präparat enthält. Gelegentlich der Zerstäubung haben sich die vorher engverwachsenen Hauptbestandteile voneinander gesondert, und jedes Körnchen besteht im großen und ganzen nur aus einer Art. Mit Hilfe eines ingeniosen, aber einfach zu handhabenden Spindeltisches (Integrationstisch) werden unter dem Mikroskop die Raumanteile der verschiedenen Streifen aus der Summe ihrer Durchmesser berechnet und ihr Verhältnis festgestellt.

Die so auf mikroskopischem Wege erschlossenen Haupt-eigenschaften der betreffenden Kohle deuten auf den *bestmöglichen Verwendungszweck oder auch auf das dafür geeignetste Verfahren*. Ist die Nutzungsart einer Kohle aber aus irgendwelchen Gründen fest gegeben, ohne daß sich die Kohlensorte dafür besonders gut eignet, dann läßt sich auf petrographischem Weg oft ein Mittel zur *Änderung der Eigenschaften* nach der erwünschten Richtung finden. Ein Beispiel dafür: Gaswerke sind, wenn sie wirtschaftlich arbeiten wollen, an hoher Gasaubeute, aber auch an der gleichzeitigen Gewinnung eines brauchbaren Kokes interessiert. Eine zur Verfügung stehende duritreiche Kohle liefert zwar optimale Gasmengen, aber einen sandigen, so gut wie unbrauchbaren Koks. Auf petrographischem Weg wird eine zweite Kohlen-

sorte mit ergänzenden Eigenschaften ermittelt. Die Mischung beider liefert das gewünschte Ergebnis.

Der Kohlenpetrographie stehen unzählige solcher Anwendungsmöglichkeiten nicht nur im Bereich der Steinkohle, sondern auch der Braunkohle offen. Hier müssen kurze Andeutungen genügen.

VI. Blick über Gewinnung und Erst-Verwertung der Kohlen.

Deutschland ist ein kohlenreiches Land; es birgt Schätze an Braunkohlen- und Steinkohlen, die noch für Hunderte von Jahren ausreichen — trotzdem von jeder der beiden Brennstoffarten Jahr für Jahr über 200 Millionen Tonnen dem Boden durch die Arbeit des Bergmanns und die von seiner Hand gelenkten Maschinen entnommen werden¹.

Das wichtigste *Steinkohlengebiet* ist zur Zeit noch das *Niederrheinisch-Westfälische* Gebiet, das sich beiderseits des Rheins, vor allem aber an seinem rechten Ufer („Ruhrrevier“, ein heute nicht mehr zutreffender Name) erstreckt. In große Tiefe versunkene Karbonschichten stellen die geologische Verbindung dieses Bereiches mit einem weiteren Gebiet, dem von *Aachen* her.

Mit dem erstgenannten Gebiet wetteifert an Bedeutung das nunmehr nach dem polnischen Feldzug in allen seinen Teilen zum Reich zurückgekehrte *Oberschlesische* Steinkohlenrevier (einschließlich des Ostrau-Karwiner Gebietes). Die bis jetzt angeführten Vorkommen führen Einschaltungen meerescher Schichten und werden als *paralische* (d. h. in Meeresnähe abgelagerte) Bildungen bezeichnet, gegenüber den *limnischen* (d. h. im Binnenland gebildeten) Steinkohlenbecken. Dazu gehören das *Saarkohlenbecken*, das *Niederschlesische* Gebiet (Waldenburg-Schatzlar), das *Sächsische* Revier (Zwickau und Lugau-Ölsnitz) und einige kleinere, meist jüngere Vorkommen (z. B. permische Kohlen von *Dresden-Döhlen*, Kreidekohlen des *Deistergebietes* u. a. m.). *Limnische* Steinkohlenbecken des Protektorats Böhmen und Mähren haben in *Pilsen* und *Kladno* ihre Mittelpunkte.

Es ist verständlich, daß die *Steinkohlenflöze*, uralten Schichtsystemen vor allem der Karbonzeit eingeschaltet, heute meist *tief im Erdinnern* ruhen und nur an wenigen Stellen

¹ Näheres in: Jurasky, „Deutschlands Braunkohlen u. ihre Entstehung“ (1936) — und E. Stach, „Großdeutschlands Steinkohlenlager“ (1940). Beide i. d. Sammlg. „Deutscher Boden“ (Borntraeger-Berlin).

zutage treten, wo sie durch gebirgsbildende Kräfte aufgewölbt worden waren und ihre Überlagerungsgesteine bis zur heutigen Landoberfläche der Abtragung verfallen sind (z. B. Ruhrtal bei Essen, Örtlichkeiten des Saar- und des Aachener Gebietes). Nur in wenigen Fällen werden auf der Welt Steinkohlen in offenen Gruben unter freiem Himmel gewonnen. Einen solchen „Kohlensteinbruch“ besitzt z. B. Böhmen bei Radnitz (Bras).

Im allgemeinen wird die Steinkohle im *Tiefbau* gewonnen. Unter hochragenden Fördertürmen mit flinkem Räderspiel tauchen die Aufzüge mit ihren „Förderkörben“ oft viele hundert, zuweilen auch weit über tausend Meter durch die Schächte in die Tiefe, um deren kostbares Gut zutage zu heben. In der „Sohle“ jedes der Gewinnung zugänglichen Flözes liegt ein über viele Quadratkilometer ausgespanntes Netz von Stollen, auf deren Hauptlinien mit Preßluft oder Elektrizität getriebene Kleinbahnzüge die Kohle vom „Ort“ der Gewinnung den Förderaufzügen der Schächte zubringen. „Vor Ort“ wird die Kohle mit sägend arbeitenden Schrämmaschinen, mit Druckluftbohrern und -hämmern, vor allem natürlich mit Hilfe von Sprengstoffen aus dem Flöz getrennt (Abb. 56). Immer weiter, immer enger durchgreift das Netzwerk der Stollen die kohlenführenden Gesteinsschichten. Seine mit tragfesten Holz- und Stahlgerüsten „ausgezimmerten“, z. T. auch durch Mauerwerk für langjährige Benutzung gesicherten Hohlgänge („Strecken“) bleiben durch ein wohlüberlegtes System von Stütz- und Schutzpfeilern voneinander getrennt. Da so ein großer Teil des Flözes sich zunächst dem Abbau entzieht, ist man längst mit immer kühneren Methoden dazu übergegangen, die ausgekohlten Hohlräume durch Gebläse oder naßarbeitende Schlammvorrichtungen mit einer möglichst dichten und tragfähigen Packung von Fremdgestein auszufüllen, zu „versetzen“. Auf diese Weise wird es möglich, auch die Kohlenpfeiler bis auf ganz geringe Reste zu gewinnen und zugleich auch die durch Bodensenkungen über Tage entstehenden „Bergschäden“ zu mildern. Das in ungeheuren Mengen nötige Versatzmaterial (Sand, Kies usw.) muß oft aus erheblichen Entfernungen

nach den Bergbaustätten herangebracht werden. So verschwinden z. B. nach und nach in der Gegend von Münster ganze Berge, und ohne Unterlaß begegnen mit Lockergestein beladene Transporte den die Ruhrkohle verfrachtenden Eisenbahnzügen und Kanalschiffen.

Große Schwierigkeiten, in seltenen Fällen auch Erleichterungen erstehen dem Bergbau aus der oft stark *gestörten*



Abb. 56. „Vor Ort“ in einem oberschlesischen Steinkohlenbergwerk (im Strebbau mit Bohrhammer). Aufn. Max Steckel, Gleiwitz.

Lagerung der Flöze; gebirgsbildende Kräfte haben die Schichten vielfach hochaufgerichtet, zuweilen bis zur Zerknitterung gefaltet, immer wieder einmal auch durch Verwürfe und Überschiebungen gänzlich aus dem Verband gerissen. Durch gewaltige Druckkräfte können Flöze gleich einer plastischen Masse bis auf dünne Lagen ausgequetscht, anderwärts wieder zu mächtigen Anschwellungen aufgestaucht worden sein. Zuweilen haben auch vorzeitliche Flüsse tiefe, heute mit Sandstein ausgefüllte Furchen in die Schichten gegraben und unvorhergesehene Unregelmäßigkeiten der Kohlenführung bewirkt.

