

Forschungen  
aus den Naturwissenschaften

# documenta

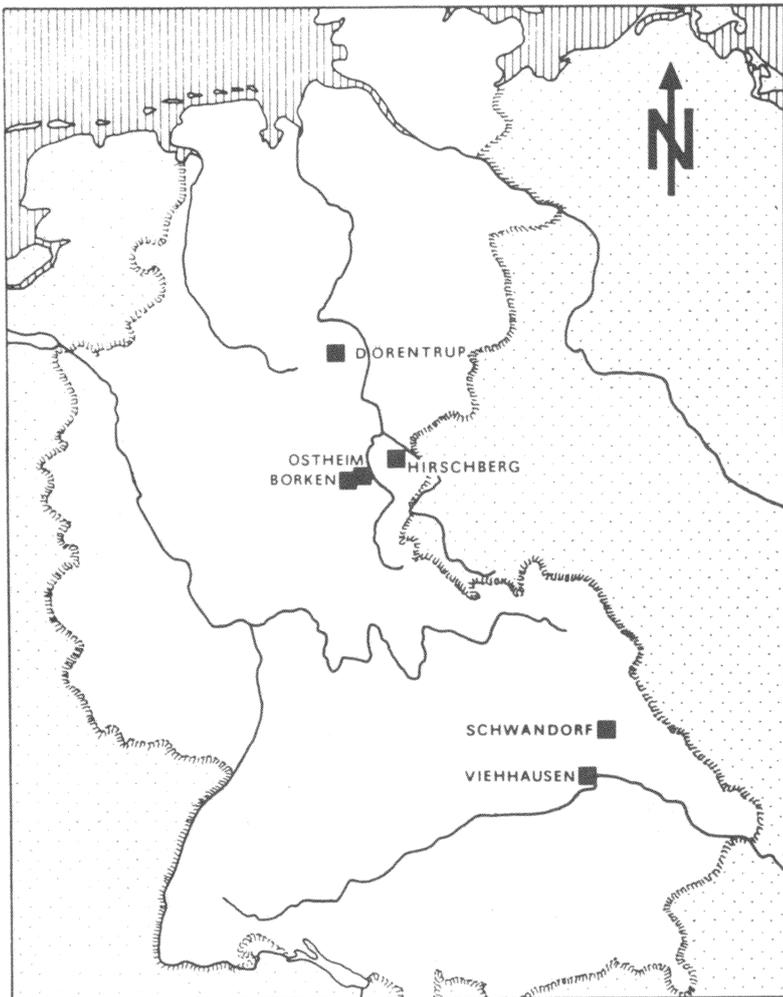
naturae

ISSN 0723-8428

Nummer

# 17

München 1984



## *St*offbestand und *G*enese der *B*raunkohlen

der Niederhessischen  
Senke

mit vergleichenden  
Untersuchungen an  
Braunkohlen der  
Oberpfalz und  
Ost-Westfalen

(Forschungen aus den Naturwissenschaften)

o723 - 8428

Herausgeber: Dr. Hans-Joachim Gregor      Dr. Heinz J. Unger  
                  Hans-Sachs-Str. 4                      Nußbaumstr. 13  
                  D-8038 Gröbenzell                     D-8058 Altenerding

Druck:           copy shop gmbh  
                  D-6100 Darmstadt

Vertrieb:        Buchhandlung KANZLER  
                  Gabelsbergerstr. 55  
                  D-8000 München

Bestellung:     bei der Buchhandlung und den Herausgebern

Anfragen:       direkt bei den Herausgebern

Die Schriftenreihe erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten Geologie, Paläontologie, Botanik, Anthropologie, Vor- und Frühgeschichte, Domestikationsforschung, Stratigraphie usw.

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Verfasser verantwortlich, für die Gesamtherstellung die Herausgeber.

Da die DOCUMENTA naturae auf eigene Kosten gedruckt werden, bitten wir um Überweisung der Schutzgebühr auf das Konto-Nr. 6410317280 bei der Bayer. Hypotheken- und Wechselbank München (BLZ 700 200 01), Konto-Inhaber H.-J. Gregor.

Schutzgebühr für diesen Band: DM 17.50

Umschlagentwurf: J. KLEIN-REESINK

Umschlagbild: Übersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland mit Angabe der Lokalitäten, die kohlenpetrographisch bearbeitet wurden.

Documenta naturae	17	S. 1 - 133	46 Abb.	5 Taf.	München 1984
-------------------	----	------------	---------	--------	--------------

Inhalt:

Seite

KLEIN-REESINK, J.: Stoffbestand und Genese der Braunkohlen  
der Niederhessischen Senke mit verglei-  
chenden Untersuchungen an Braunkohlen aus  
der Oberpfalz und Ost-Westfalen . . . . . 1 - 133

## K u r z f a s s u n g

In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse makro- und mikropetrographischer, physiko-chemischer und organisch-geochemischer Untersuchungen an tertiären Braunkohlen Niederhessens, der Oberpfalz und Ostwestfalens vorgestellt und diskutiert.

Die alttertiären Kohlen zeichnen sich makropetrographisch durch das starke Vorherrschen von Grundmassenkohlen aus, die starke Helligkeitskontraste aufweisen. Die mikropetrographische Ausbildung dieser Kohlen ist streng mit der makropetrographischen korreliert. Schwarze Kohlen sind Densinit-betont, dunkle Attrinit-betont. Der dominierende Bestandteil der hellen Lithotypen ist die "stark fluoreszierende Grundmasse". In Richtung auf die hellen Kohlen nehmen die Humotelinit-Gehalte ab, der Destruktionsgrad zu. Als "stark fluoreszierende Grundmasse" wird ein Bestandteil bezeichnet, der grundmassenbildend auftritt, extrem feinkörnig ist, schwach reflektiert und deutlich fluoresziert. Sie weist chemisch Merkmale von humosen sowie bituminösen Substanzen auf. Als grundlegender chemischer Baustein werden Phenol-Carbonsäure-Ester angenommen. Die "stark fluoreszierende Grundmasse" ist ein Produkt extrem starker, aerober mikrobieller Zersetzung.

Mit abnehmendem Alter werden die Kohlen allgemein gewebereicher. Grundmassenkohlen treten immer mehr in den Hintergrund. Dafür nehmen Gewebegrundmassenkohlen, Gewebekohlen und Xylitische Kohlen an Bedeutung zu. Die Helligkeitsdifferenzierung zwischen den Lithotypen geht zurück. Im mikropetrographischen Bild verliert die "stark fluoreszierende Grundmasse" an Bedeutung. Der Humodetrinit wird grobkörniger; gleichzeitig nehmen die Anteile an Humotelinit zu.

Mit der petrographischen Ausbildung ändern sich auch die chemischen Eigenschaften der Kohlen. Helle, stark detritische Lithotypen sind Kohlenstoff- und Wasserstoff-reich, Bitumen-reich und Huminsäure-arm. Dunkle und gewebereiche Lithotypen sind demgegenüber Sauerstoff-reich, Bitumen-arm und Huminsäure-reich. Das extrahierbare Bitumen ist im wesentlichen an die "stark fluoreszierende Grundmasse" und in geringerem Maße an den Attrinit gebunden. Es geht zum einen aus den ursprünglichen Pflanzenharzen und -wachsen und zum anderen aus Stoffwechselprodukten von Mikroben hervor.

Durch die organisch-geochemischen Untersuchungen und durch Vergleiche mit den Verhältnissen in den Florida-Everglades kann belegt werden, daß der Destruktionsgrad der Lithotypen wesentlich von der Intensität der mikrobiellen Überarbeitung bestimmt wird. Ein Einfluß der torfbildenden Vegetation auf die Petrographie der Braunkohlen macht sich erst in zweiter Linie bemerkbar. Die mikrobielle Überarbeitung bewirkt, daß verschiedene Lithotypen innerhalb einer Lagerstätte unterschiedliche biochemische Inkohlungsgrade aufweisen. Diese Unterschiede lassen sich sowohl chemisch (C-Gehalt,  $\text{HNO}_3$ -Reaktion, n-Alkan-Verteilung) als auch mikrophotometrisch (Fluoreszenzspektren der Sporinite) bestimmen. Als steuernde Faktoren für die mikrobielle Aktivität (und damit den Destruktions- und Inkohlungsgrad) werden die Redox- und die Klima- (Temperatur-) verhältnisse während der

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde von Prof. Dr. W.RIEGEL angeregt und betreut. Es ist mir nicht nur eine Pflicht, sondern ein aufrichtiges Bedürfnis, ihm für sein stetes Interesse am Fortgang der Arbeit, zahlreiche Diskussionen über Probleme der Braunkohlengengese und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes zu danken.

Für ihr freundliches Entgegenkommen bei zahlreichen Grubenbefahrungen möchte ich den Betriebsleitungen des Braunkohlenbergwerkes Altenburg, insbesondere Herrn SCHRÖDER, der Zeche Hirschberg, insbesondere Herrn HINZE, und der Bayerischen Braunkohlen Industrie herzlich danken. Der Einstieg in die Geländearbeiten wurde im Hessischen Braunkohlenrevier durch Herrn Dr. S.RITZKOWSKI, in der Schwändorfer Braunkohle durch Herrn Dr. H.J.GREGOR (München) und im Dörentruper Braunkohlevorkommen durch Herrn Dr. J.NIE-MEYER (Münster) wesentlich gefördert. Die Profilaufnahmen wurden in Hessen und in Dörentrup gemeinsam mit Herrn Dipl.-Geol. C.MINNIGERODE und in der Oberpfalz gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. W.RIEGEL und Frau Dipl.-Geol. H.BENDER (Tübingen) durchgeführt. Auch für diese Unterstützungen wird vielmals gedankt.

Herr Dr. H.JACOB (Hannover) war so freundlich, den für die fluoreszenzoptischen Untersuchungen benutzten Standard im Labor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zu eichen. Für die Anleitung bei der Verarbeitung der Ergebnisse der Fluoreszenzintensitätsmessungen mit Hilfe der EDV danke ich den Herren Dipl.-Geol. J.ADAM und Dipl.-Geol. H.MADER.

Herrn Prof. Dr. FLEHMIG danke ich für die Erlaubnis die Infrarot-spektroskopischen Untersuchungen im Mineralogischen Institut der Universität Göttingen durchführen zu dürfen. Die organisch-geochemischen Untersuchungen wurden weitgehend im Institut für Erdölforschung in Clausthal-Zellerfeld durchgeführt. Herrn Priv.Doiz. Dr. A.HOLLERBACH bin ich für die Erlaubnis, die dort vorhandenen Laboreinrichtungen benutzen zu dürfen, sowie für seine stete Hilfsbereitschaft und Anleitung zu großem Dank verpflichtet. Die GC-MS-Aufnahmen wurden von Herrn Dr. REMBERG im Institut für organische Chemie der Universität Göttingen angefertigt. Auch ihm sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Die Interpretation der Massenspektren wäre mir ohne die Hilfe von Dr. HOLLERBACH nicht möglich gewesen.

Für hilfreiche Anregungen, die ich in Diskussionen über die Braunkohlenentstehung und die Klassifikation von Braunkohlenmazeralen bekommen habe, möchte ich Frau Prof. Dr. M.TEICHMÜLLER (Krefeld) sowie den Herren Dr. H.J.GREGOR (München) und Dr. VELIT-ZELOS (Athen) danken.

Die Arbeiten an den Hessischen Braunkohlen wurden durch eine Beihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die Arbeiten an der Dörentruper Braunkohle durch eine finanzielle Unterstützung des Landschaftsverbandes Westfalen/Lippe gefördert. Hierfür sei an dieser Stelle mein herzlicher Dank ausgesprochen.

Nicht zuletzt möchte ich Frau M.STICKELBRUCK und besonders meiner Frau BIRGIT für ihre große Hilfe bei der Fertigstellung des Manuskriptes danken.

## I. EINLEITUNG

Die vorliegende Arbeit bildet den vorläufigen Abschluß einer Reihe von Untersuchungen, die von einer Arbeitsgruppe des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Göttingen um Prof. W. RIEGEL an den Braunkohlen der Niederhessischen Tertiärsenke durchgeführt wurden. Das Hauptinteresse galt zunächst einer Bestandsaufnahme der geologischen Rahmenbedingungen sowie des petrographischen und palynologischen Inventars der kleinen, fast ausgekohlten und damit in naher Zukunft nicht mehr zugänglichen Vorkommen. Die Ergebnisse dieser Bestandsaufnahme wurden in einer Reihe von Diplomarbeiten festgehalten, die die Lagerstätten von Borken ( WOLLENHAUPT 1980, KLEIN-REESINK 1980, MINNIGERODE 1981 ), Ostheim ( SCHAUB 1981 ) und vom Hirschberg ( PRAUS 1980, BENDER 1981 ) behandeln. Die Ausführungen, die in den folgenden Kapiteln über die Geologie und Petrographie der Kohlevorkommen der Hessischen Senke gemacht werden, stützen sich zum Teil auf diese Arbeiten. Insbesondere die Erläuterungen zur Petrographie der Ostheimer Braunkohle gehen auf die Ergebnisse von SCHAUB (1981) zurück, die in einigen Punkten ergänzt und modifiziert wurden. Aus den Arbeiten von PRAUS (1980) und BENDER (1981) wurde die makropetrographische Beschreibung des Flözes III vom Hirschberg übernommen, während die mikropetrographische Bestandsaufnahme anhand des vorhandenen Probenmaterials im Rahmen dieser Arbeit neu durchgeführt wurde, um dem Autor Einblick in die Mikropetrographie dieser jungtertiären Kohle zu geben.

Nach der ersten Phase der Untersuchungen zeigte sich, daß die Braunkohlevorkommen der Hessischen Senke entsprechend ihrem unterschiedlichen Alter ein breites Spektrum von Lagerstättentypen hinsichtlich der petrographischen Ausbildung der Kohlen aufweisen. Somit bot es sich an, weitergehende Untersuchungen durchzuführen, um zu Aussagen über die Genese von Braunkohlelithotypen und -lagerstättentypen zu kommen, die nicht durch die speziellen Faziesbedingungen eines einzelnen Vorkommens geprägt sind und, um die einseitig aus der Rheinischen Braunkohle abgeleiteten Genesevorstellungen ( u.a. TEICHMÜLLER & THOMSON 1958, v.d. BRELIE & WOLF 1981 ) zu ergänzen und zu modifizieren. Das Spektrum an betrachteten Lagerstätten wird noch erweitert durch vergleichende Untersuchungen an Braunkohlen aus der Oberpfalz und aus Dörentrup (Ost-Westfalen). Auch diese Vorkommen wurden unter dem Gesichtspunkt ausgewählt, daß sie schon im Laufe des Jahres 1983 nicht mehr zugänglich waren, so daß hier eine der letzten Möglichkeiten wahrgenommen wurde, Informationen über diese Lagerstätten sicherzustellen.

Ziel der folgenden Ausführungen ist es, durch die vergleichende Betrachtung mehrerer kleiner, kaum bekannter Lagerstätten die breite Varianz der petrographischen Ausbildung von Braunkohleflözen darzustellen. Die Kombination von petrographischen mit mikrophoto-metrischen und unterschiedlichen physiko-chemischen Untersuchungsmethoden dient weiterhin dazu, die Faktoren ausfindig zu machen, die die Genese der Lithotypen und Lagerstättentypen beeinflusst haben.

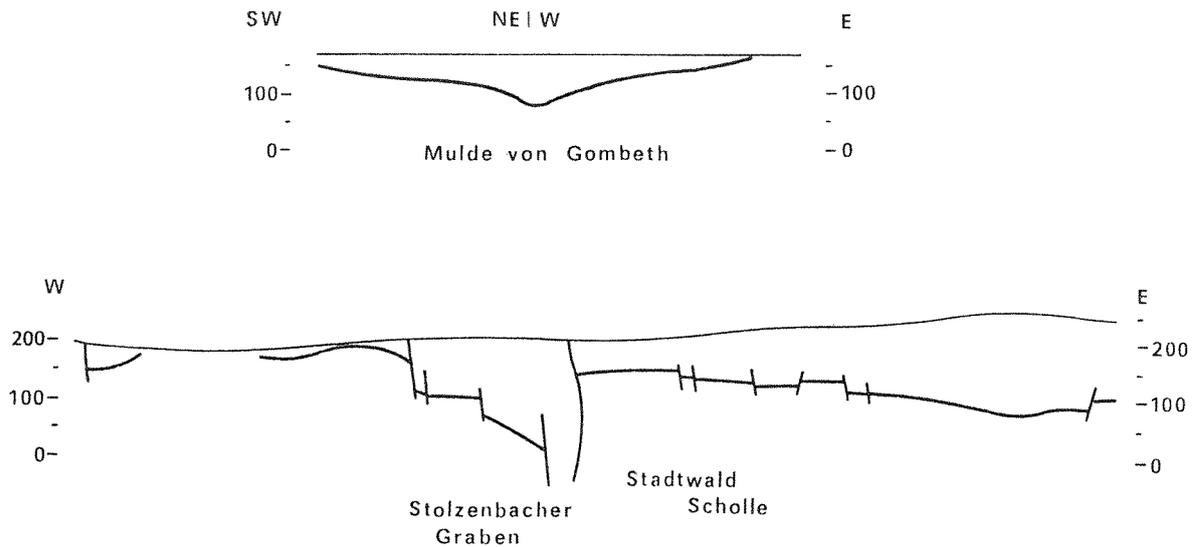


Abb. 2 Lagerungsverhältnisse des Borkener Hauptflözes nördlich (Mulde von Gombeth) und südlich (Stolzenbacher Graben) von Borken (nach RITZKOWSKI & RÖSING 1977).

zu 15m mächtige Hauptflöz wird von der Preag/Abt. Borken im Tagebaubetrieb abgebaut; die Kohle im Kraftwerk Borken verstromt. Zwischen Ostheim und Dagobertshausen blieb die Kohle unter der schützenden Basaltdecke des Hügelskopf erhalten. Dieses Vorkommen ist aber mit moderner Tagebautechnologie wirtschaftlich nicht gewinnbar, da es durch zahlreiche Verwerfungen in kleine Einzelschollen zerlegt ist und das Flöz zudem von Basaltapophysen durchsetzt wird (STECKHAN 1952). Das Ostheimer Hauptflöz wird von RITZKOWSKI (1965) mit dem untersten Flöz von Frielendorf parallelisiert, das an die Wende Oligozän/Miozän gestellt wird.

Am Hirschberg bei Grossalmerode blieb die Kohle aufgrund der günstigen tektonischen Position im Kreuzungspunkt des Kasseler Grabens mit dem Altmorschen - Lichtenauer - Graben erhalten. Zudem wurde sie durch die Basaltdecke des Hirschberges vor der Erosion geschützt (Abb.3). Die tertiären Sedimente liegen heute in zwei weitgespannten Mulden vor, der Hirschberger - und der Faulbacher Mulde, die durch eine NNE - SSW streichende Buntsandsteinaufragung zwischen Grossalmerode und Rommerode getrennt sind. In die Schichtenfolge sind fünf Flöze eingeschaltet. Flöz IV gehört der Borkener, die Flöze III, II, I und 0 der Frielendorfer Flözgruppe an (MÜRRIGER & PFLANZL 1955, PFLANZL 1956, BROSIUS & GRAMANN 1959, v.d. BRELIE 1967, BENDER 1981). Bergbau wird zur Zeit nur in der Hirschberger Mulde betrieben. Die Zeche Hirschberg baut die Flöze IV und III im Tiefbau und die Flöze III bis 0 im Tagebau Paradiesfeld am Nordhang des Hirschberges ab. Die Kohle wird fast ausschließlich an das Kraftwerk Borken verkauft.

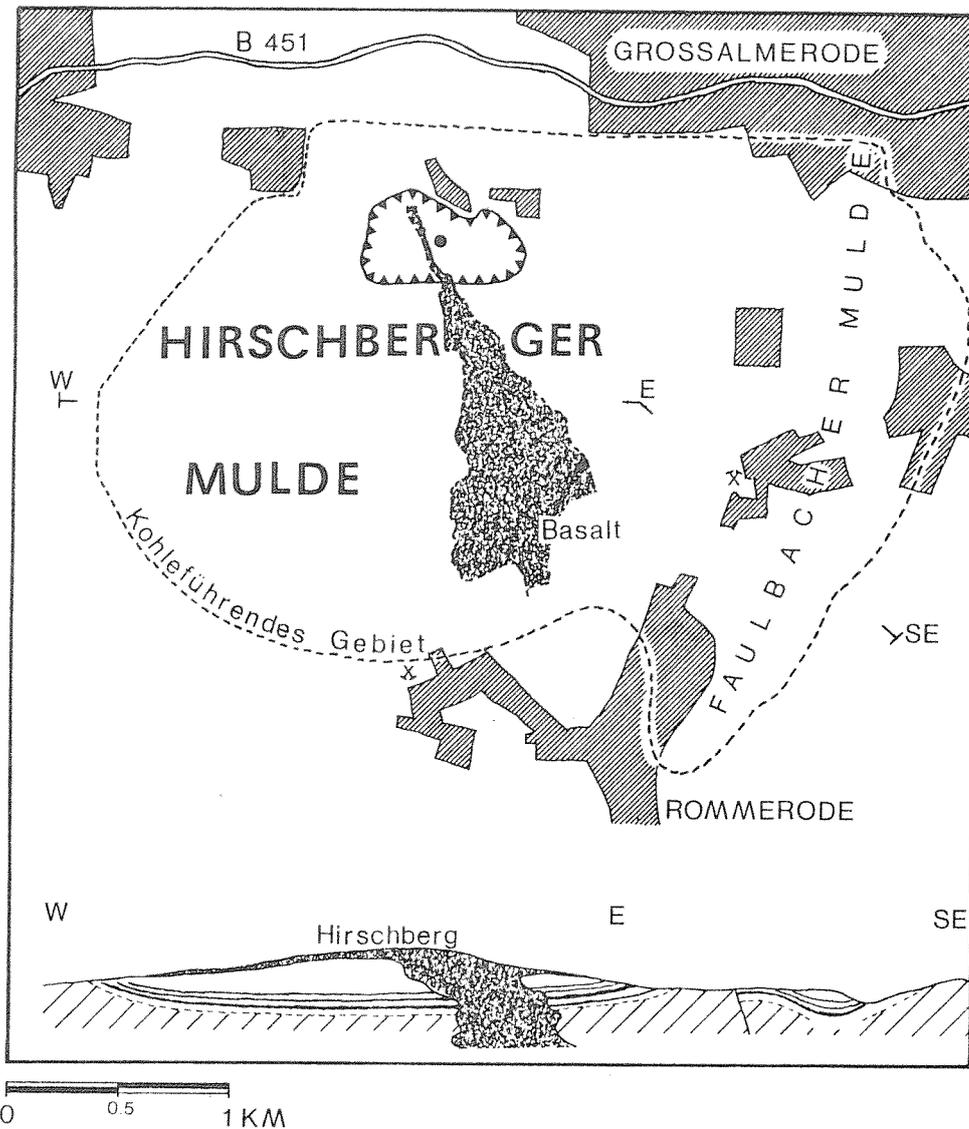


Abb. 3 Das Braunkohlevorkommen vom Hirschberg bei Grossalmerode (nach Werksunterlagen der Zeche Hirschberg) ● = Profil

## II.2. DIE BRAUNKOHLEVORKOMMEN DER OBERPFALZ

Die heutige Verbreitung der tertiären Sedimente in der Oberpfalz bildet die Umrise eines mehrfach verzweigten Flußsystems mit zahlreichen Seitenrinnen und -buchten ab (Urnaab-System; Abb.4), das bei Regensburg in die Regensburg - Straubinger - Bucht der Süßbrackwasser- und der Oberen Süßwassermolasse mündet (TILLMAN 1964). Nach einer ersten, reliefauskleidenden fluviatilen Sedimentation blieb die Ablagerung klastischer Sedimente im Laufe des mittleren Miozän zunehmend auf die Hauptrinne beschränkt. In den ruhigen Randbereichen, Buchten und Seitentälern entwickelte sich eine üppige Vegetation und führte zur Bildung von Braunkohleflözen, die in Richtung auf die Hauptrinne zunehmend vertauben. Tektonische Bewegungen an der Wende Torton/Sarmat beendeten die Kohlebildung und lösten eine Erosionsphase aus, die sich durch typische Rinnenbildung an der Oberkante des Flözes bemerkbar macht. Im Laufe des Sarmat und Pont wurden dann die Braunkohle-führenden

Schichten durch klastische Sedimente flächenhaft abgedeckt (TILLMAN 1964).

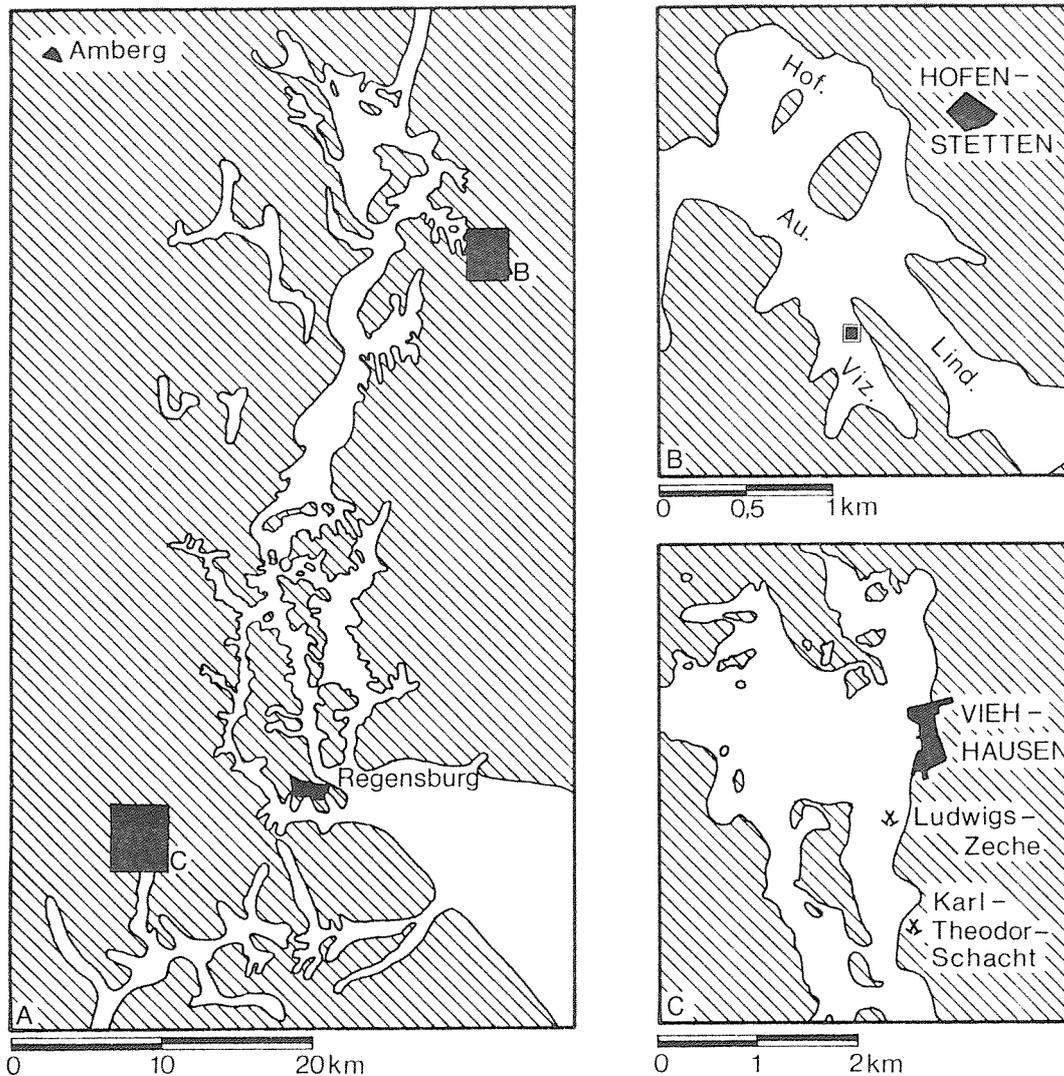


Abb. 4 A) Tertiärverbreitung in der Oberpfalz (nach TILLMAN 1964)

B) Ausschnitt aus dem Grubenfeld Rauberweiher (nach Werksunterlagen der BBI/Schwandorf)  $\blacksquare$  = Profil

C) Das Braunkohlevorkommen von Viehhausen (nach RUTTE 1962)

Im Grubenfeld Rauberweiher geht aus den Flözkonturen, d.h. der flächenmäßigen Verbreitung und den Flözschnitten, die enge Bindung der Kohle an das alte, stillgelegte Flußsystem klar hervor (RIEGEL 1981). Das bis zu 25m mächtige Flöz keilt gegen die Talflanken aus (Abb.5). Es ist nach GREGOR (1980) und THIELE-PFEIFFER (1980) im höheren Mittelmiozän entstanden. In zahlreichen Ton- und Sandmitteln greifen die klastischen Sedimente aus der Hauptrinne der Urnaab bis weit in die Seitentäler vor, ein Zeichen dafür, wie weit die faziellen Verhältnisse in den Seitentälern durch die wechselnden Wasserstände der Vorflut bestimmt werden. Die Zwischenmittel verlieren bei zunehmender Entfernung vom Haupttal an Mächtigkeit, so daß in den östlichen Tagebauen des Grubenfeldes Rauberweiher das markante Hauptzwischenmittel fehlt, das sonst die Braunkohle in Unter- und Oberflöz gliedert (vgl. Profile bei GREGOR 1980 und RIEGEL 1981). Die Kohlen

wurden von der Bayerischen Braunkohlen-Industrie AG (BBI), Schwandorf, abgebaut und im Kraftwerk Schwandorf verstromt, der letzte Tagebau, Vizthum, im Jahre 1983 ausgekohlt.