Über der Arbeit des Kohlenbergmanns wölbt sich nicht der frohmachende freie Himmel, sondern die unheilfähige Riesenlast der in Jahrmillionen aufgetürmten Gesteine; ihn umgibt nicht die helle Geräumigkeit sauberer Arbeitsstätten, sondern berußtes Kohlengewände, von dessen Decke ein trübes Licht die staubvolle heiße Luft des Ortes durchschimmert. Tropfen von glitzerndem Schweiß ziehen helle Bahnen auf den schwarzberußten gebückten Körpern der Schaffenden. Vielfache Gefahr lauert in der Tiefe; berechnende Voraussicht, hilfreiche Fürsorge können ihre Drohung dämmen und mildern, aber nie ganz entfernen. Die nur scheinbar schlummernden Großkräfte des Erdinnern sind immer bereit, die hangenden Gesteinsmassen zu lösen und hereinzuschleudern, den Mensch und sein Werk zu verschütten, zu erschlagen. Im Luftzug aufgewirbelter Kohlenstaub gewinnt, durch einen Funken entzündet, die unwiderstehliche Gewalt hochexplosibler Stoffe und kann die gleichen tödlichen Verheerungen anrichten wie das heimtückische, der Kohle entweichende Grubengas (Methan, „Schlagende Wetter“). In manchen Kohlengebieten, z. B. in dem Niederschlesiens, ruht in den Flözen unter Druck gespeichertes Kohlensäuregas, das bei der durch den Bergbau fortschreitenden Entlastung mit furchtbarer, alles zerstörender Gewalt hervorbrechen kann oder das — sich weder durch Geruch noch durch Farbe verrätend — durch die Stollen schleicht und alles nicht rechtzeitig entrinnende Leben erstickt gleich dem Licht. Freilich hat der menschliche Geist doch viele Mittel und Wege gefunden, die Drohungen der Natur zu bannen und die Arbeit des Bergmanns zu erleichtern. Grubenkatastrophen von so furchtbarem Ausmaß wie sie noch vor wenigen Jahrzehnten erfolgten, sind heute in Deutschland undenkbar.

Auch der Bergmann kennt jenes glückliche Gefühl, das sich jedem rechtschaffenen Werk verbindet; er kennt auch Frohsinn, nicht nur dunkle Stunden. Wir wollen aber in dieser Zeit uns dessen besonders bewußt sein, wie gerade der Kohlenbergmann noch mehr als viele andere für sein Volk und seine Weltgeltung schafft — und daß er es schwerer hat als viele andre. Es hat einmal jemand gesagt, daß der Kul-

turstand eines Volkes an seinem Seifenverbrauch abzulesen sei. Er meinte die *Zivilisation* und hatte nicht durchaus Unrecht damit. *Die wirkliche Kultur eines Volkes wird viel eher danach zu messen sein, wie freudig, wie unbedenklich, wie hilfsbereit es in die rußige Hand seiner Bergleute einschlägt!*

Deutschlands Boden birgt auch riesige Schätze an **Braunkohlen**, die meist lockerer, wasserreicher Beschaffenheit sind, in einigen Gebieten aber auch feststückige, z. T. sogar steinkohlenähnliche Eigenschaften besitzen.

Die deutschen *Braunkohlenvorkommen* sind fast ohne Zahl; sie können nach folgenden Hauptgebieten zusammengefaßt werden: a) *Mitteldeutsches* Gebiet zwischen Harz, Thüringerwald, Elbe. Diese Braunkohlen sind zum Unterschied von der Mehrzahl der folgenden frühtertiären (eozänen) Alters und teilweise als hochwertige Schmelzkohlen ausgebildet. Bergbau größten Maßstabs wird u. a. betrieben um Leipzig, Halle, Merseburg (Geiseltal), Zeitz-Weißenfels usw. b) *Westdeutsches* Gebiet: Kölner Bucht, Westerwald, Hessen. Modernster Großbergbau vor allem auf dem Vorgebirge („Vilke“) bei Köln. c) *Ostdeutsches* Gebiet: Lausitz, Brandenburg, Posen usw. Tagbaubetriebe größten Stils vor allem um Senftenberg (Niederlausitz). d) *Sudetenland*: Gebiet zwischen dem Elblauf und dem Egerland. Durch Festigkeit, geringen Wassergehalt, hohen Heizwert und z. T. ansehnlichen Bitumenteil besonders edle Matt- und Glanzbraunkohlen (Brüx-Dux-Teplitz; Karlsbad-Falkenau). e) *Süddeutsches* Gebiet: Erdbraunkohlen in der *Oberpfalz*, z. B. um Schwandorf; glänzend-schwarze „Pech“-Braunkohlen in den oberbayrischen *Voralpen* (Pensberg, Peißenberg, Hausham). f) *Südost-Deutschland* = Österreichische Länder: Von Bedeutung die Lagerstätten Oberdonau (Hausruck) und Steiermarks (um Leoben und in Südsteiermark Köflach-Eibiswald). Viele kleinere Vorkommen.

Die Braunkohlen der in Deutschland meistverbreiteten erdhaften Beschaffenheit waren in der Form, in der sie auftreten, lange Zeit kaum in größerem Maß nutzbar. Braunkohlenbergbau in größerem Maßstab gibt es erst, seit man gelernt hatte, den Wassergehalt dieses Materials zu vermindern, es gleichzeitig zu verfestigen und seine Heizkraft zu verdichten. In den siebziger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts fand das schon längst bereitliegende *Brikettierverfahren* größeren Eingang, das heute zu einem Hauptfaktor für die Nutzbarmachung der Braunkohle geworden ist. Die hochragenden, von braunen Rauchfahnen und weißen Dampfwolken umflatterten Brikettfabriken, aus denen unaufhörlich der peitschende Schlag der Pressen schallt, sind neben den gewaltigen Fördergruben und ihren

Haldenzügen das beherrschende Element der „Braunkohlenlandschaft“.

Die zu Grus zermahlene Braunkohle wird in dampfspülten Behältern bis auf 17–20% Wassergehalt getrocknet und in den mit einem Druck von 1200 Atmosphären arbeitenden Pressen zu Briketts verschiedener Form und Größe geprägt. Ihr Zusammenhalt wird ohne Zusatz eines Bindemittels erreicht; es kommt im Augenblick der Pressung zu einer Selbstverkittung, die auf dem Zusammenwirken verschiedener Faktoren, hauptsächlich aber wohl auf einer Zustandsänderung der kolloidalen Humusstoffe beruht.

Während das mit wohl noch viel größeren Braunkohlenlagern gesegnete Nordamerika bei seinem ungeheuren Steinkohlenreichtum es sich leisten konnte, jene Art von Bodenschätzen bisher fast unberührt zu lassen, hatte der deutsche Braunkohlenbergbau schon vor dem Weltkrieg sehr großzügige Formen erreicht. Als Deutschland durch das Versailler Diktat von der Nutzung des Saargebietes ausgeschlossen worden war, in Oberschlesien $\frac{7}{8}$ seines Steinkohlenbesitzes an das ehemalige Polen verloren hatte und von dem Rest einen großen Förderanteil als Reparationslieferung außer Landes liefern mußte — da wurde der deutsche Braunkohlenbergbau zu wahrhaft phantastischem Ausmaß entfaltet. Heute erfährt seine Entwicklung, die ohnehin keiner Steigerung mehr fähig schien, neuen Antrieb durch die inzwischen zur praktischen Durchführung gediehene Möglichkeit, aber auch Notwendigkeit, die Form des Energieträgers „Braunkohle“ (aber auch Steinkohle) in die motorentreibender Kraftstoffe überzuführen — ganz abgesehen von der abseits der Energienutzung liegenden Herstellung hundertfältiger Kunststoffe aus Kohle.

Die besondere Art des *deutschen* Braunkohlenbergbaus, dessen technischer Stand einzigartig und vorbildlich in der ganzen Welt ist, wurde durch die *Oberflächennähe* ausgedehnter Braunkohlenvorkommen, durch die *lockere Beschaffenheit* ihres Inhalts, seine gegenüber Steinkohlenflözen ungleich größere, zuweilen bis an die hundert Meter reichende *Mächtigkeit* und durch die Konstruktion immer gewaltigerer „Übermaschinen“ möglich. Im Rheinland, in weiten Gebieten Mitteldeutschlands, in der Lausitz und in zunehmendem Maße auch im Sudetenland (Abb. 57) ist das Erdinnere in riesigen *Tagbauen* geöffnet; Baggermaschinen von einer wohl noch vor wenigen Jahrzehnten für unmöglich gehaltenen Größe entfernten die Hüllgesteine des Flözes gleich einer Decke und fraßen sich bald darauf auch in das Flöz selbst ein. Sehr mächtige Kohlenschichten werden weiterhin

in mehrere Abbaustufen unterteilt, an deren dunklen Wänden die Ausleger der Bagger aufwärts oder auch abwärts greifen, sich langsam fortbewegend, und mit zahnbewehrten Raupeneimern die erdhafte Kohle schürfen, während oben die Entblößung des Flözes vom überlagernden Gestein (Ton, Sand, Schotter usw.) immer mehr fortschreitet (Abb. 58).