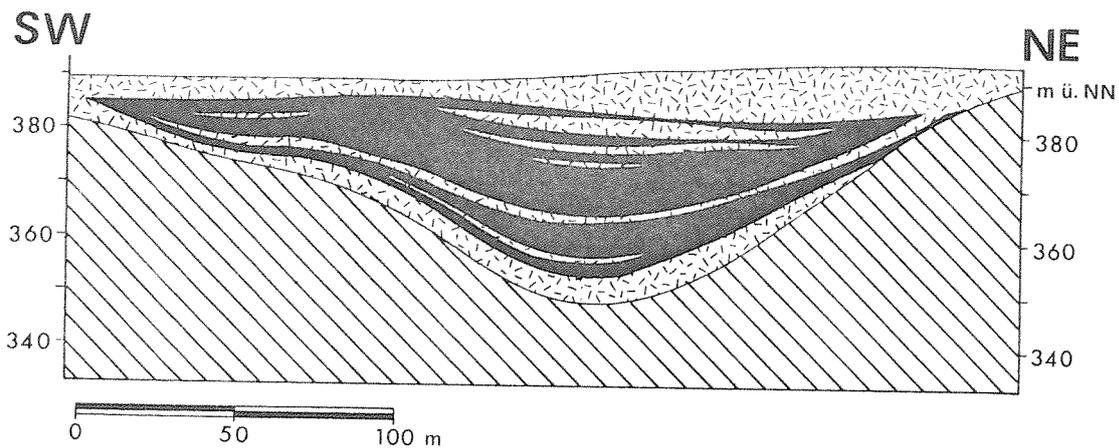


Abb. 5 Querprofil durch den Tagebau Vizthum (nach Werksunterlagen der BBI/Schwandorf)

Die Braunkohlen von *V i e h h a u s e n* (Abb.4) sind unter ähnlichen geologischen Rahmenbedingungen entstanden, wie die im Grubenfeld Rauberweiher. Das Flöz erreicht aber selbst in den zentralen Teilen der Rinne nur eine durchschnittliche Mächtigkeit von 1,80m (TILLMAN 1964). Berühmt geworden ist die Viehhausener Kohle durch Wirbeltierfunde (ausführliche Listen bei RUTTE 1956/58: 69 - 71 und RUTTE 1962: 155 - 158). Die Erhaltung von Wirbeltierresten in der Kohle wurde dadurch ermöglicht, daß aus den umgebenden Jura-arealen Kalklösungen zugeführt wurden, die im Moor die Humussäuren neutralisierten (vgl. KLEIN-REESINK & RIEGEL 1983). Das Flöz wird von RUTTE (1956/58) und GREGOR (1980) ins Obermiozän eingestuft.

### II.3. DAS BRAUNKOHLEVORKOMMEN VON DÖRENTRUP

Das Dörentruper Tertiärgebiet stellt einen Südwest - Nordost streichenden Grabenbruch dar, in dem bis zu 100m mächtige Tertiärschichten erhalten sind. Die Schichten innerhalb des Grabens sind muldenförmig gelagert (Abb.6). Diskordant auf Schichten des Rät und des Lias beginnt die Sedimentation im Mitteloligozän mit Ablagerungen des Rupelmeeres. Im Oberoligozän bildeten sich teilweise glaukonitische Mergel mit einer reichhaltigen marinen Fauna (STREMME 1888, MESTERDT 1910, 1916, 1917). Nach dem Rückzug des Meeres kommt es im Miozän zur Ablagerung von nahezu 70m mächtigen, fluviatilen Sanden. Die zwischengeschalteten, meist schwarzen Tone zeichnen sich häufig durch einen hohen Anteil organischer Substanz aus. Sie sind eng mit Braunkohlen verzahnt, wobei sämtliche Übergänge von Tonen zu Braunkohle auftreten (MEYER & WILDER 1981). Die Flöze, die rasch auskeilen, beziehungsweise vertauben, sind nicht abbauwürdig (STILLE 1915, vgl. KLEIN-REESINK &

MINNIGERODE 1984). Lediglich die xylitischen Lithotypen wurden zeitweilig von den Dörentruper Sand- und Thonwerken, in deren Gruben die Flöze angeschnitten wurden, als Kesselkohle verwandt. Das Pollenbild des untersuchten Flözprofils (MINNIGERODE & KLEIN-REESINK 1984) zeigt ein Alter an der Wende Miozän/Pliozän an (MINNIGERODE, mündl. Mitt.).

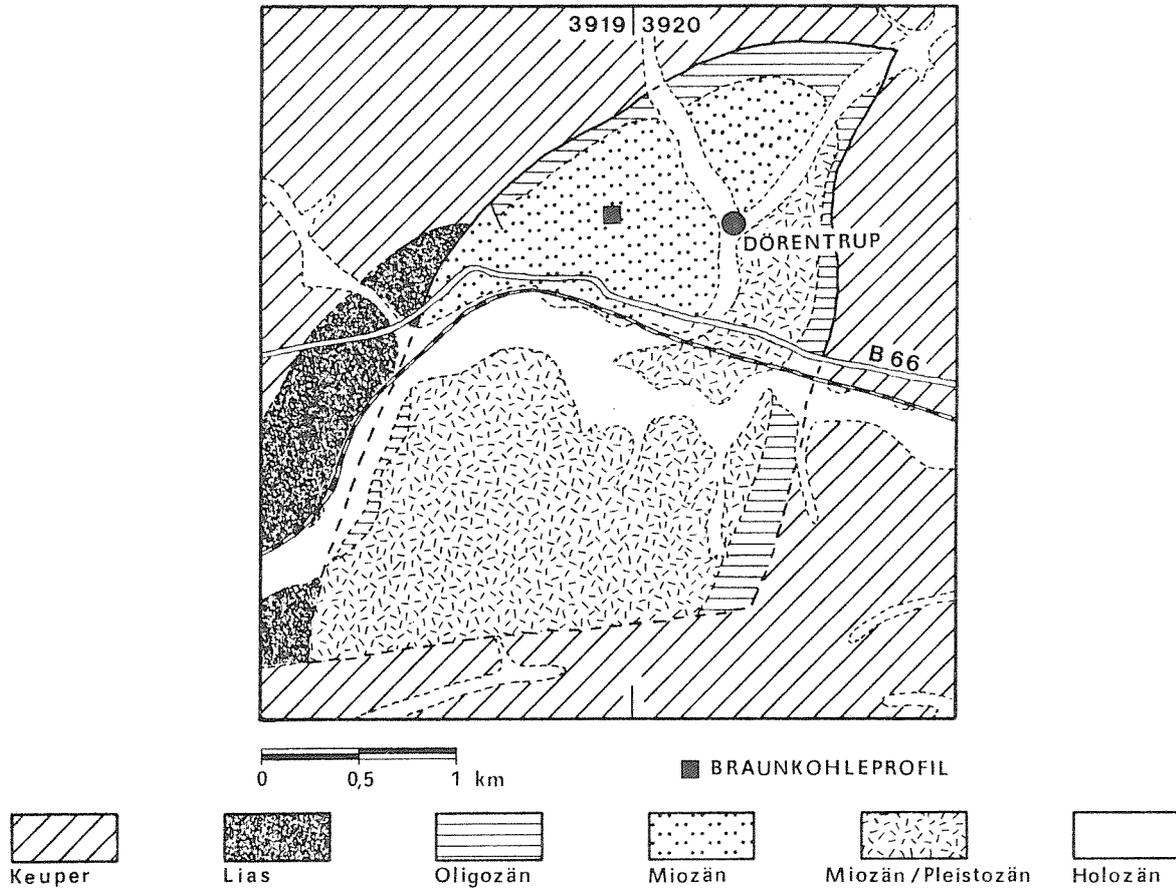


Abb. 6 Das Tertiärvorkommen von Dörentrup/Lippe (nach MESTWERDT 1916)

### III. PETROGRAPHIE DER UNTERSUCHTEN KOHLEN

#### III.1. ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

##### III.1.1. MAKROPETROGRAPHIE

Grundlage für die weiteren Untersuchungen waren die in den verschiedenen Tagebauen makroskopisch aufgenommenen Profile, da sich die Probennahme an den hierbei ausgeschiedenen Schichten orientierte. Folglich wurde besonderer Wert auf eine exakte und reproduzierbare Ansprache der Lithotypen gelegt, für die eine verbindliche Regelung bislang fehlt. Es wurde ein Nomenklatursystem benutzt, das sich eng an die Anspracheschemata von VOGT (1970), HILTMANN (1976), HAGEMANN (1978), SONTAG & SÜSS (1976) sowie SEIFERT & RASCHER (1979) anlehnt (Tab.1).

Kategorie	Lithotypenklasse	Lithotypen	L.-Varietät	L.-Subvarietät
Parameter	Xylitführung, Aschegehalt	Gewebeführung	Helligkeit	Zerfall, Einlagerungen, u.s.w.
Petrographische Beschreibung	Kohle	Grundmassenkohle Gewebegrundmassenkohle Gewebekohle Lagenkohle	schwarz dunkel mittelhell hell	grobstückig, feinstückig, u.s.w. helle Gewebe Xylitbruchstücke Gele
	Xylitische Kohle Mineralkohle			Harze u.s.w.

Tab. 1 Makropetrographisches Untergliederungsschema für Weichbraunkohlen  
(Erläuterungen s. Text)

Zur Klassifikation der Lithotypen dienen die folgenden Kriterien in absteigender Rangfolge:

- Gewebeführung
- Helligkeit
- Zerfall
- Art der Einlagerungen

Damit ist für die Lithotypenansprache in erster Linie das Verhältnis von Grundmasse zu Gewebe entscheidend, ein Parameter, der auch bei der Klassifikation der Torfe holozäner Küstenmoore angewandt wird (z.B. COHEN 1973). Hierdurch wird ein Vergleich mit der Petrographie subrezenter Torfe erleichtert. Mit steigender Gewebeführung werden unterschieden:

Grundmassenkohlen (GMK) (Taf.1, Fig.3)  
 Gewebegrundmassenkohlen (GGMK) (Taf.1, Fig.2)  
 Gewebekohlen (GK) (Taf.1, Fig.1)  
 Lagenkohlen (LK)

Die Lithotypen können nach ihrer Farbe weiter in Varietäten untergliedert werden. Da das menschliche Auge zwar für relative Farbmessungen sehr empfindlich ist, nicht aber für absolute (PFLUG 1957), wurde eine Einteilung in vier Helligkeitsstufen vorgenommen:

schwarz  
 dunkel  
 mittelhell  
 hell

Die Farbansprache wurde grundsätzlich an lufttrockenem Material vorgenommen, da erst in diesem Zustand die Farbunterschiede deutlich werden. Außerdem erlaubt diese Methode einen nachträglichen Farbvergleich von Proben aus verschiedenen Lagerstätten, so daß die Ansprache einheitlich ist.

Durch Parameter wie Zerfall (feinstückig, grobstückig, u.a.) und Art der Einlagerungen (Gele, helle Gewebe, u.a.) können die Lithotypen-Varietäten weiter differenziert werden (z.B. dunkle, feinstückige Gewebegrundmassenkohle mit Geleinlagerungen).

Außerhalb des hierarchisch gegliederten Nomenklatorsystems stehen die xylitreichen Lithotypen. Tritt Xylit nur als accessorischer Bestandteil auf, wird die Xylitführung als Subvarietät angegeben (z.B. schwarze, xylitische Gewebekohle). In einzelnen Schichten machen die Xylite aber den überwiegenden Teil der organischen Substanz aus. In diesen Fällen werden "Xylitische Kohlen" als übergeordnete Lithotypenklasse ausgeschieden.

Naturgemäß gibt es alle Übergänge zwischen Kohle und Nebengestein. Als Grundlage für eine Untergliederung dieser Übergangsreihe bietet sich der Aschegehalt an, der im Rahmen dieser Arbeit stets in Gewichtsprozent bezogen auf wasserfreie Basis angegeben wird. Nach SEIFERT & RASCHER (1979) sind Braunkohlen mit Aschegehalten von 0 - 25% als Kohle und von >25 - 50% als Mineralkohle zu bezeichnen. Bei Aschegehalten von >50 - 75% sind die Bezeichnungen Braunkohlensand, -schluff oder -ton zu verwenden. Demgegenüber sprechen andere Autoren noch bei Aschegehalten von 40 - 50% von Kohle (KOCH 1966). In der Bodenkunde benutzt man bei Böden mit Aschegehalten von 0 - 25% den Begriff Moor, bei >25 - 85% Anmoor und bei >85 - 100% Mineralboden (GÖTTLICH 1980). Da keine eindeutigen Grenzwerte festgelegt sind, und keine technologische sondern eine genetische Beurteilung der untersuchten Kohlen vorgenommen werden sollte, wurde in der vorliegenden Arbeit eine auf die bodenkundliche Nomenklatur basierende Einteilung benutzt, die sich erfahrungsgemäß im Gelände gut nachvollziehen läßt:

0 - 25% Asche = Kohle  
 >25 - 85% Asche = Mineralkohle (Taf.1, Fig.4)  
 >85% Asche = Nebengestein

### III.1.2. MIKROPETROGRAPHIE

Anders als in der Makropetrographie wurde in der Mikropetrographie in den letzten Jahrzehnten die Nomenklatur und die Untersuchungsmethodik weitgehend verbindlich geregelt (ICCP 1963, 1971, 1975). Nach den Richtlinien der ICCP-Analysenkommission wurden die Mazeralanalysen an hochpolierten, reliefarmen Körnerschliffen durchgeführt. Es wurden unter Verwendung von Auflicht-Hellfeld und Auflicht-Fluoreszenzbeleuchtung bei 500-facher Vergrößerung und einem Punkt- und Linienabstand von 0,5mm (Pointcounter) 500 bis 600 Punkte pro Schliff ausgezählt. Die so erreichbare Genauigkeit beträgt  $\pm 2 - 3\%$  für jedes Einzelmazeral (ICCP 1963). Zusätzlich zu den Mazeralen wurden bei den Analysen die anorganischen Bestandteile Quarz, Tonminerale, Karbonate und Eisensulfide erfaßt. Bei den Xylitischen Kohlen wurden nur die Matrix zwischen den Xyliten, nicht die Xylite selber untersucht.

Eine Übersicht über die Mazerale der Braunkohle gibt Tab.2. Die Mazerale der Liptinit- und der Inertinit-Gruppe entsprechen weitgehend der bekannten und bewährten Klassifikation der Steinkohlemazerale. Die Gegenüberstellung der Klassifikation der Vitrinite der Steinkohlen und ihrer Vorläufer in den Braunkohlen, der Huminite (vgl. STACH et al. 1975: Tab. 18), läßt deutlich die stärkere Untergliederung der Huminit-Gruppe erkennen. Hierdurch kommt die größere Nähe der Braunkohlen zum pflanzlichen Ausgangsmaterial zum Ausdruck, die im Gegensatz zu den Steinkohlen noch nicht den homogenisierenden Prozess der Vitrinitisierung erfahren haben.

Humotelinit ist die Bezeichnung für Gewebe oder intakte Einzelzellen in humosem Erhaltungszustand. Nach dem Grad der Vergelung werden die Mazerale Textinit (unvergelt) und Ulminit (vergelt) unterschieden. Attrinit und Densinit sind mehr oder weniger feindetritische Mazerale, Attrinit die unvergelte, Densinit die vergelte Modifikation. Beide treten grundmassebildend auf. Die Mazerale der Humocollinit-Gruppe kommen als Zell- und Spaltenfüllungen vor, die nach optischen Merkmalen weiter untergliedert werden können (näheres siehe STACH et al. 1975, ICCP 1971).

Neben den bekannten Mazeralen wurde ein Bestandteil ausgeschieden, der sich durch extreme Feinkörnigkeit, geringes Reflexionsvermögen sowie eine deutliche Fluoreszenz auszeichnet und grundmassebildend auftritt. Er wird als "stark fluoreszierende Grundmasse" bezeichnet (KLEIN-REESINK 1980, KLEIN-REESINK, RIEGEL & SCHAUB 1982) und in den folgenden Kapiteln näher beschrieben und erstmals chemisch charakterisiert.

### III.2. PETROGRAPHIE DES BORKENER HAUPTFLÖZES

Stellvertretend für viele im Borkener Revier aufgenommene Profile wurde ein Profil aus dem Tagebau Gombeth (Profil A in Abb.7) detailliert untersucht. Das Flöz ist hier deutlich zweigeteilt. Über einer 1,3m mächtigen ungeschichteten Kohle folgt scharf abgegrenzt eine durch den Wechsel heller und dunkler Lagen deutlich geschichtete Flözpartie (Abb.10). Die ungeschichtete Kohle zeigt auch am angewitterten Stoß kein Absonderungsgefüge. Da an

Mazeral-Gruppe	Mazeral-Subgruppe	Mazeral	Mazeral-Typ *)
Huminit	Humotelinit	Textinit	
		Ulminit	Texto-Ulminit
			Eu-Ulminit
	Humodetrinit	Attrinit	
		Densinit	
	Humocollinit	Gelinit	Porigelinit
			Levigelinit
		Corpohuminit	Phlobaphinit
			Pseudophlobaphinit
	Liptinit		Sporinit
Cutinit			
Resinit			
Suberinit			
Alginit			
Liptodetrinit			
Chlorophyllinit			
Inertinit		Fusinit	
		Semifusinit	
		Macrinit	
		Sclerotinit	
		Inertodetrinit	

\*) kann beliebig erweitert werden

Tab. 2 Mazerale der Braunkohle (nach ICCP 1971)

ihrer Oberkante ständig Wasser austritt, wird sie von den Bergleuten im Borkener Revier als *Wasserkohle* bezeichnet. Petrographisch handelt es sich bei der Wasserkohle um eine helle Grundmassenkohle. Auffällig ist, daß sie im Gegensatz zu anderen hellen Kohlen auch nach langer Luftexposition beim Anschlag immer die typische, fuchsrote Farbe von bergfrischen Kohlen zeigt, ein Hinweis auf eine sehr dichte Internstruktur.

Charakteristisch für den hangenden Teil des Borkener Flözes sind die Farbkontraste zwischen den einzelnen Schichten. Etwa 2m von der Hangendgrenze hebt sich ein helles Doppelband besonders deutlich heraus. Es zeichnet sich am abgetrockneten Stoß durch eine weiße Verwitterungsrinde aus, die auf einen für das gesamte hessische Tertiär ungewöhnlich hohen Karbonatgehalt von über 40%\* zurückgeht. Zwei weitere helle Doppelbänder folgen weiter unten im Flöz. In ihnen konnte aber kein Karbonat nachgewiesen werden. Dafür besitzen sie, ebenso wie die Wasserkohle, einen zum Teil beträchtlichen Sandgehalt. Die

\* Die Karbonatgehalte wurden nach der von MÜLLER & GASTNER (1971) beschriebenen Methode gasometrisch bestimmt.

hellen Lithotypen sind in der Regel extrem gewebearm. Die Ausnahme bildet eine Gewebegrundmassenkohle, die im Profil A 2m über der Flözbasis liegt. Sie erscheint am Stoß durch einen hohen Gehalt an makroskopisch erkennbaren, hellen Geweberesten (Korkgewebe, Kutikulen) hell. Die Matrix besitzt aber eine dunkle Farbe, so daß die Kohle, sieht man vom ersten Farbeindruck am Stoß ab, zu den dunklen Kohlen zu stellen ist. Auch die dunklen und schwarzen Lithotypen-Varietäten der Borkener Kohle sind meist Grundmassenkohlen. Gewebegrundmassenkohlen kommen nur in zwei schmalen Bändern vor.

Die Aufeinanderfolge der Lithotypen läßt einen mehrfachen Zyklus erkennen. Am vollständigsten ist der Zyklus im hangenden Flözdrittel, oberhalb des karbonatischen Doppelbandes, ausgebildet. Auf eine Gewebegrundmassenkohle folgen schwarze, dunkle und schließlich mittelhelle Grundmassenkohlen. Charakteristisch für den gesamten Lagerstättenbereich ist der Übergang von mittelhellen Grundmassenkohlen in die hangenden klastischen Tone.

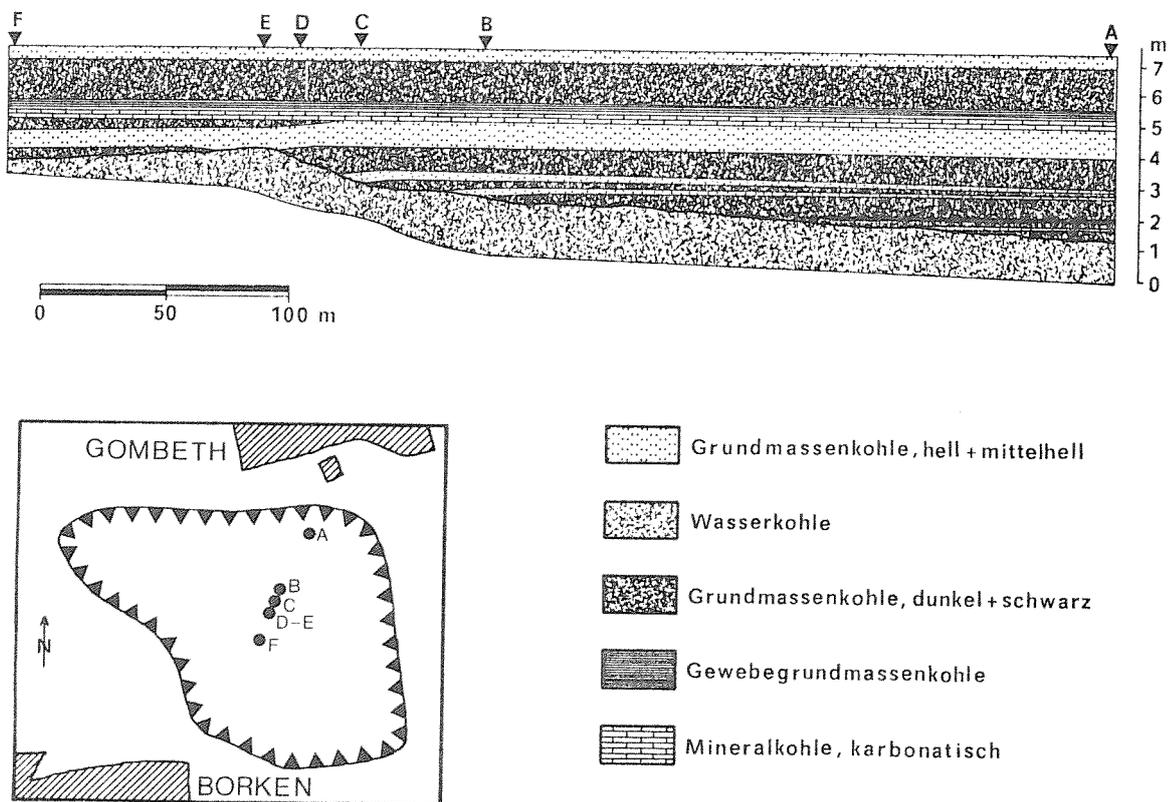
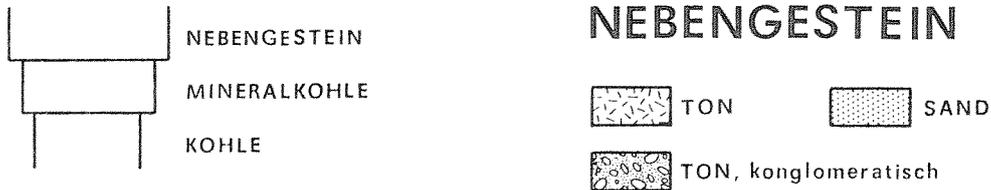


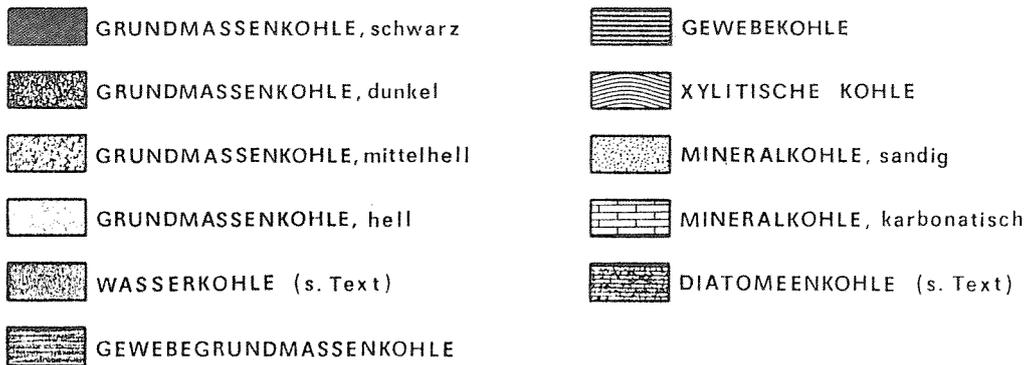
Abb. 7 Querprofil des Borkener Hauptflözes im Tagebau Gombeth  
A - F = Lage der aufgenommenen Profile

Im Tagebau Gombeth nimmt die Mächtigkeit des Hauptflözes über eine Grubenwand von fast 500m Erstreckung von etwa 8m auf unter 4m ab. Die Wasserkohle kann in wechselnder Mächtigkeit durch den ganzen Tagebau verfolgt werden. Sie wird nach oben durch eine Diskordanz begrenzt, an der die hangenden Kohlelagen auskeilen (Abb.7). Die im Meter bis Dekameterbereich sehr unebene Oberkante der Wasserkohle zeigt mit typischen Rinnenformen die Merkmale einer Erosionsfläche. Die an der Wasserkohle auskeilenden Kohlelagen wirken

# LEGENDE



## MAKROPETROGRAPHIE



## MIKROPETROGRAPHIE

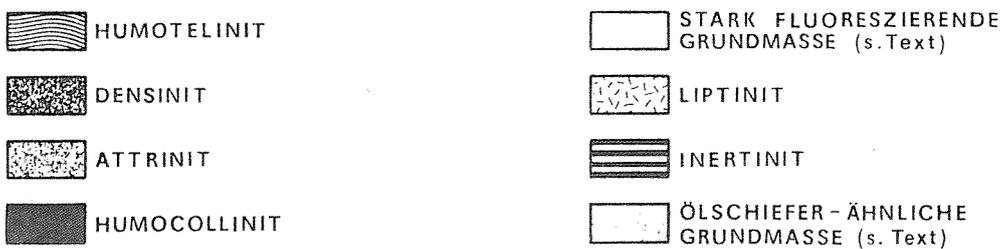
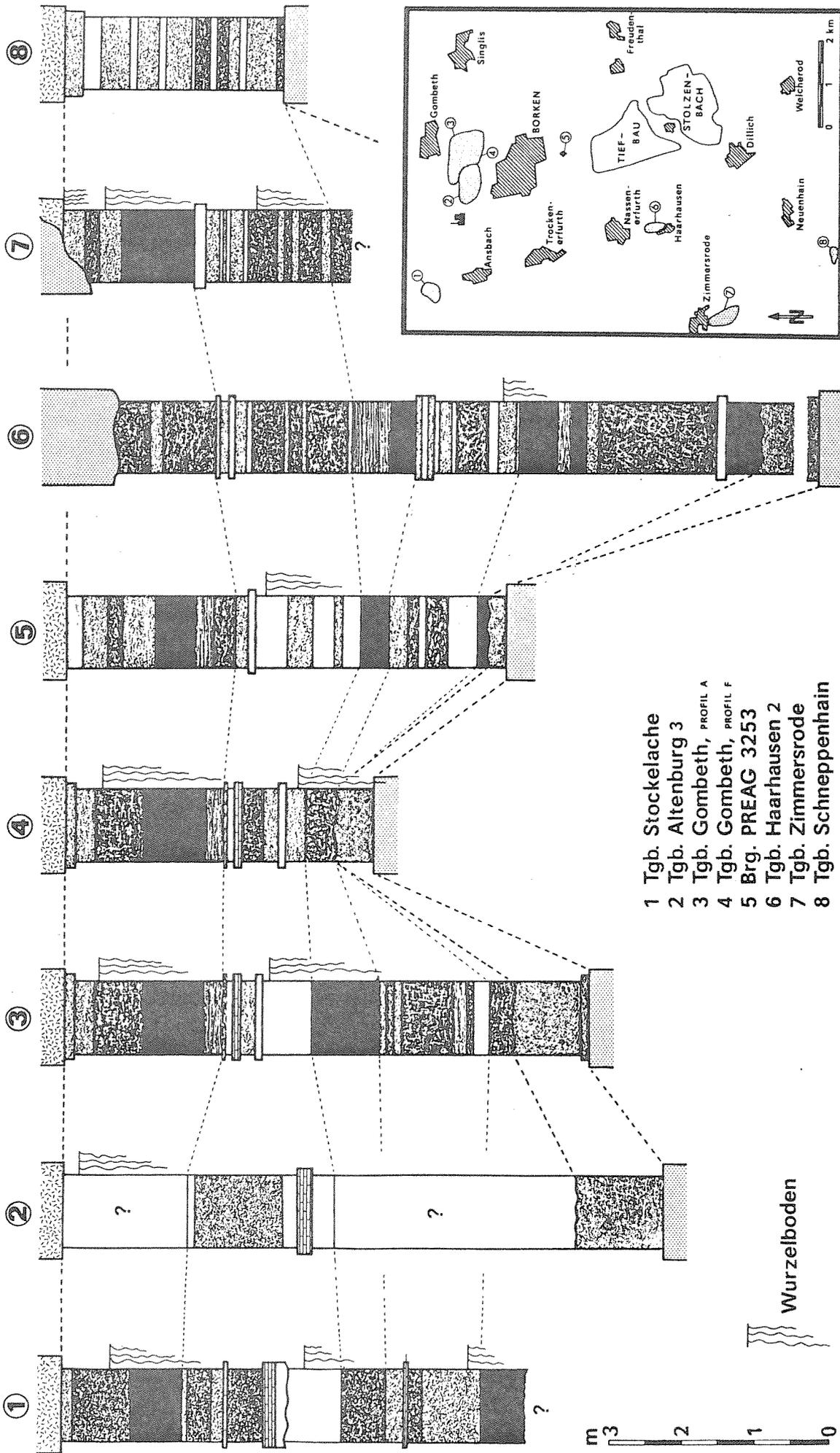


Abb. 8 Der makropetrographische Aufbau des Borkener Hauptflözes in verschiedenen Abbaugebieten des Borkener Revieres. Profil des Tagebau Altenburg 3 nach PFLUG 1957





- 1 Tgb. Stockelache
- 2 Tgb. Altenburg 3
- 3 Tgb. Gombeth, PROFIL A
- 4 Tgb. Gombeth, PROFIL F
- 5 Brg. PREAG 3253
- 6 Tgb. Haarhausen 2
- 7 Tgb. Zimmerrode
- 8 Tgb. Schneppenhain

Relief-auffüllend. Das karbonatische Doppelband und die hangende Flözpartie sind demgegenüber sehr horizontbeständig.