Abb. 57. Braunkohlen-Tagbau im Sudetenland (Brüx). Wegen der festen Beschaffenheit dieser Braunkohlen sind die maschinellen Abbaumethoden (vgl. Abb. 58) wenig anwendbar. Der Betrieb ähnelt mehr dem von Steinbrüchen. Aufn. K. A. Jurasky.

Ohne Unterlaß bewegen sich — von schwersten Elektrolokomotiven gezogen — die Kolonnen der Großraumwagen durch das einzigartige technische Bild, um den Abraum fortzuschaffen und in die leergekohlten Teile der Grube zu kippen — oder die Kohle selbst nach den Bunkern der Brikettfabriken, großer Elektrizitätszentralen oder chemischer Werke (Leuna-Werk!) zu bringen. Die auf absehbare Zeit letzte technische Vollendung hat dem Braunkohlenbergbau der Einsatz von *Abraum-Förderbrücken* gegeben. Eine beiderseits



Abb. 58. Neuzzeitlicher Braunkohlen-Tagbau (Weichbraunkohle). Grube Leonhardt, Geiseltal. Die in diesem Bild noch sichtbaren Kettenhunte sind inzwischen ziemlich allgemein durch Großraumbahnen mit schwersten Elektrolokomotiven ersetzt worden. Aufn. Michelwerke.

auf Schienen fortbewegte mächtige Gitterbrücke überspannt den in diesem Fall langgestreckten Tagbau. An der Aufschlußseite des Flözes schaufeln Bagger die das Flöz überlagernden Gesteinsmassen, den „Abraum“, auf ein System von Fließbändern, auf denen der Abraum über die Brücke nach der gegenüberliegenden, bereits ausgebeuteten Seite der Grube wandert und hier fortlaufend in sie eingefüllt wird. An die hundert Elektromotoren laufen oft im Innern dieser „Übermaschinen“, an denen Größenausmaß, Präzision der beiderseits unbedingtes Gleichmaß erfordernden Fortbewegung und die nach vielen tausend Tonnen zählende Tagesleistung Bewunderung abnötigen.

Die Jahre der *Tagbau*-Herrschaft in der deutschen Braunkohlenförderung sind freilich gezählt. Trotzdem die Baggermaschinen heute schon in wirtschaftlicher Weise Deckgebirgsüberlagerungen vom Fünffachen der Flözmächtigkeit abzuräumen vermögen, so ist dieser Entwicklung bei allem technischen Fortschritt doch eine Grenze gesetzt. Es ist verständlich, daß man zunächst vorwiegend die oberflächennächsten Braunkohlenlager in Abbau nahm. In wenigen Jahrzehnten wird sich das Bild des Braunkohlenbergbaus ändern müssen, denn die weitaus größten Braunkohlenvorräte sind zweifellos nur in unterirdischem Bergbau gewinnbar. Daß auch bisher schon erhebliche Braunkohlenmengen im Tiefbau gefördert werden, sei nachträglich erwähnt.

Die jedem geläufigste Verwendung der Kohle ist ihre *Verbrennung zur Erzielung von Wärme*, die uns den nördlichen Winter ertragen läßt und mit deren Hilfe unsere Nahrung zubereitet werden muß. Die Dichte, in der die Kulturvölker Europas einen klimatischer Ungunst ausgesetzten Erdteil besiedeln, ist ohne das Dasein der Kohle undenkbar.

Eine technisch höhere Art der Kohlennutzung bedeutet die *Verwandlung* der aus der Kohlenverbrennung erhaltenen Wärme in andere Energieformen: In *Dampfkraft* und vor allem in *Elektrizität*, die dann wiederum jeder Rück- und Weiterverwandlung fähig ist, in mechanische oder chemische Energie, in Wärme, Licht oder andere Strahlungen umgesetzt werden kann. Nachdem man vor wenigen Jahrzehnten gelernt hatte,

Strom über große Entfernungen zu leiten, sind vor allem auch an den Stätten des Braunkohlenbergbaus mächtige Überlandzentralen entstanden, so das imposante, dampfumwallte Goldenberg-Werk bei Köln, die Kraftwerke Golpa-Zschornowitz und Böhlen in Mitteldeutschland, das von Hirschfelde (Lausitz), Seestadt im Sudetenland (Energieversorgung Prags!) und noch viele andere, die z. T. ihre Energie unmittelbar der Industrie zur Verfügung stellen (Lautawerk, Aluminiumdarstellung). Das Großkraftwerk Berlin-Klingenberg benützt Steinkohle. Unter den Kesseln dieser Kraftwerke wird die Braunkohle so, wie sie aus der Grube kommt, auf Sonderrosten verbrannt; ein großer Vorteil liegt dabei in der Möglichkeit, nunmehr auch minderwertige, verunreinigte und für keinen anderen Verwendungszweck brauchbare Kohlen zu nutzen, wie man sie früher — am großzügigsten wohl im Sudetenland¹ — vom Abbau ausnahm oder einfach auf die Abraumhalden kippte, wo sie — sich selbst entzündend — mit ihren Rauchgasen zur Plage der Landschaft wurden. Von den Elt-Zentralen geht ein reich verschlungenes und auch mit den Wasserkraften verknüpftes Netz von Überlandleitungen aus, dessen Verästelungen bald auch das entlegenste Gebiet unseres Vaterlandes mit Kraft, Licht und vielleicht auch bald mit Wärme versorgen werden. Es wird den Außenstehenden überraschen, daß in Deutschland heute noch etwa 75% der elektrischen Energie von Kohle (und zwar um 40% der Braunkohle) stammen und nur etwa 17% sich von Wasserkraften ableiten. Die Heimkehr der österreichischen Alpenländer, die auf ihren Höhen in Schnee und Eis gespeichert, in Wildflüssen zum Leben erwachenden „weißen Kräfte“ werden es bald ermöglichen, die Kohle von jenen Aufgaben zu entlasten, denn wir brauchen diese in atemlos gesteigertem Tempo als Rohstoff der umschaffenden Chemie.

Von der *chemischen Verwertung* der Kohle können hier nur die allereinfachsten Grundlinien angedeutet werden; auf die Vielfalt ihrer Verfahren, auf die unendliche Zahl ihrer Produkte auch nur einigermaßen einzugehen ist un-

¹ Andererseits wurde gerade das sudetenländische Kraftwerk Seestadt führend hinsichtlich der Ausnutzung minderwertiger Kohlen.

möglich. Der ganze Raum dieses Büchleins würde nicht ausreichen, hier auch nur einige Vollzähligkeit in verständlicher Fassung zu bieten¹.

Die Ziele der chemischen Kohlenveredlung sind heute zwiefacher Art:

1. trachtet sie nach der *Umformung der Kohle in Energieträger* anderer, zum Antrieb bestimmter Kraftmaschinen geeigneter Art (Umwandlung der Kohle in Heizöle und Motortreibstoffe).

2. stellt sie ohne oder mit nur teilweiser Ausnützung der in der Kohle gespeicherten Spannkraft aus der organischen Substanz (oder dem daraus im Koks befreiten elementaren Kohlenstoff) *Stoffe mit besonderen, hundertfältig verschiedenen Gebrauchsarten angepaßten Eigenschaften* her (Farben, Arzneien, Seifen, Kunstharze, Kautschuk usw.).

Eine verhältnismäßig einfache Methode, Sonderprodukte aus der Kohle, insbesondere aus der Braunkohle als Ausgangsstoffe weiterer Verarbeitung zu gewinnen, ist die Herauslösung des in manchen Braunkohlen (Schwelkohlen, Pyropissite) besonders reichlich vorhandenen Primärbitumens durch Benzol (*Bitumen-Extraktion*). Man erhält dabei Montanwachs (oder Montanharz), das zu Lederfetten, Bohnerwachs, hartgummiartigen Stoffen (für Schallplatten), zu Imprägnations- und Isoliermassen weiterveredelt werden kann.

Ein Prozeß von viel allgemeinerer und für die meisten chemischen Veredlungsmethoden grundlegender Bedeutung ist die trockene Destillation der Kohlen, also ihre Erhitzung unter Luftabschluß, bei der unter tiefgreifender Zersetzung der Kohle feste, flüssige und gasförmige Produkte entstehen (Koks, Teer, Gas). Eine besondere Form der trockenen Destillation ist die *Verschwelung* bitumenreicher Braunkohlen (und Steinkohlen). Braunkohlen oder Briketts werden

¹ Einen guten Überblick bietet Prof. ROB. WIZINGER in „Kohle, Luft und Wasser. Ein Rundgang durch die neuerschlossenen Gebiete der Kohlenchemie“. Stuttgart 1939.

dabei auf 450 bis 500⁰ C. erhitzt; bei dieser „Tiefemperatur-Verkokung“ entstehen neben unbrauchbaren wässrigen Abfallstoffen („Schwelwasser“) Teer, brennbare Gase und der sogenannte Grudekoks oder Schwelkoks (Halbkoks). Die Schwelgase werden gleich in den Feuerungsanlagen des Betriebes benützt; der Grudekoks dient als Heizstoff für besondere „Glimmfeuerungen“ („Grudeöfen“) oder in gemahlenem Zustand für industrielle Kohlenstaubfeuerungen. (Eine weitere Nutzungsart erwähnen wir später.) Das Hauptprodukt ist aber der Braunkohlenteer¹, aus dem vor allem Paraffin, Spezialöle, Gasöle für den Antrieb von Dieselmotoren und auch etwas Benzin durch fortgesetzte Destillation gewonnen werden (die eigentliche „Kohlenverflüssigung“ geht andere Wege, vgl. S. 158!).