Die Flözentwicklung im Tagebau Gombeth hat modellhaften Charakter für das gesamte Borkener Hauptflöz. Bei einer stark schwankenden Gesamtmächtigkeit wirken die Wasserkohle und die unteren Flözteile stets Relief-auffüllend, während die oberen Schichten sehr konstant ausgebildet sind. Die in den verschiedenen Tagebauen aufgenommenen Profile lassen sich horizontweise parallelisieren (Abb.8). Ein gutes Argument für die vorgenommene Parallelisierung bieten die im Flöz immer wieder in gleichen Niveaus auftretenden Wurzelböden. Ferner kann sie durch palynologische Befunde gestützt werden. Die von PFLUG (1957) im Tagebau Altenburg 3 (A3), MINNIGERODE (1981) im Tagebau Gombeth (Go) und WOLLENHAUPT (1980) im Tagebau Schnepenhain (Sh) profilmäßig erfaßte Verteilung der Sporomorphen zeigen parallel laufende Frequenzgänge der wichtigsten Gruppen (Abb.9). In Go und A3 treten hohe Palmenwerte erst im oberen Teil des Profiles auf. Demgegenüber werden schon an der Basis des Schnepenhainer Profiles Werte bis zu 40% erreicht. Die Maxima liegen in A3 und Sh bei 0m, 1 bis 1,3m und ca. 3m unter dem Flözhangenden. Die Myricaceen erreichen ihre Maxima in allen drei Profilen bei 1m und zwischen 2 und 2,5m sowie in Go und Sh bei ca. 0,3m unter dem Hangenden. Die Cupuliferen zeigen ihre Höchstwerte stets zwischen 1,6 und 2m unter dem Flözhangenden, wenn man davon ausgeht, daß der mit 30% sehr hohe Myricaceenwert bei 1,5m in A3 auf lokale Effekte zurückzuführen ist.

Aus der Flözentwicklung, die nach oben zunehmend konstanter wird, sowie aus der gleichmäßigen Veränderung der Vegetation ist zu ersehen, daß die Kohlebildung im gesamten untersuchten Verbreitungsgebiet des Hauptflözes nahezu zeitgleich abgeschlossen war. Somit bietet sich die Flözoberkante nicht nur lithologisch sondern auch zeitmäßig als Bezugshorizont für die Profilparallelisierung an. Da im Tagebau Haarhausen II und teilweise auch im Tagebau Zimmersrode das Flöz durch die Sande eines fluviatilen Rinnensystemes gekappt wurde, mußte die Einordnung dieser Profile innerhalb der Kohle vorgenommen werden. Als Leithorizont bot sich ein Abschnitt mit vorwiegend hellen und mittelhellen Kohlen an, der im Tagebau Gombeth das karbonatische Doppelband und die Schichten im darunterliegenden Profilmeter umfaßt. Er kommt in ähnlicher Ausbildung und Position in allen aufgenommenen Profilen vor.

In Bezug auf die Oberkante des Flözes zeichnet sich ein deutliches Relief des Untergrundes ab. Das "Hochgebiet" im Bereich nordöstlich und südlich der Stadt Borken (Gombeth Profil F, Bohrung Preag 3253) ist für das Ausdünnen des Flözes im Nordteil des Tiefbaus Stolzenbach bis unter die Abbaugrenze von 2m (vgl. FRIEDRICH 1981: Abb.1) verantwortlich zu machen. "Tiefgebiete" und somit die größten Flözmächtigkeiten liegen nordwestlich von Borken bis in den Bereich Ansbach-Kleinenglis (Altenburg I bis III, Stockelache) sowie südwestlich Borken im Raum Nassenerfurt-Haarhausen (Haarhausen I und II, Tiefbau Weingrund). Die geringe Mächtigkeit des Flözes im Tagebau Schnepenhain ist nicht, wie ursprünglich angenommen, auf eine beckenwärtige Position zurückzuführen, sondern auf die Hochlage im randlichen Verbreitungsgebiet der Kohle.

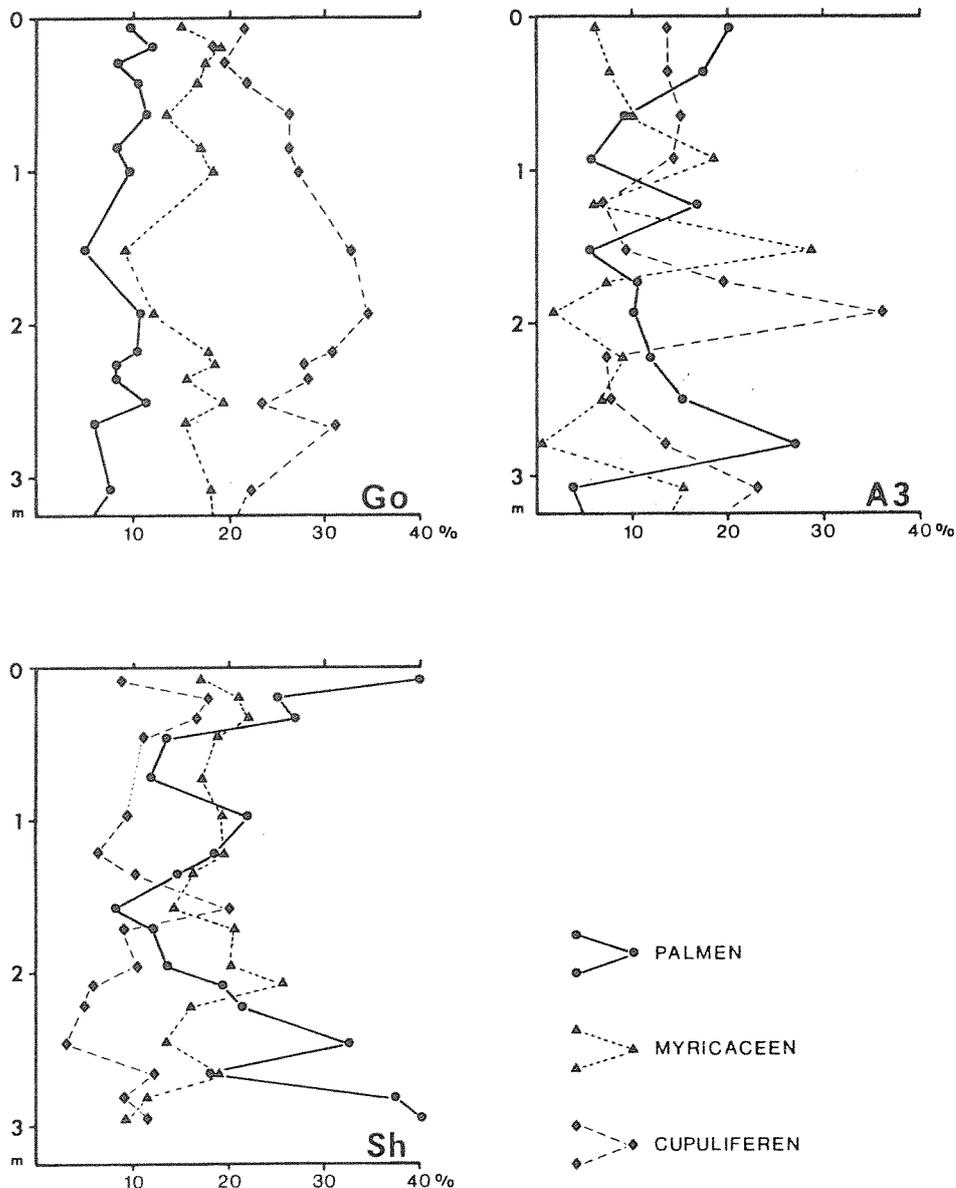


Abb. 9 Verteilung wichtiger Sporomorphen-Gruppen in den hangenden drei Metern des Borkener Hauptflözes der Tagebaue Gombeth (Go), Altenburg 3 (A3) und Schneppenhain (Sh)

Regionale Unterschiede in der Ausbildung des Flözes werden in erster Linie durch die Verbreitung der Mineralkohlen deutlich. So bleiben die karbonatischen Kohlen auf das Gebiet nördlich der Stadt Borken beschränkt. Südlich von Borken treten im gleichen Flözniveau sandige Lithotypen auf. Als Ursache für diese Trennung ist die unterschiedliche Lithologie der Gesteine im Einzugsgebiet der dem Moor zufließenden Gewässer anzusehen. Wie schon in Kap. II.1. angeführt, zeigt sich im Verbreitungsgebiet des Borkener Hauptflözes in Bezug auf die Tertiärbasis ein allgemeines Einfallen der Triasschichten in Richtung Norden. Südlich von Borken bilden geringmächtiges Röt und Mittlerer Buntsandstein das Liegende der tertiären Schichtenfolge. Die gleichen Gesteine dürften hier während des Eozän auch in der Umgebung des Moores angestanden haben, wodurch der Sandgehalt der Mineralkohlen auf die Verwitterungsprodukte der Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins zurückgeführt werden kann. Aus dem allgemeinen Schichteinfallen resultiert die starke Mächtigkeitzunahme des Röts im Bereich nördlich Borken, so daß hier in der Umgebung des Moores

während des Eozäns Gesteine des Muschelkalk anzunehmen sind, die noch heute im Bereich des Homberg - Lendorfer - Grabens die Basis des Tertiärs bilden. Die Lösungsfracht der aus den Kalkgebieten stammenden Wasser wurde im Moor ausgefällt, so daß es zeitweilig zur Bildung von karbonatischen Kohlen kam.

Die zur Flözparallelisierung herangezogenen Wurzelböden treten am angetrockneten Stoß sehr auffällig in Erscheinung, da die Wurzelbahnen mit hellem Kaolinton gefüllt sind. Die Ansprache der Tonstränge als Wurzelbahnen liegt in ihrer typischen Morphologie begründet. Sie setzen in einem scharf begrenzten Niveau an, sind oben dick, verjüngen und verzweigen sich nach unten. Der Prozess der Verdrängung bzw. Mineralisierung des Wurzelgewebes durch Kaolinit, der hier stattgefunden haben muß, ist an Xylitbruchstücken aus der Kohle von Viehhausen/Obpf. zu beobachten. Er läßt sich in drei Phasen gliedern:

- Ausfüllen der offenen Zellumen durch Kaolinit (Taf. 2, Fig. 1)
- sukzessive Verdrängung der Zellwände durch Kaolinit (Taf. 2, Fig. 2)
- allmählicher Verlust der auch im Ton noch erkennbaren Gewebestruktur bis zur vollständigen Homogenisierung des Tones

Seit langem ist von den Kohlentonsteinen, die weit verbreitet in paläozoischen Kohlen auftreten, bekannt, daß eine Mineralisierung bevorzugt in intakten Gewebestrukturen beginnt. Auch hier werden zunächst die offenen Zellumen gefüllt, während der umgebende Detritus von der Mineralisierung nicht betroffen wird (z.B. BURGER 1982: Abb.3). Auch in der Hirschberger Kohle sind nur die Stubben von der Verkieselung betroffen, nicht die umgebende Kohle. So ist es verständlich, daß auch in der Borkener Kohle die intakten Gewebverbände der Wurzeln und nicht der umgebende detritische Torf von Verwitterungslösungen infiltriert wurden. Die Lösungen sind aus den Verwitterungsprodukten der Röttonsteine zu beziehen, die nach BÜHMANN & RITZKOWSKI (1977) aus Quarz, Kaolinit und Illit bestehen. Die Mineralogie der Tone in den Wurzelbahnen wird dadurch bestimmt, daß von der Tonmineralassoziation Kaolinit + Illit im sauren Milieu eines Torfmooses lediglich der Kaolinit stabil ist (BURGHARDT 1966).

Entsprechend der makroskopischen Gewebearmut sind die Mazerale der Humotelinit-Gruppe auch an der mikropetrographischen Zusammensetzung nur untergeordnet beteiligt (Abb.10). Lediglich in den Gewebegrundmassenkohlen werden Werte über 10% erreicht. Aber auch hier sind größere Gewebereste sehr selten. Meist sind nur wenige zusammenhängende Zellen erhalten. Hauptbestandteile der Kohle sind mit einem Anteil von durchschnittlich 80% grundmassebildende Mazerale. Hierbei handelt es sich bei den schwarzen und dunklen Lithotypen fast ausschließlich um Humodetrinit. In den schwarzen Kohlen überwiegt die vergelte Modifikation, der Densinit, in den dunklen die unvergelte, der Attrinit. Densinit bildet stets den dominierenden Bestandteil der gewebereicheren Lithotypen. Der Attrinit der Borkener Kohle ist durch seine extreme Feinkörnigkeit charakterisiert, was ihn zum Beispiel vom Attrinit der Rheinischen Braunkohle unterscheidet. Er zeigt keine oder nur eine schwache Fluoreszenz. Zellwandbruchstücke bilden nur einen geringen Teil des Attrinites der Borkener Kohle. In der Regel besteht er aus einem lockeren Humusgel.