Was man gemeinhin als „Verkokung“ der Kohlen bezeichnet, ist eine trockene Destillation insbesondere der Steinkohle, die bei weit höheren Temperaturen erfolgt als die Verschwelung. Sie ist bei weitem die wichtigste Erstveredlungsform der Steinkohle. Diese wird dabei unter Luftabschluß auf etwa 1000⁰ erhitzt; auch hier entsteht zunächst Schwelteer (= Urteer), dessen Hauptmenge aber weiterhin unter tiefgreifender Zersetzung in Gase übergeht. Der verbleibende Anteil von Steinkohlenteer ist gegenüber dem Schwelteer von wesentlich anderer, „aromatischer“ Beschaffenheit. Um Mißverständnissen vorzubeugen, müssen wir erwähnen, daß auch der Teer der Kohlen als „Bitumen“ bezeichnet wird; er besteht jedoch nicht allein aus Abkömmlingen der „primären Bitumenkörper“, sondern auch aus Zersetzungs- und Neubildungsprodukten der *Humusstoffe*.

Bei der Verkokung entstehen eine ganze Reihe hochbedeutsamer Produkte. Ursprünglich war man nur an der Gewinnung von *Koks* interessiert. Wir kennen ihn zwar auch als Heizstoff, seine wichtigste Anwendung findet er aber in den Hochöfen der Hüttenwerke als Reduktionsmittel²; da-

¹ Der bei der Tiefemperatur-Verkokung der Kohlen erhaltene Teer wird „Urteer“ genannt.

² Reduktion eines Erzes = Befreiung von seinem Sauerstoffgehalt.

bei werden an seine Qualität engumschriebene Anforderungen gestellt. Es gelten nur jene Kohlen im engeren Sinne als verkokbar, die ein gut geschmolzenes, geblähtes und poröses Produkt liefern. Nur Steinkohlen mittleren Inkohlungsgrades (die nicht zu gasreichen und auch nicht zu „mageren“ Fettkohlen, vgl. S. 104) entsprechen diesen Anforderungen.

So unverändert wichtig die Gewinnung von Koks auch heute noch ist — die Bedeutung einzelner anderer bei der Trocken Destillation entstehender Stoffgruppen steht dem nicht nach. Neben dem Koks fallen brennbare *Gase* (Leuchtgas, Methan), *Benzol*-Kohlenwasserstoffe und vor allem eben *Teer* an. Benzol ist bekanntlich ein wichtiger Bestandteil höchstwertiger „klopfester“ Kraftstoffgemische (Esso, Aral, Dynamin usw.). Gas für Heiz-, Leucht- und Betriebszwecke wird heute nicht mehr allein von lokalen Gaswerken geliefert, sondern von den großen Kokereien der Bergbaustätten in Ferngasleitungen den Verbrauchern bis auf hunderte Kilometer Entfernung zugeführt.

Von erstaunlicher Vielfalt und heute schon gänzlich unübersehbar sind die Stoffe, welche die Chemische Industrie vom *Teer* abzuleiten oder aus seinen Bestandteilen aufzubauen vermag. Ihre Mannigfaltigkeit, ihre vom Urstoff und auch voneinander abweichenden Eigenschaften führen uns das Wunder der Kohle und ihrer Chemie eindrucksvoll vor Augen. Aus dem *Teer* entstehen — um nur einiges zu nennen — die Anilinfarbstoffe mit ihrer leuchtenden Pracht, Medikamente, Süßstoffe, Kohlenwasserstoffe der verschiedensten Art, wie Toluol, Xylol, Naphthalin, und eine Überfülle anderer Chemikalien, die ihrerseits wieder Ausgangs- und Hilfsstoffe einer in ihren Möglichkeiten nahezu unbegrenzten chemischen Verwandlungskunst werden. Ein Rückstand der Teerverwaltung ist das glänzende schwarze „*Pech*“, das erst seit etwa zwölf Jahren wirklich volle Ausnutzung findet: Zur Herstellung von Dachpappe, als Bindemittel für die Erzeugung von Steinkohlenbriketts, als Straßen„asphalt“ und zur Gewinnung von Elektrodenkohlen.

Die Weltgeltung eines großen Volkes kann Gefahrenzeiten nicht überdauern, wenn es vom *Erdöl*, dem Treibstoff der

heute herrschenden Explosionsmotoren, abgeschnitten wird. Glaubten doch die Alliierten des Weltkrieges, auf einer Flut von Erdöl zum „Sieg“ getragen worden zu sein und sich nunmehr wiederum zum Sieg tragen lassen zu können. Deutschlands Chemiker haben indessen Wege gefunden, die Armut ihres Vaterlandes an natürlichem Erdöl durch den Kohlenreichtum des deutschen Bodens auszugleichen: Sie erfanden die „Kohlenverflüssigung“. Bei diesem besser *Kohlenhydrierung* genannten Prozeß werden die festen Kohlenwasserstoffverbindungen der Kohle durch Anlagerung von Wasserstoffmolekülen in *flüssige Kohlenwasserstoffe* überführt, ein Vorgang, der heute schon in großen Werken, z. B. im Leunawerk, durchgeführt wird.

Jenes Ziel wird nach dem Verfahren von BERGIUS unter Anwendung hohen Drucks und erhöhter Temperaturen (450⁰ und 200 atü) erreicht. Als Nebenprodukte werden Nutzgase, wie Propan und Butan, erhalten, die, schon bei geringem Druck flüssig, gleichfalls als Treibstoffe Verwendung finden können. Die Benzinsynthese nach dem Bergius-Verfahren geht meist nicht direkt von der Braunkohle, sondern von ihrem Schwelteer aus. Zur Gewinnung einer Tonne Benzin sind — abgesehen von den zur Energieerzeugung dienenden Brennstoffmengen — 1,7 t Steinkohle oder 2,7 t Braunkohle oder 1,2 t Braunkohlenschwelteer erforderlich.

Ein anderes Verfahren, das nach FISCHER-TROPSCH, arbeitet drucklos, unter Anwendung erhöhter Temperaturen und im Beisein sogenannter katalytischer Körper¹. Während das Bergius-Verfahren, wenn es wirtschaftlich arbeiten soll, vorläufig noch auf Schwelteer, also auf nicht zu bitumenarme Kohlen angewiesen bleibt, ist die zweitgenannte Methode von der chemischen Beschaffenheit der Kohle ziemlich unabhängig und vermag auch vom Koks, z. B. vom Grudekoks, auszugehen. Aus dem Rohstoff wird zunächst Wassergas erzeugt; dieses dann in die Kontaktöfen geleitet, in dem bei 180—200⁰ die Benzinsynthese eintritt.

¹ Katalysatoren sind Stoffe, die durch ihre Anwesenheit, ihren Kontakt chemische Reaktionen ermöglichen oder befördern, ohne sich selbst dabei zu verändern.

Es sei erwähnt, daß bisher die *Braunkohle* Hauptlieferant künstlichen Benzins ist; in steigendem Maß wird aber auch Steinkohle dazu herangezogen. Ein erwünschtes Nebenprodukt der Hydrierverfahren ist reiner *Schwefel*, der zum Ausgangsmaterial technisch wichtiger Produkte wird.

Die vielfache Nutzungsmöglichkeit der Kohlen ist mit diesen wenigen Andeutungen bei weitem noch nicht erschöpft. Es ist dabei nicht immer so, daß ein für einen bestimmten Zweck geeigneter Stoff, wie z. B. das Benzin, gesucht und schließlich dargestellt wird; oft genug ist es gerade umgekehrt. Bei den verwickelten chemischen Großprozessen fallen unter Umständen Nebenstoffe neuartigen Charakters an, bei denen erst nach einer Verwendungsmöglichkeit Ausschau gehalten wird, die sich denn oft ganz plötzlich und überraschend ergibt.

Zum Schluß wollen wir noch erwähnen, daß die Chemie bei ihren immer weiter schreitenden Synthesen heute nicht mehr allein von den in der Kohle vorliegenden *organischen Verbindungen* ausgeht, sondern auch von dem als Koks gewonnenen *elementaren* (nur durch Asche verunreinigten) *Kohlenstoff*. Diesen *Aufbau organischer Stoffe*, also von Kohlenstoffverbindungen, *aus freiem, nicht in organischer Bindung vorliegendem Kohlenstoff* bezeichnet man als *Totalsynthese*. Eine dieser Totalsynthesen haben wir bereits im Fischer-Tropsch-Verfahren der Benzingewinnung kennengelernt. Auf diesem Wege werden auch die bekannten *Kunststoffe* („Kunstharze“), wie z. B. Bakelit und „Organisches Glas“, erzielt. Dieser Art ist vor allem die Erzeugung des *künstlichen Kautschuks* „Buna“¹, der aus Koks und Kalk über Azetylen unter Zuhilfenahme von Natrium hergestellt wird.

Die Fähigkeit, in selbstherrlicher Weise aus einfachen anorganischen Rohmaterialien verwickelte organische Stoffgebäude jeder „gewünschten“ Eigenart zu bilden — dies war bisher nur der grünen Pflanze von der Natur gegeben.

Der Mensch ist daran, es ihr bewußt gleichzutun!

¹ Der Name ist gebildet aus *Butadien*, einem Übergangsprodukt, und *Natrium*.

Kehren wir — nun am Ende angelangt — zum wesentlichen Inhalt dieses Buches zurück! Seine Betrachtungen galten der Naturgeschichte eines Rohstoffs, nicht eigentlich dem umschaffenden Werk des Menschen. An der Bildung, Wandlung und Erhaltung der Kohle hatten vielerlei Bedingungen und Vorgänge der belebten und der unbelebten Welt Anteil. Ihre wirksame Verknüpfung kannte daher kein Überall und Jederzeit, sie war nicht Regel, sondern Ausnahme im erdgeschichtlichen Geschehen.

Die Kohle ist eine Sonderleistung der Natur. Ungleich verteilen sich daher ihre schwarzen Schätze über die Welt, und große Erdteile sind, wie Afrika, sehr arm daran. Wenige Gebiete wurden so reich damit bedacht wie unser Land.

Ist mir gelungen, was ich vorhatte, dann hat dieses kleine Buch noch etwas anderes klar gezeigt. Das wissenschaftliche Problem „Kohle“ hängt inmitten eines weitgespannten Spinnennetzes von Naturbeziehungen. Nach den verschiedensten, nach ganz entgegengesetzten Richtungen weisen seine im Dunklen verankerten Fäden, und immer neue weben sich nach außen ein. Verschlungen, weitausgreifend, ja unabsehbar werden die Wege der Forschung, hundert neue Fragen treten auf, und das Entfernteste gewinnt für sie Bedeutung selbst vor den schlichtesten Erscheinungen in der Natur. Der große Physiker PASCAL prägte das meisterhafte Wort:

„Die menschliche Wissenschaft gleicht einer Kugel, welche ununterbrochen wächst: in dem Maße, als ihr Umfang zunimmt, wächst auch die Zahl ihrer Berührungspunkte mit dem Unbekannten.“

Zeittafel der Erdgeschichte.

Erdzeitalter und Dauer	Periode	Formation	Bedeutende geologische Ereignisse S. auch Kohlenbildung	
Känozoikum (Erd-Neuzeit) 60—65 Mill. Jahre	Quartär 1 Mill. Jahre	Alluvium (Gegenwart)	Gegenwärtiges Landschaftsbild	
		Diluvium: Eiszeiten und Zwischeneiszeiten	Vergletscherung weiter Gebiete, u. a. Nord- und Mitteleuropas. Wärmere, eisfreie Zwischenzeiten.	
	Tertiär („Braunkohlen“-Zeit) 60 Mill. Jahre	Pliozän	Hauptauffaltung d. großen Kettengebirge, so der Alpen. Küstenverschiebungen der Meere. Reger Vulkanismus	
		Miozän		
		Oligozän		
Eozän				
Palaeozän				
Mesozoikum (Erd-Mittelalter) 160—180 Mill. Jahre	Kreidezeit 20 Mill. Jahre	Oberkreide	Um die Mitte d. Kreide Überflutung weiter Gebiete durch das Meer	
		Unterkreide		
	Jura 70 Mill. Jahre	Malm	Vorstoß und Rückzug des Meeres. Erkennbare Ausbildung der Klimazonen	
		Dogger		
		Lias		
	Trias 80 Mill. Jahre	Keuper	Bildung vieler Gesteine der Alpen. Wüstenbildungen (Sandsteine) in Deutschland	
Muschelkalk				
Buntsandstein				
Paläozoikum (Erd-Altertum) 400—500 Mill. Jahre	Perm 75 Mill. Jahre	Zechstein	Auffaltung des varistischen Gebirges. Starker Vulkanismus. Eiszeit in Südafrika und in Indien	
		Rotliegendes		
	Karbon („Steinkohlen“-Zeit) 75 Mill. Jahre	Oberkarbon		
		Unterkarbon		
	Devon 80 Mill. Jahre	Ober- Mittel- Unter- } Devon		Eiszeit Spuren Gebirgsfaltungen
	Silur 70 Mill. Jahre	Ober-Silur Unter-Silur		
Kambrium 100 Mill. Jahre	Ober-, Mittel- u. Unter-Kambrium			
Urzeit Dauer?	Eozoikum (Präkambrium, Algonkium) 300 Mill. Jahre			
	Archaikum Dauer?			

Tierwelt	Pflanzenwelt	Kohlenbildung
<p>Im Diluvium Erstauftreten des <i>Menschen</i></p> <p>—</p> <p>Herrschaft der <i>Säugetiere</i> und <i>Vögel</i>. Reiche Entfaltung der <i>Insekten</i>. Im Wasser besonderes Hervortreten der <i>Knochenfische</i></p>	<p>Herrschaft der bedecktsamigen, belaubten Blütenpflanzen (<i>Angiospermen</i>). Ihnen gegenüber treten die <i>Gymnospermen</i> (darunter die Nadelbäume o. <i>Koniferen</i> und erst recht die langlebigen Sporenpflanzen [<i>Pteridophyten</i>]) in den Hintergrund</p>	<p>Reiche Torfbildung in nördlich-gemäßigten Gebieten (NW-Deutschland, Skandinavien!)</p> <hr/> <p>Auf der ganzen Erde rege Kohlenbildung. Entstehung der großen Braunkohlenvorkommen in Deutschland, USA u. a. O.</p>
<p>Aussterben der <i>Saurier</i> und Ammoniten</p> <p>Zeit der großen <i>Saurier</i> zu Lande und im Wasser</p> <p>Großartige Formenentfaltung der <i>Ammoniten</i></p>	<p>Auftreten der <i>Angiospermen</i></p> <hr/> <p>Herrschaft d. nacktsamigen Blütenpflanzen (<i>Gymnospermen</i>), insbes. der Zapfenpalmen (<i>Cycadeen</i>), <i>Gingko</i>-gewächse und Nadelbäume (<i>Koniferen</i>)</p> <p>Verschwinden der Sporenpflanzen d. Steinkohlenzeit</p>	<p>Große Steinkohlenlager in Nord- u. Südamerika</p> <hr/> <p>Kohlen in Ungarn und Rumänien. Große Steinkohlenlager in Ostasien (China!)</p> <hr/> <p>Reichere Kohlenbildung nur im Keuper. (Virginien!)</p>
<p>Armfüßler (<i>Brachiopoden</i>), Kopffüßler (<i>Cephalopoden</i>), insbesond. <i>Goniatiten</i>. Am Land <i>Lurche</i>, <i>Insekten</i></p>	<p>Herrschaft hochwüchsiger Sporenpfl. (<i>Pteridophyten</i>): Baumförm. Farne, Schachtelhalme u. Bärlappe [,Steinkohlenwald“]. Auch <i>Gymnospermen</i> schon vorhanden</p>	<p>Steinkohlenlager in Mittel- u. Ostasien und auf den Südkontinenten</p> <hr/> <p>Bevorzugte Zeit d. Steinkohlenbildung in Europa und Nordamerika</p>
<p><i>Graptolithen</i>, <i>Trilobiten</i> (Dreitappkrebse), <i>Orthoceren</i>, urtümliche <i>Fische</i>. Nur wenige Reste von Landlebewesen</p>	<p>Auftreten der ersten langlebigen Sporenpflanzen primitiver Form (<i>Psilophyten</i>)</p> <hr/> <p>Algenzeit: Entfaltung wasserbewohnender Pflanzen (<i>Algen</i> und <i>Pilze</i>)</p>	<p>Älteste nutzbare Steinkohlen auf der Bäreninsel</p> <hr/> <p>Kohlen nur in Spuren. Graphite (ob organischer Entstehung?)</p>
<p>Alle Stämme der <i>wirbellosen Tiere</i> bereits vertreten</p>		
<p>Reste und Spuren von Lebewesen fragwürdig</p>		

Sachverzeichnis.