## GOMBETH

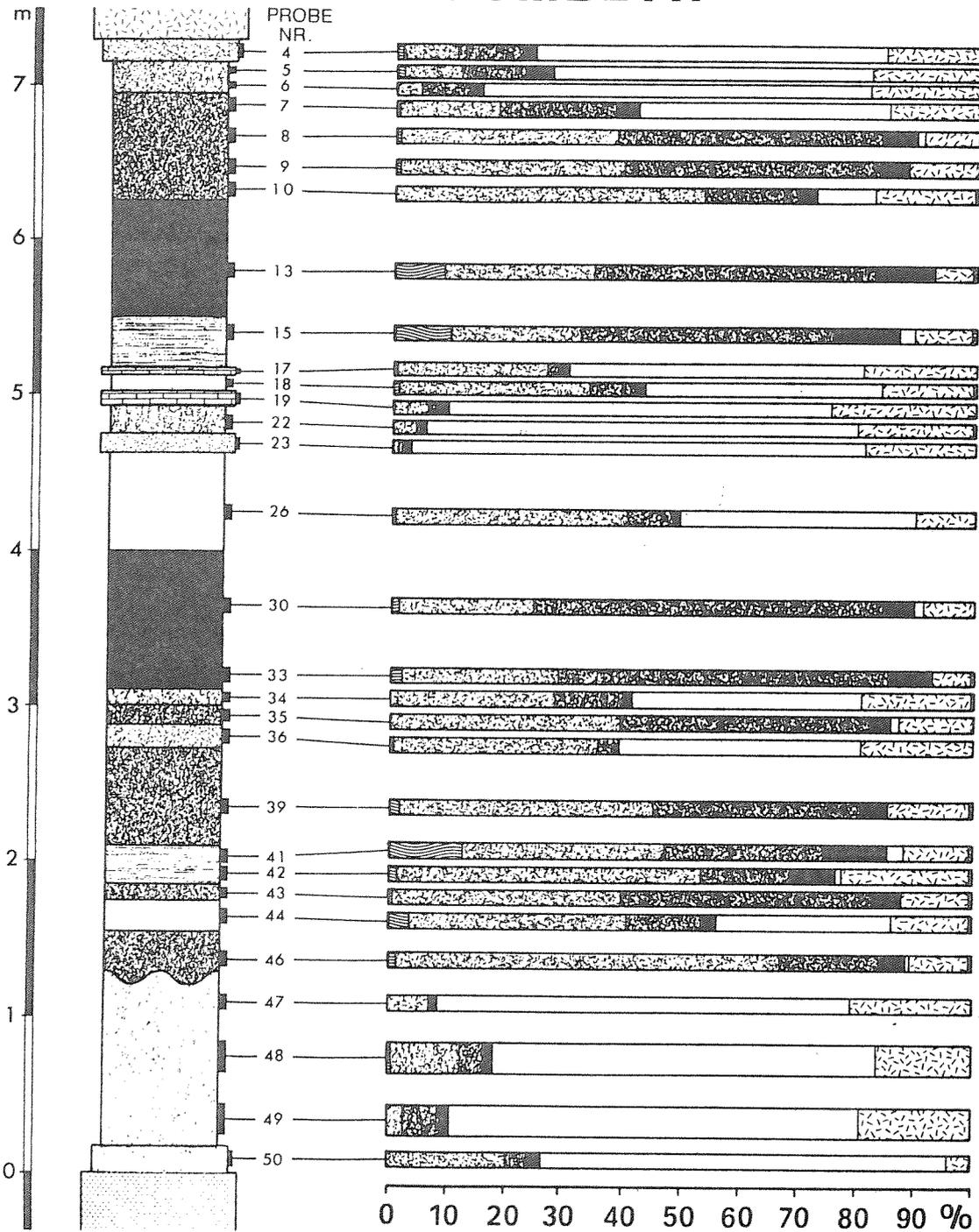


Abb. 10 Petrographie des Borkener Hauptflözes im Tagebau Gombeth der Grube Altenburg.  
Legende: siehe Abb. 8

Im Gegensatz zum Humodetrinit zeichnet sich die Grundmasse der hellen Schichten durch eine deutliche Fluoreszenz aus. Ihr Habitus reicht von extrem feinkörnig über schaumig-porös bis strukturlos. In Richtung auf die strukturlose Varietät erhöht sich das Fluoreszenzvermögen kontinuierlich. Die feinkörnigen Anteile der "stark fluoreszierenden Grundmasse" zeigen Übergänge zum Attrinit, woraus sich gewisse Unstetigkeiten in der Mazeralkbestimmung ergeben. Die weitaus häufigeren schaumig-porösen und strukturlosen Anteile lassen sich aber eindeutig gegen den Attrinit abgrenzen. Aufgrund ihrer optischen Eigenschaften steht das Mazeralk bzw. Mazeralgemisch der "stark fluoreszierenden Grundmasse" den Mazeralken der Liptinit-Gruppe nahe. Aus diesem Grunde wurde es noch von KLEIN-REESINK, RIEGEL & SCHAUB (1982) zur Liptinit-Gruppe gestellt. Da aber die chemischen Eigenschaften zwischen denen der Liptinite und denen der Huminite vermitteln (s.u.), soll die "stark fluoreszierende Grundmasse" keiner Mazeralk-Gruppe zugeordnet werden.

Mazerale der Humocollinit-Subgruppe treten in der Borkener Kohle nur untergeordnet auf. Eine gewisse Anreicherung ist in den Humotelinit-reicheren Lithotypen zu erkennen. Sie ist darauf zurückzuführen, daß es sich häufig um Zellfüllungen (Corpohuminite) handelt; Spaltenfüllungen durch Gele wurden nur selten beobachtet.

Der Liptinit-Gruppe zuzuordnende Bestandteile machen im Schnitt einen Anteil von etwa 20% aus. Die Gehalte an Sporinit, Cutinit, Resinit und Suberinit schwanken vollkommen unabhängig von der Lithotypenbildung. Im Gegensatz dazu ist der Liptodetrinit in den hellen Lithotypen im allgemeinen leicht angereichert. Mit der Feinkörnigkeit der Grundmasse nimmt also auch die Feinkörnigkeit der liptinitischen Einlagerungen zu. Die relativ leicht zersetzlichen Liptinite Alginite und Chlorophyllinit scheinen nach den bisherigen Beobachtungen in der Borkener Kohle vollkommen zu fehlen.

Inertinite sind in der Borkener Kohle nahezu bedeutungslos. Ihr Anteil liegt stets unter 1% und ist größtenteils auf Sclerotinit zurückzuführen. Eng an das Vorkommen der Sclerotinite gekoppelt sind geringe Inertodetrinit-Gehalte. Die Inertinite treten nahezu ausschließlich in dunklen und schwarzen Kohlen auf.

Die profilmäßige Untersuchung der Borkener Kohle zeigt, daß die mikropetrographische Zusammensetzung der Lithotypen eng mit ihrer makroskopischen Ausbildung korreliert ist. Der Wechsel zwischen Grundmassenkohlen und Gewebegrundmassenkohlen spiegelt sich in wechselnden Gehalten an Humoteliniten wieder. Die deutlichen Farbunterschiede gehen auf unterschiedliche Grundmasse-bildende Bestandteile zurück. Für schwarze Kohlen ist Densinit und für dunkle Attrinit der charakteristische Bestandteil. Helle und mittelhelle Kohlen zeichnen sich durch hohe Anteile an "stark fluoreszierender Grundmasse" aus. Nur die Wasserkohle (massige helle Grundmassenkohle) kann mikroskopisch nicht von anderen hellen Grundmassenkohlen unterschieden werden.

### III.3. PETROGRAPHIE DES OSTHEIMER HAUPTFLÖZES

Im Vergleich zu Borken erscheint die Ostheimer Kohle am Stoß zunächst wesentlich homogener. Deutliche Farbunterschiede fehlen weitgehend; lediglich in der Flözmitte hebt sich ein helles Doppelband heraus. Im übrigen wechseln die Helligkeitsabstufungen nur zwischen feinen Nuancierungen, die alle den dunklen Kohlen des Borkener Flözes entsprechen. Den auffälligsten Horizont innerhalb des Tagebaus stellt eine aufgrund ihres Schluffgehaltes deutlich heller anwitternde Mineralkohle am Top des unteren Flözmittels dar. Entgegen dem ersten Eindruck, kann das Ostheimer Flöz aufgrund stark wechselnder Gewebe- und Xylitanteile weiter untergliedert werden.

Es beginnt mit einem mehrere Meter mächtigen Abschnitt Xylitischer Kohlen, der durch hohe Fusitanteile gekennzeichnet ist. Weitere xylitische Lagen finden sich wenig oberhalb der schluffigen Mineralkohle sowie ca. 2m unter der Flözoberkante (Abb.11). Innerhalb der oberen Lage konnten mehrfach Stubbenhorizonte beobachtet werden. Auch in den übrigen Xylitischen Kohlen kommen vereinzelt Stubben vor. Gewebegrundmassenkohlen treten in der Umgebung der schluffigen Lage sowie in einem rund 2m mächtigen Horizont bei etwa 1/3 unter dem Flöztop auf. Der Rest des Flözes wird von dunklen Grundmassenkohlen aufgebaut.

In der Gewebegrundmassenkohle im unmittelbar Liegenden des schluffigen Bandes wurde eine ungewöhnlich gewebereiche Schicht (Lagenkohle) entdeckt, die sich durch gut erhaltene Blätter und Samen auszeichnet (vgl. KLEIN-REESINK, RIEGEL & SCHULZ 1982, GREGOR & KLEIN-REESINK 1984). Sie konnte in einer Mächtigkeit von maximal 5cm über mehrere Meter verfolgt werden. Am ausgetrockneten Stoß hebt sie sich durch ihre intensive Vergelung deutlich von der umgebenden Gewebegrundmassenkohle ab. Die in dieser Schicht enthaltenen Samen weisen eindeutig auf eine Riedmoorbildung hin (GREGOR & KLEIN-REESINK 1984).

Das Flöz zeigt über weite Bereiche des Tagebaus einen gleichförmigen Aufbau. Mit geringen Mächtigkeitsschwankungen sind die schluffige Mineralkohle, das helle Doppelband und die Xylitische Kohle mit Stubbenhorizonten als Leithorizonte zu verfolgen. Da der Tagebau Ostheim derzeit der einzige Aufschluß im Verbreitungsgebiet des Flözes ist, konnten regionale Änderungen nicht untersucht werden.

Mit Ausnahme des hellen Doppelbandes in der Flözmitte, das extrem gewebearm ist und somit den hellen Lithotypen der Borkener Kohle entspricht, variieren die Helligkeitsnuancierungen in der Ostheimer Kohle unabhängig von der Gewebeführung (vgl. KLEIN-REESINK, RIEGEL & SCHAUB 1982: Abb.6). Sieht man von der Blatt- und Samenlage ab, fehlen schwarze Lithotypen. Gegenüber der Borkener Kohle unterscheidet sich die Ostheimer somit durch ein starkes Zurücktreten der Helligkeitsunterschiede, eine Zunahme an gewebereichen Lithotypen sowie durch das Auftreten von Xylitischen Kohlen. Grundmassenkohlen bleiben aber auch hier der dominierende Lithotyp. Im mittleren Profilteil ist die für die Borkener Kohle typische Aufeinanderfolge von Lithotypen wiederzuerkennen. Auf gewebereiche Xylitische Kohlen und Gewebegrundmassenkohlen folgen zunächst dunkle Grundmassenkohlen und schließlich am Top der Abfolge ein helles Doppelband.

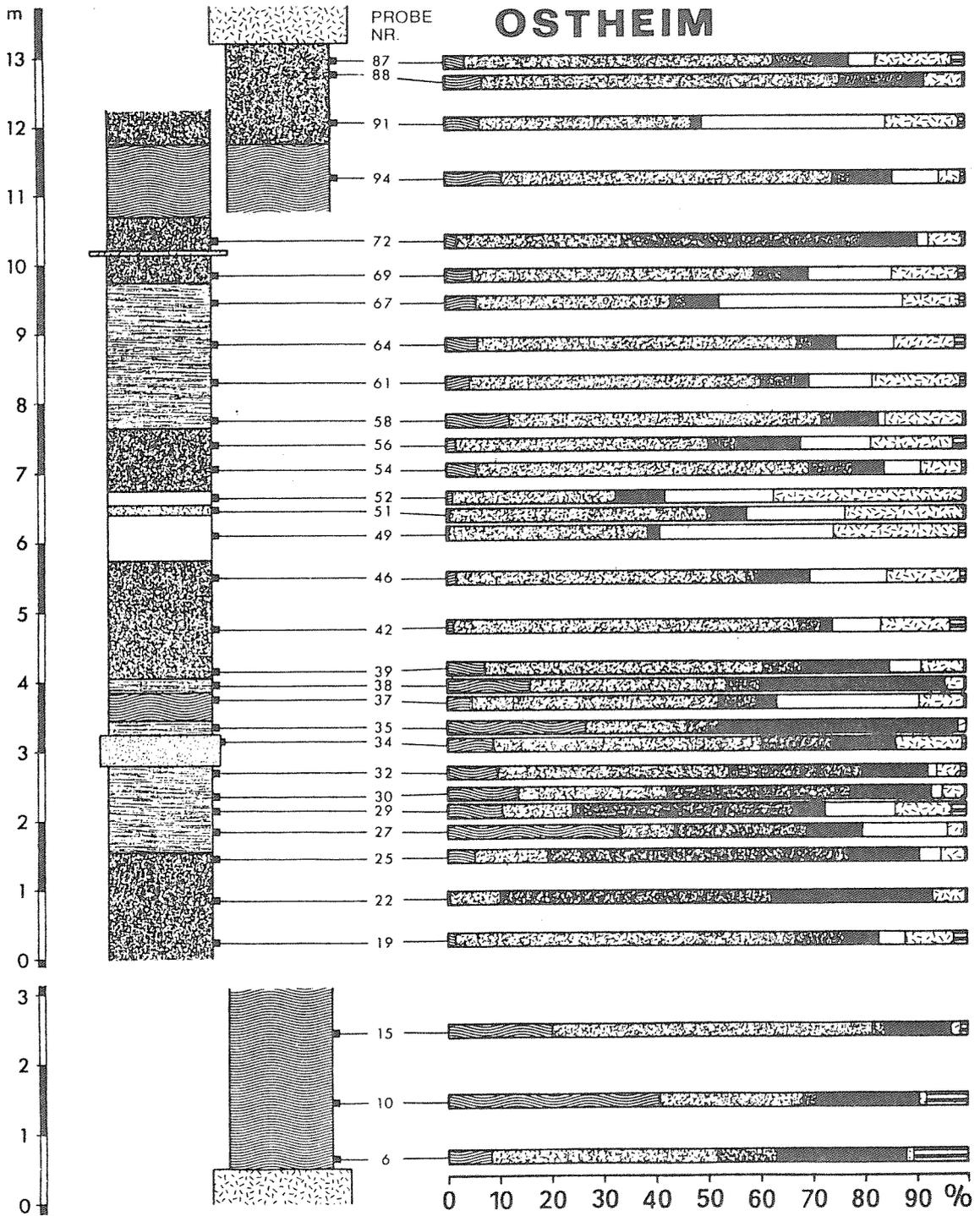


Abb. 11 Petrographie des Ostheimer Hauptflözes im Tagebau Ostheim der Grube Altenburg.  
 Legende: siehe Abb. 8

Entsprechend dem häufigeren Auftreten gewebereicherer Lithotypen spielen die Mazerale der Humotelinit-Gruppe in Ostheim auch im mikroskopischen Bild eine größere Rolle (Abb.11). Sie sind in den Gewebegrundmassenkohlen und Xylitischen Kohlen angereichert und können Werte bis zu 40% erreichen. Aber auch die Grundmassenkohlen haben im Schnitt noch Telinit-Gehalte von 5%. Deutlich Telinit-ärmer sind nur die Grundmassenkohlen in der Flözmitte. Im Vergleich zur Borkener Kohle sind die Gewebereste nicht nur häufiger, sondern im allgemeinen auch besser erhalten. So treten häufig größere, zusammenhängende Zellverbände auf. Einzelzellen und Verbände von wenigen Zellen machen nur einen geringen Anteil am Humotelinit-Gehalt aus.