* = Abbildung.

- Abdrücke 50*, 54*, 55*.
Abraum 153.
— -Förderbrücke 151.
Absatzgesteine 3, 4.
Aërobe Bakterien 33.
Ästuarien 13.
Algen 14, 24, 25, 36, 46, 65, 69, 112, 113.
Allochthonie 16.
Alpenfaltung 97.
Alter der Kohlen 8, 17, 90ff., 95, 137.
Altersbeziehungen der Gesteine 8.
Altersunterschiede der Kohlen 90ff.,
103.
Alterung der Kolloide 93, 96.
Ammoniak 21, 82, 129.
Anaërobe Bedingungen 86.
Anaërob-bakterielle Zersetzung 26,
27, 82, 88.
Angiospermen 55, 141, 162.
Anilinfarben 157.
Annularia 50*.
Anthrazit 77, 78, 79, 87, 90, 93, 97,
98, 102, 104, 108, 109, 110, 111,
137, 139.
Appendices 51.
Asche, vulkanische 45.
Aschengehalt 41, 46, 79, 96, 143.
„Asphalt“ 157.
Assimilation 70.
Atemkanäle 54.
Atmung 21, 25, 26, 70, 82.
Auflicht-Mikroskopie 118ff.
Ausdehnung der Kohlenflöze 9.
Ausgüsse s. Steinkerne.
Auswahl-Zersetzung 82, 114, 140.
Autochthonie 16.
Azetylen 159.
- B**är-lappe 53, 65, 131, 162.
Bagger 150f.
Bakelit 159.
Bakterien 20, 24, 33, 61, 69, 82, 87,
93, 136.
- Ballaststoffe 96, 110.
Basalt 3, 98.
Baumfarne 49, 51, 53, 162.
Baumstümpfe (Stubben) 11, 16, 43,
45*.
Bedecktsamige Pflanzen 55, 162.
Benetzbarkeit 96.
Benzin 156, 158, 159.
Benzol 155, 157.
Bergius-Verfahren 158.
Bergschäden 146.
Bernstein 68.
Berührungs-Metamorphose s. Kon-
taktmetam.
Bildungsalter der Gesteine 7.
Bildungsraum der Gesteine 7, 11.
Biologisch-chemische Einflüsse 61,
84, 88, 93.
Biologischer Abbau 82, 88.
Bitumen 63, 134, 156.
— -Extraktion 155.
Bitumenkörper 83, 84, 86, 93, 99,
108, 114, 128, 129, 137, 138.
Bitumenreiche Kohlen 112f., 134,
137f., 139, 155.
Bituminierung 25, 83, 87, 137.
Bituminöse Stoffe 61, 83, 92, 112.
Blattgrün 64, 70.
Blatthaut s. Kutikula.
Blattpolster 53.
Bleichung durch Humusstoffe 85.
Blütenpflanzen 52, 55.
Blütenstaub s. Pollenkörner.
Bodenaufhöhung 33, 40ff.
Bodenfremdheit 16.
Bodenschlamm 26.
Bodenständigkeit 16.
Bogenstruktur (Fusit) 128.
Bogheadkörper 133.
Bogheadkohlen 15, 112, 134*, 135,
138, 139.
Brandschiefer 10, 41, 121, 135.
Braunalgen 14.

Braunkohle 1, 2, 10, 15, 17, 38, 43, 51, **55ff.**, **72ff.**, 79, 85, **89ff.**, 93, **98ff.**, 114, **115**, 117, 129, **137**, **149ff.**, 159.
Braunkohlenformation 8, 161.
Braunkohlenholz 88, 115, **122**, 123*, 126.
Braunkohlenteer 156.
Braunkohlenvorkommen 149.
Braunkohlenwald 51, **56**, 57*.
Breccien 5, 91f., 92*, 105.
Brikettierung 73, **149f.**
Briketts 2, 73, **150**.
Bruchtektonik 4, 5, 39.
Bruchwald (Waldmoor) 13*, 31*, **32f.**, 37*, 41, 42.
Bulten 29, 35, 136.
„Buna“ 159.
Butan 158.

Calamites s. Kalamiten.
Chitin 69, 87, 125, 129, 130, 136.
Chlorophyll s. Blattgrün.
Clarit 140.
Coal balls 76*.
Cycadeen 55, 162.
Cycadofilices 54.
Cypress swamps 33, 36, 56.

Dauerwald 34.
Deckgebirge 153.
Dehydratisierung 87.
Deltabildungen 13.
Destillation 63.
—, trockene 134, 155, 156.
Destillationsprodukte 112, 155ff.
Devonzeit 8, 66, 161.
Diagenese 6, 93.
Diluvium 58, 88, 161.
Doplerit 85.
Druckbeanspruchung d. Kohlen 92, 93, 94, **97**, 105, 106, 115, 126.
Druckwirkung 97, 106, 115, 147.
Dünnschliffe 76, **117f.**, 128.
Durchlüftung des Wassers 24.
— des Bodens 31, 54.
Durit 120, **128ff.**, 129*, **143**.
Duxit 101, 102*.
Dynamometamorphose 97.

Edelbraunkohlen 93, 116.
Eigenwärme der Erde 94.

Eiszeit 23, **58**, 67, 88, 94, 113*, 115, 130, 161.
Eiweißstoffe 24, 25, 27, 51, 59, 69, 70, 82, 85, 86, 87, 112, 133, 136.
Elektrizität aus Kohle 71, 151, 153, **154**.
Energiegehalt der Kohle 70, 110.
Entwässerung der Kohle 73, 78.
Eozän 69, 90, 114, 149, 161.
Epidermis 64*, 65.
Epigenetisch 113, 139.
Erblinden der Seen 28.
Erdkrustenbewegungen 38, 75, 100, 105.
Erdöl 11, 26, 59, 61, 63, 70, 71, 112, 157f.
Erdölgesteine 15, 26, 135, 138.
Erdöl-Muttergesteine 26, 113.
Ergußgesteine 3.
Erhaltungszustand 61.
— (Holz) 122, 123*.
Erlenbruch 32, 36.
Ernährung der Pflanzen 18, 30.
Erosion 38.
Erstarrungsgesteine 3.
EBkohle 104.
Everglades 29*, 36, 56.
Exine 64, **66**, 129.

Fäulnis 25.
Faltung der Gesteine 5, 39, 105, 107*.
Faltungsdruck 97, 105, 115.
Faltungsintensität 106.
Farbe der Kohle 86.
Farnartige Pflanzen 53, 65, 131.
Farnblätter 12, 13, 54*.
Farnkräuter 53, 65.
Faulschlamm vgl. Sapropel.
Feinbau (Zellwand) 61, **62**.
Fettkohle 104, 106, 109, 110, 111, 143, 157.
Fettstoffe 25, 26, 27, 46, 61, 63ff., 83, 84, 85, 112, 124, 129, 133.
Feuchtigkeit s. Wassergehalt.
Fimmit 113, 138, 139.
Fischer-Tropsch-Verfahren 158, 159.
Flachmoore s. Niedermoore.
Flammkohle 104, 110, 111.
Flöze 9, 13.
Flözfolge 104.
Flözidentifizierung 132.
Flora 35.

Flüchtige Bestandteile 103, 104, 108,
 109, 111, 134, 142.
 Fluoreszenzlicht 141.
 Formationen 8.
 Formerhaltung 25.
 Formzerfall 137.
 Fossilien 7, 61.
 Frühholz 63, 122, 123*
 Funktionsform **60**.
 Fusit (Fossile Holzkohle) 12, **88, 120**,
125 ff., 127, 142, 143.
Gänge 98.
 Gallerten, Humus- 76, 85, 96, 122,
 133.
 Gasausbeute 99, 103, 109, 111, 134,
 142, 144, 155, 156, 157.
 Gasflammkohle 104, 106, 111.
 Gaskohle 104, 109, 110.
 Gebirgsfaltung 18, 38, 39, 75, 94, 95,
96, 105, 147.
 Gefüge-Bestandteile 134.
 Geiseltal 17, 90, 149, 152*.
 — -Funde 51.
 Geothermische Tiefenstufe **94**, 101.
 Gesteine: Definition und Einteilung
 3 ff.
 Gewicht, spezifisches 97, 110, 134.
 Gingkobaum 54, 162.
 Glanz der Kohle 78, 86, **143**.
 Glanzbraunkohle 74, 98, 100, 149.
 Glanzkohle **120** ff.
 Glanzkohlenholz 86.
 Goniatiten 75*, 76, 162.
 Graphit **78**, 79, 90, 93, 97, **102**, 110,
 139.
 Grubengas s. Methan.
 Grubenkatastrophen 148.
 Grudekoks 156, 158.
 Grundmasse (Braunkohle) 116, 122,
 141.
 Grundwasserspiegel 23, 30, 33, 34,
 36, 38, 40 ff., 42*, 45, 56.
 Gußschliff 144.
 Gymnospermen 54, 162.
 Gytija **25**, 26, 36, 38, 41, 69, 82, 112,
 135, 136, 138.
 Gytjakohlen 69, 112 f., 113, **136**, 139.
Härte der Kohle 118.
 Halbanthrazit 77, 104.
 Halbfaulschlamm s. Gytija.

Haltbarkeit der Stoffe 59.
 Hangendes 9, 41, 44, 45.
 Harnisch 44.
 Harze 47, 55, 63, 64, 67 f., 69, 70,
 83, 84, 89, 93, 101, 102*, 108,
 112, 114, 119, 123, 124, 129,
 138*, 139, 140* f.
 Harzkohlen 138—141.
 Harzzellen 67, 138*.
 Heizwert **110**, 142, 149.
 Hemizellulose **61**, 82.
 Hiltche Regel **103**, 106.
 Hochmoore 22, 23, **33**, 36.
 Hohlformen des Bodens 23, 38.
 Holz 79, 81, 85, 87, 122, 125.
 — in Braunkohle 72, 89, 115, 122, 123*.
 Holzbau 60.
 Holzmaserung 74, 97.
 Holzkohle 1, 12, **87**, 119.
 —, fossile s. Fusit!
 Humifizierung 87, 89.
 Humolithe 113, 139.
 Humus 19.
 Humusgele 76.
 Humusgesteine 113, 139.
 Humuskohlen 84, 112, 139, 141.
 Humuskolloide 75, 93, 96, 122, 150.
 Humussäuren 33, 124.
 Humusstoffe 28, 30, 36, 84, 88, 108,
 111, 112, 113, 121, 122, 129, 156.
 Humuswässer 85.
 Hydrierung 158.
 Hydrophil 96.
 Hydrophob 96.
Jahrring 63, 74, 116, 122, 123*.
 Immersion 119.
 Inkohlung **80**, 87, **91**, 93, 106, **143**.
 Inkohlungsreihe 80.
 Inkohlungsprung **109**, 137, 140.
 Inkohlungsstufen und -grad 79, 80,
90, 103, **104**, 142.
 Inlandeis 58.
 Instantane Senkung 41.
 Integrationstisch 144.
 Intrusionen 94, 101.
 Irreversible Wandlung 93.
 Juvenil 21.
Kannelkohle 112, 129*, **135**, 138, 139.
 Kalamiten 44, 49*, 50*, **53**.
 Kalilauge 74, 86, 89, 129.

Kalk 50, 85, 159.
Kalkgehalt 33, 85.
Kalkhumat 85.
Kalkschlamm 24.
Kalkverbindungen, organische 52.
Kalkzufuhr 51, 93, 114.
Kaolin 85.
Karbonzeit 35, 65, 75, 90, 105, 145, 161.
—: Pflanzenwelt 52ff., 65, 75, 130, **132**, 162.
Katalysatoren 158.
Kautschuk „Buna“ 159.
Kautschukbäume 69.
Keilblatt 55.
Kernholz 60, 68.
Kerogengesteine 112, 113, 135.
Klima-Feuchtigkeit 23, 33, 34, 45.
— -Wärme 36, 56, 114.
Klimazonen 36.
Klüftung 121.
Knetstruktur 97.
Knollensteine 76.
Kohle: Definition 3.
Kohlendioxid 70.
Kohlensäure 21, 70, 71, 80, 82, 101, 148.
Kohlensäureassimilation 70.
Kohlensäureausbrüche 80.
Kohlensäuredüngung 18.
Kohlensäuregehalt der Luft 18, 71.
Kohlenstaub 148.
Kohlenstoff 70, 78, 80, 87, 126, 159.
Kohlenstoffbedarf der Pflanzen 18, 71.
Kohlenstoffgehalt der Kohlen 84, 101, 108.
Kohlenstoffkreislauf 21.
Kohlenwasserstoffe 26, **63**, 83, 157, **158**.
Kohlige Substanz 84, 129, 135.
Kokbarkeit 142, **157**.
Koks 99, 111, 125, 142, 143, 144, 155, 156, 159.
Kolloide 59, 76, 84, 85.
Kolloidale Lösungen 85.
Konglomerate 5, 91, 105.
Koniferen s. Nadelbäume.
Kontaktmetamorphose 94, **99***.
Kordaiten 49, **54**, 141.
Kork 63, 64, 67.
Kristalline Struktur 61, 62.

Kryptogamen 65.
Kuckersit 113, 138.
Kunststoffe 159.
Kutikula 64*, 65*, 69, 108, 112, 129, 130, 132, 133*.
Kutikularanalyse 65, 130.
Kutin 63, 64, 66, 129.
Lagergang 98.
Lagerungsstörungen 106, 147.
Landpflanzen 8, 14f., 21, 59.
Laubbäume 56, 68.
Laubblattbau 64*.
Laubholzbau 63.
Lava 3, 98.
Lebensstoff 59.
Leichenwachs 52.
Lepidodendron 44, 49*, 52*, **53**, 77.
Leuchtgas 157.
Liegendes 9.
Lignin 28, 61, **62**, 83, 86, 88, 89, 122.
Ligninquellung 62.
Lignit 115.
Limnisch 145.
Liptobiolith 114, 139.
Löslichkeit (Kalilauge) 86.
Luftabschluß 21, 92.
Luftwurzeln 32.
Luftzutritt 81.
„**Mächtigkeit**“ 4, 9, 17, **38**, 39, 103, 150.
Magerkohle 104, 106, 107, 110, 111, 137.
Magerung der Kohle 109.
Makrosporen s. Megasporen.
Mammutbaum s. Sequoia.
Mangrovegewächse 32.
Marahunit 113, 138, 139.
Marine Horizonte 14, 75ff., 132, 145.
Massenschwund 91.
Mattkohle 120, **128**ff.
Mazerationsmethode 129.
Meeresablagerungen 14, 59, 134.
Meerestiere, fossile 75*.
Megasporen 66, 77, 130*, **131**.
Meißner 98.
Metakännelkohle 139.
Metamorphose 6, 78, 93, 98, 125, 139.
Methan 80, 83, 109, 137, 148, 157.
Micelle (Zellulose) 61.
Mikroorganismen s. Bakterien.

Mikrophotometer 143.
Mikroskopie 76, **116ff.**
Mikrosporen 66*, 77, **131.**
Mineralgehalt der Kohle s. Asche.
Mineralische Ablagerungen 41.
Mineralisierung 21, 51.
Miozän 69, 89, 114, 161.
„Mittel“ der Flöze 45.
Mitteldeutsche Braunkohlen 37, 56,
69, 90, 96, 114, 115, 138, 141, 149,
150.
Montanwachs u. -harz 155.
Moorbrände 87, 126.
Moore 22ff.
Moorkunde 22, 67.
Moorleichen 85.
Moorprofil 46, 47*
Moorwachstum 40.
Moose 65, 72.
Moskauer Braunkohle 91, 95.

Nacheiszeit 45, 58, 67, 130.
Nacktsamer 54, 55, 162.
Nadelbäume 47, 55, 56, 57, 68, 69,
114, 162.
Nadelholzbau 63*.
Nährsalze 21, 33, 35.
Naphthalin 157.
Naturkoks 99*.
Neuropteris 55*.
Niedermoore 22, 28, **29, 34,** 36, 38.
Niederschlagswasser s. Klima.

Oberkarbon 8, 17.
Ölalgen (Boghead) 134*, 136, 138.
Ölimmersion 119, 124.
Öl, „schiefer“ 112.
Opake Stoffe 118, 126.
Opakilluminator 118.
Opaksubstanz 128, 136, 140.
Organische Stoffe 21, 61, 159.
„Ort“ 146, 147*.
Oxydationsvorgänge 21.

Palaoklimatologie 67.
Palmen 56.
Paraffin 156.
Paralisch 145.
„Pech“ 157.
Pechglanzkohle, oberbayrische 96,
100, 149.
Pecopteris 54.