Fast durch das gesamte Flöz ist Attrinit der dominierende Bestandteil. Die vergelte Form des Humodetrinit, Densinit, überwiegt nur in einzelnen geringmächtigen Lagen. Der Attrinit der Ostheimer Kohle ist insgesamt etwas grobkörniger als der der Borkener. Einzelne figurierte Partikel lassen noch deutlich ihre Herkunft aus Geweben erkennen. Diese Zellwandbruchstücke zeigen wie ein Teil der unvergellten Humotelinite Fluoreszenz. Hierdurch wird deutlich, daß der Attrinit der Ostheimer Kohle chemisch weniger verändert worden ist als der Attrinit der Borkener Kohle.

Die Humocollinite sind in Ostheim wesentlich stärker vertreten als in Borken. Sie können in einzelnen Lagen Werte über 40% erreichen. Wie in Borken ist eine positive Korrelation zu den Humoteliniten zu erkennen. Im Gegensatz zu Borken werden hohe Werte aber im wesentlichen durch Gelinit verursacht.

Die "stark fluoreszierende Grundmasse" tritt gegenüber den Mazeralen der Humodetrinit-Gruppe deutlich zurück. Höhere Werte sind auf den mittleren Flözbereich beschränkt. Auch die Mazerale der Liptinit-Gruppe sind im mittleren Flözbereich angereichert. Insbesondere das helle Doppelband zeichnet sich durch Werte von 25 bis 35% aus, die im wesentlichen auf Liptodetrinit und im oberen Band auch auf Resinit zurückgehen. Der hohe Resinitwert ist an die stärker gewebeführende Lage gebunden, was durch die Herkunft der Resinite aus primären Zellfüllungen relativ schwer zersetzlicher Hölzer zu erklären ist - beim Abbau harzführender Gewebe reichern sich die Resinite aufgrund ihrer höheren Zersetzungsresistenz in der Grundmasse an. Die Resinite weisen meist deutliche Oxidationssäume auf.

Die Inertinit-Gehalte sind in der Ostheimer Kohle zwar nicht hoch aber gegenüber der Borkener Kohle deutlich erhöht. Dies geht in den basalen Flözteilen auf die Häufigkeit des Fusinit und in den höheren Flözteilen auf das vermehrte Vorkommen von Sclerotinit zurück. Im Schnitt liegen die Werte zwischen 1 und 4%, steigen aber in den Fusit-reichen Xylitischen Kohlen bis auf über 10% an.

Wie in Borken zeigt sich insgesamt eine gute Korrelation zwischen der makroskopischen Lithotypenansprache und der mikropetrographischen Zusammensetzung der einzelnen Schichten. Der Aufeinanderfolge von Xylitischen Kohlen, Gewebegrundmassenkohlen und Grundmassenkohlen geht eine Abnahme der Humotelinit-Gehalte parallel. Der geringe Kontrast in den Helligkeitsabstufungen ist auf das deutliche Zurücktreten der "stark fluoreszierenden Grundmasse" zurückzuführen, die offensichtlich der entscheidende Farbträger der hellen Schichten in Borken ist. Obwohl in beiden Lagerstätten Makro- und Mikropetrographie eng mitein-

ander korreliert sind, kann auf mikropetrographische Untersuchungen nicht verzichtet werden. Dunkle Grundmassenkohlen zum Beispiel sind zwar sowohl in Borken als auch in Ostheim Attrinit-betont, unter dem Begriff Attrinit verbergen sich aber strukturell durchaus verschiedene Bestandteile. Zudem sind die dunklen Grundmassenkohlen in Ostheim deutlich Telinit-reicher als die in Borken. Solche Unterschiede sind nicht nur in genetischer Hinsicht interessant, sondern dürften auch bei der technologischen Verwertbarkeit der Kohlen von Bedeutung sein.

#### III.4. PETROGRAPHIE DES FLÖZES III VOM HIRSCHBERG

Flöz III vom Hirschberg war während der Profilaufnahme in einer Mächtigkeit von 27m aufgeschlossen, ohne daß die Basis erreicht war (Abb.12). Es wird durch zwei mineralisch stark verunreinigte Horizonte, das Lebererz und das Sandstreifenmittel in Unter-, Mittel- und Oberbank gegliedert (STECKHAN 1952, PLEIN 1952). Beide werden im Tiefbau als Leithorizonte für den Streckenvortrieb benutzt. Das Lebererz wird an der Basis teilweise von einem Sandmittel begleitet. Es besteht aus einer tonigen Mineralkohle, die im unteren Teil gewebearm ist. Nach oben nimmt die Gewebeführung zu. Häufig ist die Mineralkohle von schmalen Sandstreifen durchsetzt. Das Lebererz wurde schon ab 1650 zur Alaungewinnung abgebaut, während die Brennstoffgewinnung am Hirschberg erst 100 Jahre später begann (WAITZ v. ESCHEN & STRIPPELMANN 1828, SCHRÖDER 1978). Es erreicht im Tagebau Paradiesfeld eine Mächtigkeit von über 2m und wird an der Basis von einem 1,5m mächtigen Sandmittel begleitet. Das Sandstreifenmittel, das die Mittel- von der Oberbank teilt, ist eine sandige, gewebearme Mineralkohle. Der Sand ist auf einzelnen Schichtflächen stark angereichert, wodurch er im Querbruch in Form dünner Sandstreifen erscheint. Die Mächtigkeit des Mittels beträgt im untersuchten Tagebau wenige Zentimeter bis zwei Dezimeter.

Die über 8m mächtige Unterbank des Flözes III besteht im wesentlichen aus Xylitischen Kohlen. Die Matrix dieser Kohlen ist meist sehr gewebereich. Häufig sind gut erhaltene Blatt- und Nadelabdrücke zu erkennen. Von Koniferennadeln sind zum Teil nur die Harzkanäle erhalten. Bei den Xyliten handelt es sich meist um Bruchstücke. Seltener kommen waagrecht liegende Stämme und vereinzelt auch aufrecht stehende Stubben vor. Die Stubben sind häufig vollständig verkieselt und bereiten beim maschinellen Kohleabbau erhebliche Schwierigkeiten. Eingeschaltet in die Xylitischen Kohlen findet sich etwa 5m unter dem Lebererz ein 1,5m mächtiger nahezu Xylit-freier Horizont. Er wird von gut geschichteten, gewebereichen Lithotypen aufgebaut.

Die Mittelbank des Flözes ist bei einer Mächtigkeit von ca. 8m sehr homogen ausgebildet. Sie besteht ausschließlich aus Gewebegrundmassenkohlen. Geringe, nur bei guten Lichtverhältnissen sichtbare Helligkeitsnuancierungen sind nicht horizontbeständig und somit nicht zur Untergliederung zu benutzen. Wahrscheinlich sind sie auf Austrocknungsunterschiede am Stoß zurückzuführen.

Stärker gegliedert ist die mehr als 7m mächtige Oberbank. Sie beginnt mit gut geschichteten, gewebereichen Kohlen. In der Mitte befindet sich ein etwas über 1m mächtiger, xylitreicher Horizont, in dem vereinzelt kleine Stubben beobachtet wurden. Der Xylithorizont wird von ca. 3m mächtigen Gewebegrundmassenkohlen überlagert, die nach oben in eine tonige Mineralkohle übergehen. Die Xylitischen Kohlen am Top des Flözes werden von den hangenden Sanden erosiv gekappt. Die Kohlen der Oberbank weisen eine horizontbeständige Helligkeitsnuancierung auf, die der der Ostheimer Kohle entspricht. Wie in Ostheim variiert sie unabhängig von der Gewebeführung der einzelnen Schichten.

Auf eine Stoßkartierung wurde wegen der nur geringen Aufschlußbreite auf der untersten Sohle des Tagebaues Paradiesfeld verzichtet. Zudem ist das Flöz über alten Tiefbaustrecken zum Teil erheblich verstürzt. Das Auftreten des Lebererzes und des Sandstreifenmittels in allen bisherigen Abbaugebieten deutet aber darauf hin, daß das Flöz über weite Erstreckung ähnlich ausgebildet ist.

Im Vergleich zu Borken und Ostheim treten Grundmassenkohlen am Hirschberg stark in den Hintergrund. Dominierend sind hier Gewebegrundmassenkohlen. Daneben sind auch Xylitische Kohlen weitaus häufiger. Die stärkere Gewebeführung wird noch dadurch betont, daß Gewebekohlen vorkommen. Helligkeitsnuancierungen, die in Ostheim noch das gesamte Flöz betreffen, sind am Hirschberg auf die Oberbank beschränkt. Helle Kohlen, die denen der Borkener entsprechen würden, fehlen ganz.

Ein interessanter Aspekt der Hirschberger Kohle ergibt sich daraus, daß das Flöz vom Basalt des Hirschberges durchsetzt wird (Abb.3). Der Kontakt Kohle - Basalt konnte sowohl im Tagebau Paradiesfeld als auch in einer Förderstrecke des Tiefbaus der Zeche Hirschberg beobachtet werden. Die Veredelung der Braunkohle bis zur sog. Stengelkohle ist auf eine nur sehr schmale Kontaktzone beschränkt, die in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Basaltgänge nur einige Millimeter bis wenige Dezimeter breit ist. Auch am Hohen Meißner beträgt die Mächtigkeit der Stengelkohle nur 0,5 bis 1,5m, obwohl das Flöz von einer bis zu 150m mächtigen Basaltdecke überlagert wird (FÜHRERS 1982). Ähnlich begrenzte Kontaktwirkungen wurden von BOSTICK (1973: 184) an Phytoklasten aus kretazischen und eozänen Schiefen und Siltsteinen beobachtet.

An die Stengelkohle schließt sich eine Dezimeter bis einige Meter breite Zone stärkerer Vergelung an, die mit zunehmender Entfernung vom Basaltkontakt allmählich ausklingt. Lediglich die Xylite sind auch in größerer Entfernung noch intensiv vergelt. Die thermische Beeinflussung der Kohle durch den Basalt macht sich weiterhin durch das Auftreten von schwarzen, stark glänzenden Harzkugeln bemerkbar (vgl. PRAUS 1980: 80), die auch aus anderen, thermisch beeinflussten Braunkohlen bekannt sind (STACH et al. 1975: 86). Nach einem Vorkommen in der Nähe der Stadt Dux in Böhmen werden sie als Duxit bezeichnet. Duxit besteht aus Harzen, die unter dem Einfluß der vulkanischen Wärme aus der Kohle herausgeschmolzen und in kühleren Zonen sowohl innerhalb der Kohle, als auch im Nebengestein wieder ausgeschieden wurden.

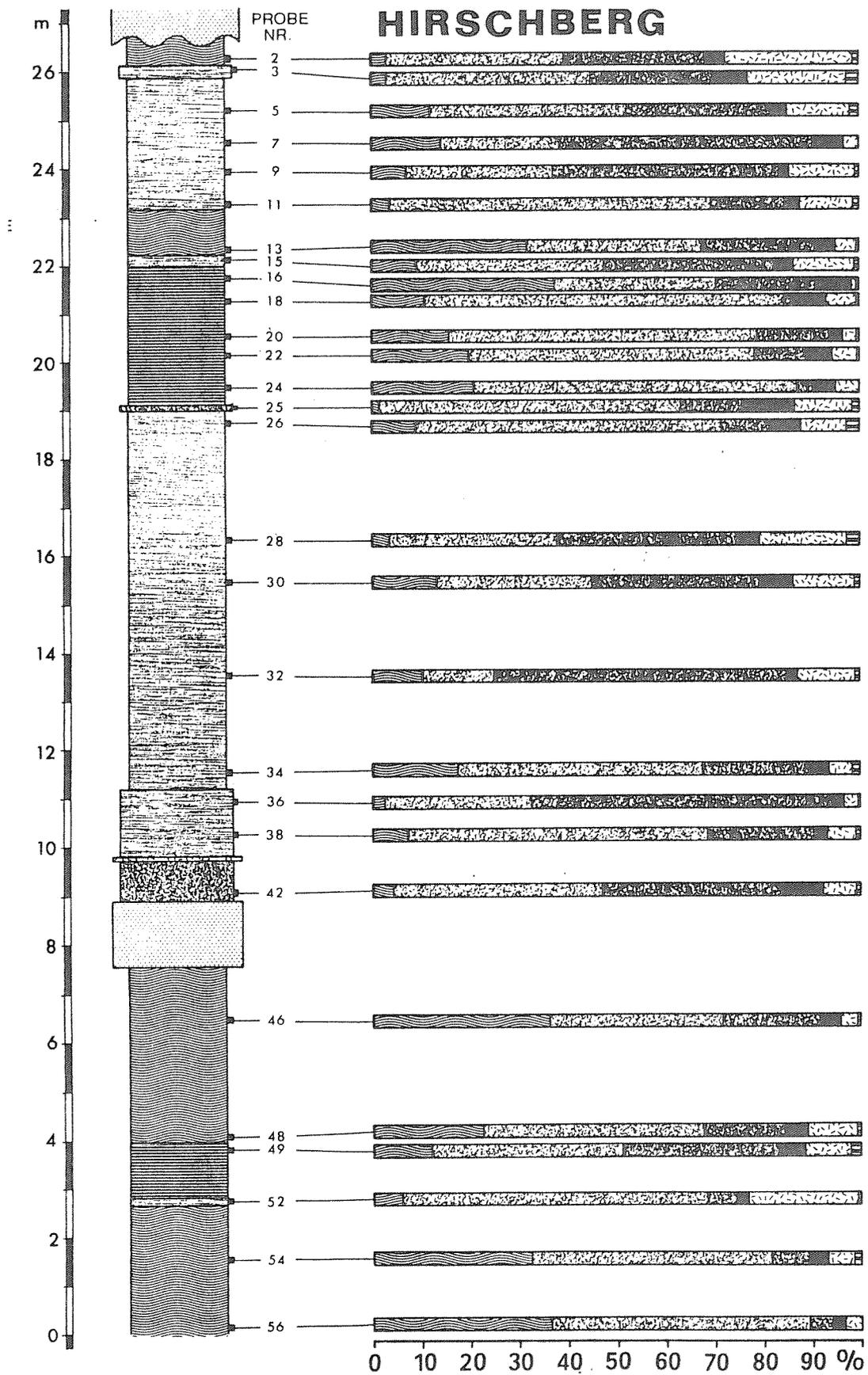


Abb. 12 Petrographie des Flözes III der Hirschberger Braunkohle im Tagebau Paradiesfeld der Zeche Hirschberg. Legende: siehe Abb. 8

Mikropetrographisch ist die Hirschberger Kohle durch relativ hohe Humotelinit-Gehalte gekennzeichnet. Die Werte überschreiten in der Unter- und Oberbank zum Teil 30%, während sie in der Mittelbank um 10% schwanken. Wie in der Ostheimer Kohle sind die Gewebereste recht gut erhalten. Größere Reste, bevorzugt aus Xylitischen Kohlen, sind häufig als Koniferenhölzer erkennbar. Die Grundmasse wird von Humodetrinit gebildet. In den Xylitischen Kohlen und den Gewebekohlen überwiegt der Attrinit, der hier meist aus Zellwandbruchstücken besteht. In den Gewebegrundmassenkohlen ist die Grundmasse im allgemeinen stärker vergelt. Meist überwiegt der Densinit den Attrinit, aber auch der Attrinit besteht nicht mehr überwiegend aus Zellwandbruchstücken, sondern aus einem lockeren Humusgel. Humocolinite sind mit Anteilen von 5 bis 10% am Aufbau der Kohle beteiligt. Eine Abhängigkeit zwischen ihrer Häufigkeit und den Lithotypen ist nicht zu erkennen.