Pektinstoffe 61, **62,** 82.
Permzeit 55, 91, 105, 145, 161.
Phaeophyceen 14.
Phosphor 59, 70, 78.
Physiognomie der Vegetation 35.
Pilze 20, 65, 69, 82, **124,** 125*, 129,
136.
Pittsburg-Flöz 9.
Plankton (Algen) 24, 112, 133.
Plastische Beschaffenheit 85, 97, 147.
Pneumatophoren 32*.
Polieren 118.
Pollenanalyse **67.**
Pollendiagramm 67.
Pollengesteine 138.
Pollenkörner 25, 47, 64, 65, 66f., 82,
108, 112, 113, 129, 130, 131, 138.
Polymerisation 68, 93.
Primärbitumen 63, 155, 156.
Propan 158.
Protoplasma 59, 61, 66.
Psaronius 51.
Pteridophyllen 54*, 55*.
Pteridophyten 53, 65, 162.
Pteridospermen 54.
Pyropissit 114, 139, 140, 155.

Quellbarkeit 86, 93.

Reduktionsmittel (Koks) 156.
Red wood 56, 58.
Reflexionsvermögen 86, 118, 127,
143.
Reife der Braunkohle 90, **98.**
— der Steinkohle 106.
Reinkohle 79, 110.
Reliefschliffe **118ff.,** 140*.
Resistenz 59.
Rhein.-westfäl. Revier **103ff.,** 145.
Riedmoore 29*, **30,** 35, 36, 41, 56.
Riesenschachtelhalm s. Kalamiten.
Rinde 60.
Röhricht 26, 29, 41.
Rohhumus 33.
Rohkohle 79, 110.
Ruhrrevier 145.
Rußkohle 119.
Rußkohlenflöz (Zwickau) 127.

Säulenkohle 99.
Salzauslaugung 38.
Salzwasser 75.

Samenfarne 54.
Sandsteine 9, 75.
Sapanthron 139.
Saprolithe 113, 139.
Sapromyxit 15, 134.
Sapropel 26, 36, 38, 82, 113.
Sargasso-Theorie 14.
„Sargdeckel“ 45.
Sauerstoffabschluß 82.
Sauerstoffarmut 24.
Sauerstoffgehalt 24, 70, 80, 82—84,
108, 110, 111.
Schacht 146.
Schachtelhalme 30, 44, 53, 65, 131,
162.
Schichtung 4, 7, 10, 47*, 48.
— der Kohle 10.
Schlagende Wetter 80, 109, 137, 148.
Schlammgesteine, organische 113,
139.
Schlenken 29, 35, 136.
Schlitzprofil 144.
Schlußverein 30, 33.
Schulzesches Gemisch 129.
Schuppenbaum s. Lepidodendron.
Schwarzkohle 100.
Schwarzwasser 85.
Schwefel 21, 59, 63, 70, 78, 159.
Schwefeleisen 26.
Schwefelregen 47.
Schwefelwasserstoff 25, 26, 82.
Schwelerei 114, 155.
Schwelkohlen 69, 113*, **114**, 115,
138—140*, 141, 149, 155.
Schwelteer 156, 158.
Schwelwasser 156.
Schwundrisse 121.
Selektive Zersetzung s. Auswählers.
Senkungsgebiete 75.
Senkungsgeschwindigkeit 40.
Senkungsvorgänge **40 ff.**, 75.
Sequoia 43, 56, 57*, 58*.
Sigillaria (Siegelbaum) 44, 45*, 49*,
51*, **53***.
Sill 98.
Sintflut 13.
Sklerotien 124, 125*, 130.
Sohle 146.
Sonnenenergie 70, 71.
Spätholz 63, **122**, 123*
Spaltmikrophotometer 143.
Sphenophyllum 55.

Splintholz 60.
Sporen 25, 64, **65**, 82, 108, 112, 129,
130*, **131*** ff., 132*, 135.
Sporenformen **132***.
Sporenpflanzen 53, 162.
Sporopollenin 63, 66, 129.
Stärke 61, 70, 82.
Stärkesynthese 70.
„Standort“ der Pflanze 22.
Stangenkohle 99*.
Starsteine 51.
Steinkerne **44**, 45*, 50*.
Steinkohle 1, 9 ff., 15, 17, 41, 52, **74**,
90, 93, 96, 97, 99, **102**, 108, **116**,
117, 128, **142**, **145 ff.**
Steinkohlenformation 8, 128, 161.
Steinkohlengerölle 91.
Steinkohlenmoore 53 ff., 105, 136, 137.
Steinkohlenvorkommen 145.
Steinkohlenwald 49*, 162.
Stickstoff 59, 70, 78.
Stigmaria 51*, 76, 135.
Stollen 146.
Strebbau 147*.
Strecken 146.
Streifenarten **120***, 134, 142.
Streifenkohlen 137.
Streifiger Aufbau 119.
Strichfarbe 74, 96, 100.
Strukturverlust 26, 78.
Stubben u. -horizonte 16, 42*, 43*,
44, 47*, 56, 115.
Suberin 63, **67**, 129.
Sudetenländ. Braunkohle 45, 56, 69,
73, 74, **100 ff.**, 114, 138, 149, 150,
151*.
Süßstoff 157.
Sukzession **27**, **40 ff.**, 46.
Sumpf 22, 26.
Sumpfgas s. Methan.
Sumpfwald 56.
Sumpfyzypresse s. Taxodium.
Syngenetisch 112, 139.
Tagbau 150, 151*, 152*.
Tange 13.
Taxodium 32*, 33, 36, 37*, 56.
Teer 99, 103, 109, 111, 134, 142, 155,
156, **157**.
Tektonische Vorgänge 38, 39.
Temperatureinflüsse 93, 94, 98 ff.,
105.

Tertiärflora 55ff.
Tertiärzeit 8, 17, 35, **55ff.**, 72, 90,
98.
Teufenunterschied 103.
Tiefbau 146, 147*.
Tiefengesteine 3.
Tiefenlage der Flöze 103.
Tiefemperaturverkokung 156.
Toluol 157.
Tonschiefer 6, 9, 11, 44, 50, 75.
Torf 16, 22, 28*, 29, 38, **71**, 72, 74,
75, 79, 81, 85, 88, 98, 112, 116,
129, 130.
Torfdolomite 51, **76***, 77*.
Torfmoos 33, 34.
Totalsynthese 159.
Treibstoffe 155, 156, **157ff.**
Trockengebiete 36.
Trockentorf 33, 87.
„Trocken“wald 42.
Tropenflora 69.
Tropenklima 17, 36, 37, 56, 69, 72.
Trümmergesteine 91.

Übergänge zwischen Kohlenarten 15.
Überlagerung 146, 151.
Überlagerungsdruck 94, 103, 105,
115.
Überlandzentralen 154.
Überschiebungen 5, 106, 107*, 147.
Urteer 156.
Urwälder 18, 19.

Varistisches Gebirge 18, **105**, 161.
Vegetation 35.
Verbrennung 153.
Veredlung 96.
Verfestigung der Gesteine 5.
— der Kohle 73, 78, 86, 110.
Verflüssigung der Kohle 160.
Vergleichsmikroskop 143.
Verholzte Substanz 62, 84, 87, 125.
Verholzung **62**.
Verkienung 68.
Verkohlung 80, **87**, 126.
Verkokung 111, 142, **156f.**
Verlandung der Gewässer 23, **26**, 27*,
34, 37*.
Vermoorung 105.

Vernässung 35, 40, 124.
Versatz 146.
Verschmelzung 155f.
Versteinerung 51, 75.
Vertorfung 81ff.
Verwerfungen 4, 5*, 147.
Verwesungsorganismen 24.
Vitrit **120ff.**, 121*, 129, 138*, **142ff.**
Vulkanische Wärme 6, 97ff., 115f.
Vulkanismus 18, 38, 45, 80, 94, 95,
97ff., 115.

Wachse 63, 64, 68f., 83, 84, 112, 114,
138—140.
Wachskohlen 138—141.
Wachspalme 69.
Wärmeeinheit 110, 142.
Wald 19.
Waldbrände 87, 126.
Waldmoor s. Bruchwald.
Waldstreu 33, 44, 46, 72, 73*, 86.
Waldtorf 46, 47.
Wasser 21, 80, 82.
Wasserabgabe 86, 96, 100, 110.
Wassergehalt der Braunkohle 73, 74,
79, 93, 96, 101, 110f., 149.
Wasserpflanzen 21, **26**.
Wasserstoffabgabe 109.
Wasserstoff(gehalt) 70, 83, 84, 103,
108, 112ff., 134.
Wellenzeichnung 122, 123*, 124*.
Wollgras 46.
Wurzelböden 16, 44.

Xylit 115.
Xylol 157.

Zapfenpalmen 55, 162.
Zeit als Inkohlungsfaktor 89, 90ff.
Zeitgliederung der Erdgeschichte 8,
161.
Zellen 59ff.
Zellmembran 50, 60, **61**, 82, 84.
Zellstruktur 88.
Zellulose 28, 46, **61**, 62, 83, 84, 86, 88,
89, 90, 122.
Zersetzung 82.
Zickzackfalten 106.
Zucker 61, 62, 70, 82, 83, 86.