Liptinite machen 5 bis 25% der organischen Substanz der Hirschberger Kohle aus. Es besteht eine deutliche, negative Korrelation zwischen der Häufigkeit der Liptinite und der Häufigkeit der Humotelinite, die zeigt, daß zunehmende Destruktion der humosen Substanz zu einer selektiven Anreicherung der zersetzungsresistenteren Liptinite führt. Besonders deutlich wird dies in der Liptinit-reichsten Lage der Kohle am Top von Flöz III. Als Ursache für diese Anreicherung kann die mit der Erosionsphase zu Beginn der Ablagerung der hangenden Sande verbundene Verwitterung angenommen werden. Auch die Liptinite selber sind von der Destruktion betroffen, denn sie wurden zum weitaus überwiegenden Teil zu Liptodetrinit zersetzt.

Die Mazerale der Inertinit-Gruppe sind regelmäßige Bestandteile der Hirschberger Kohle. Die Werte übersteigen aber kaum 2% und gehen meist auf Sclerotinit zurück. Eine ebene Mikroschichtung und hohe Pyritgehalte sind neben dem Tonreichtum die kennzeichnenden Merkmale der Mineralkohlen aus dem Lebererzhorizont. Die humosen Grundmassebestandteile Attrinit, der hier meist in Form eines lockeren Humusgels vorliegt, und Densinit sind innig mit den mineralischen Komponenten verwachsen. Die Menge und die Zusammensetzung der Bestandteile aus der Liptinit- und der Inertinit-Gruppe entsprechen im Lebererz dem durchschnittlichen Bild der Hirschberger Kohlen.

Im Vergleich zu Borken und Ostheim ist die Hirschberger Kohle durch höhere Humotelinit-Gehalte gekennzeichnet. Die höchsten Gehalte sind an die Xylitischen Kohlen und an die Gewebekohlen gebunden. Die "stark fluoreszierende Grundmasse" tritt nicht auf. Demzufolge sind auch keine deutlichen Helligkeitsunterschiede ausgebildet. Der vergleichsweise niedrige Destruktionsgrad der Hirschberger Kohle wird noch dadurch betont, daß die Bedeutung der Zellwandbruchstücke in der Grundmasse zugenommen hat, wodurch der Attrinit grobkörniger erscheint. Infolge der geringeren Destruktion der humosen Bestandteile machen die Liptinite insgesamt einen geringeren Anteil aus als in der Borkener und Ostheimer Kohle.

III.5. P E T R O G R A P H I E   D E R   S C H W A N D O R F E R   B R A U N K O H L E  
I M   T A G E B A U   V I Z T H U M   D E S   G R U B E N F E L D E S  
R A U B E R W E I H E R

Aufgrund der geologischen Rahmenbedingungen kann für die Kohle von Rauberweiher kein Standardprofil angegeben werden. Verursacht durch die bei der Flözbildung vorgegebene, steilwandige Hohlform verändern sich die Profile vom Zentrum der Rinnen in Richtung auf die Flanken rasch. Die folgenden Erläuterungen beziehen sich auf ein Profil, das im Tagebau Vizthum in dem Bereich aufgenommen wurde, in dem am Stoß die größte Flözmächtigkeit aufgeschlossen war (s. Abb. 4).

Das Hauptzwischenmittel, das in großen Teilen des Schwandorfer Revieres zur Untergliederung der Kohle in Unter- und Oberflöz herangezogen wird, ist im Tagebau Vizthum nicht ausgebildet. Dies ist auf die große Entfernung der Vizthumer Seitenrinne vom Haupttal des Urnaab-Systems zurückzuführen (vgl. TILLMAN 1964: Abb. 31). Zur Untergliederung der Kohle können aber zwei Horizonte herangezogen werden, die als Diatomeenkohlen bezeichnet werden (z.B. RIEGEL 1981). Sie treten im Profil des Tagebaus Vizthum bei 6m und 18m über der Tagebausohle auf und unterteilen das Flöz in einen Liegend-, Mittel- und Hangendteil (Abb. 13). Der Name geht auf eine reiche Diatomeenflora zurück. Daneben kommen in diesen Kohlen auch Schwammreste häufig vor. Schon bei geringer Vergrößerung (Lupe) sind monaxone Megaskleren zu erkennen. Petrographisch werden die Diatomeenkohlen als tonige Mineralkohlen klassifiziert. Sie sind am angewitterten Stoß durch ihre grünliche Farbe leicht auszumachen. Auffallend sind eine regelmäßige Feinschichtung sowie eine enge Verzahnung mit geringmächtigen Ton- und Schluffmitteln. Das limnische Entstehungsmilieu der Diatomeenkohlen ist durch den Phytoplanktonreichtum sowie den Fund eines Fisches gut belegt (RIEGEL 1981: 20). Sie stellen somit ein limnisches Endglied in der Sukzession der Moorfazies dar.

Der **L i e g e n d t e i l** des Vizthumer Flözes besteht aus einer Kohle - Ton Wechselfolge. Die Tone enthalten Xylitbruchstücke und sind meist von Kohleflasern und kohligen Schlieren durchsetzt. Die Kohlen sind im allgemeinen holzreich (Xylitische Kohlen), wobei neben Stämmen vereinzelt auch Stubben vorkommen. Die Matrix dieser Kohlen ist gewebebetont. Zum Hangenden werden die Kohlen zunehmend Xylit-ärmer bis im unmittelbar Liegenden der unteren Diatomeenkohle nahezu xylitfreie Diatomeenkohlen auftreten. Markant ist ein Fusithorizont, der 1,5m über der Tagebausohle ausgebildet ist.

Auch der ca. 12m mächtige **M i t t e l t e i l** des Flözes besteht überwiegend aus Xylitischen Kohlen. Größere Xylite (wie Stämme) sind meist schichtparallel eingeregelt. Lediglich im oberen Abschnitt des mittleren Profilverteils treten sie in wirrer Lagerung auf, was auf die dort häufigen Stubben zurückgeht, die eine Einregelung behindern. Die Matrix der Xylitischen Kohlen ist im Makroaspekt überwiegend recht gewebearm. Xylit-arme Kohlen treten in größerer Mächtigkeit nur im Bereich 1 bis 3m über der unteren Diatomeenkohle auf. Der mittlere Profilverteil zeichnet sich durch einige markante Fusithorizonte aus, die im Profil bei 7,5m, 12,5m, 16,5m und 18m liegen. Sie konnten am Stoß

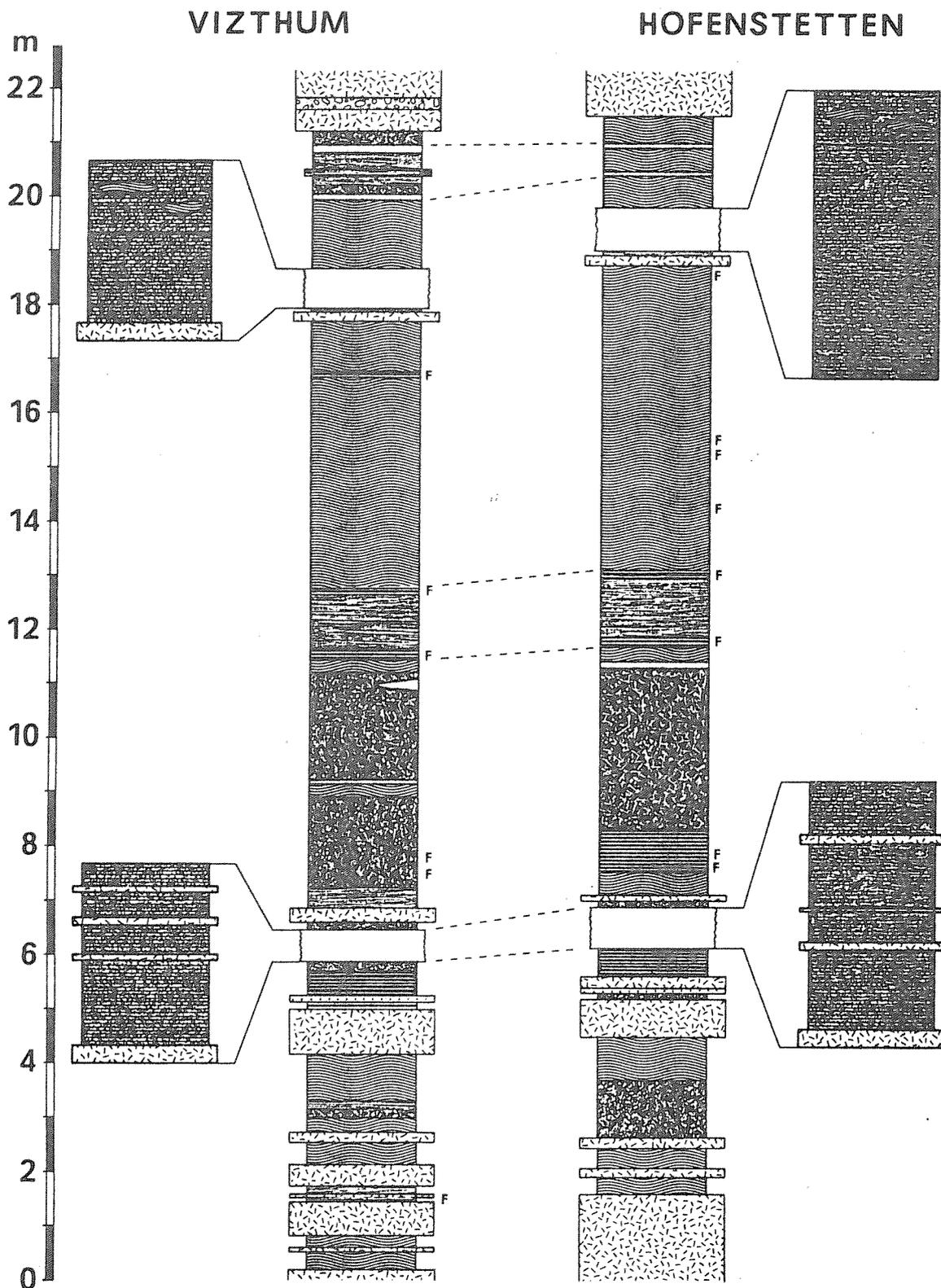


Abb. 13 Makropetrographie der Schwandorfer Braunkohle in den Tagebauen Vizthum und Hofenstetten des Grubenfeldes Rauberweiher. Hofenstetten nach RIEGEL (1981) und Geländeaufzeichnungen von Prof. Dr. RIEGEL. Legende: siehe Abb. 8

über weite Entfernung verfolgt werden. Helle Grundmassenkohlen, die im Schwandorfer Revier als Pyropissite bezeichnet werden, sind auf geringmächtige (maximal 2 Dezimeter), linsenförmige Körper beschränkt. Die in ihnen vorkommenden Xylite sind hell und partienweise stark zersetzt. Das Zersetzungsprodukt, eine helle mulmige Substanz, ist makroskopisch nicht von der Grundmasse der Pyropissite zu unterscheiden. Die Pyropissitlinsen, für die stets ein gewisser Sandgehalt kennzeichnend ist, gehen lateral in der Regel in Zentimeter-mächtige Sandmittel über. Sie erscheinen immer wieder in den gleichen Flöz-niveaus. Die für den liegenden Flözteil typischen Tonmittel sind im mittleren Teil auf die unmittelbare Umgebung der Diatomeenkohlen beschränkt. Das 20cm mächtige, tonig-schluffige Mittel im Hangenden der unteren Diatomeenkohle ist als Äquivalent zum Hauptzwischenmittel anzusehen.

Der hangende Profilteil ist petrographisch am stärksten gegliedert. Er beginnt mit einer 1,3m mächtigen Xylitischen Kohle, in der die Matrixanteile von unten nach oben zunehmen. Sie wird von einer hellen Grundmassenkohle (Pyropissit) überlagert. Im Abstand von etwa 1m ist ein weiteres Pyropissitband ausgebildet. Im Gegensatz zum mittleren Profilteil können diese Bänder in einer Mächtigkeit von 10 bis 20cm über den gesamten Aufschlußbereich verfolgt werden. Zwischengeschaltet finden sich gewebereiche, xylitarmer Kohlen. Sie sind im mittleren Bereich verkieselt, so daß hier der Aschegehalt stark ansteigt. Abgeschlossen wird das Flöz von einer dunklen Grundmassenkohle, die von hellen Tönen überlagert wird. Innerhalb der Tone konnte eine gut erhaltene Blattflora nachgewiesen werden.

Ein Vergleich mit dem von RIEGEL (1981) im Tagebau Hofenstetten nahe der großen Lorenzinsel aufgenommenen Profil zeigt, daß das Flöz im östlichen Teil des Grubenfeldes Rauberweiher in den jeweils zentralen Teilen der Rinnen sehr konstant ausgebildet ist (Abb. 13). Die Diatomeenkohlen, die Pyropissitbänder und zum Teil auch die Fusithorizonte finden sich in einem Abstand von etwa 1,5km in gleichen Flöz-niveaus wieder. Auch die generelle Abfolge der Lithotypen ändert sich kaum. Im Gegensatz dazu ändern sich die Profile in Richtung auf den Rand der Rinnen rasch. Bei Abnahme der Gesamtmächtigkeit des Flözes ist eine zunehmende Einschaltung von Tonmitteln zu beobachten. Die Kohlen werden noch stärker xylitisch.

Aufgrund der Erfahrungen aus den Hessischen Braunkohlen wurde davon ausgegangen, daß auch bei der Vizthumer Kohle eine enge Beziehung zwischen Makro- und Mikropetrographie besteht. Die mikropetrographischen Untersuchungen wurden hier deshalb auf die Untersuchung spezieller Lithotypen, die in Hessen nicht oder nicht so charakteristisch ausgebildet sind (z.B. Diatomeenkohle), sowie auf den makropetrographisch am stärksten gegliederten hangenden Profilteil begrenzt (Abb.14). Auch in Vizthum sind, wie am Hirschberg, die Xylitischen Kohlen am Humotelinit-reichsten. In der Probe 61 steigt der Anteil auf 95%. Die Matrix, in die die größeren Xylite eingelagert sind, besteht hier ausschließlich aus dem Abrieb der Xylite. Der geringe Humocollinitgehalt dieser Probe geht auf primäre Zellfüllungen zurück. In den Gewebegrundmassenkohlen werden noch Humotelinitwerte von fast 40%

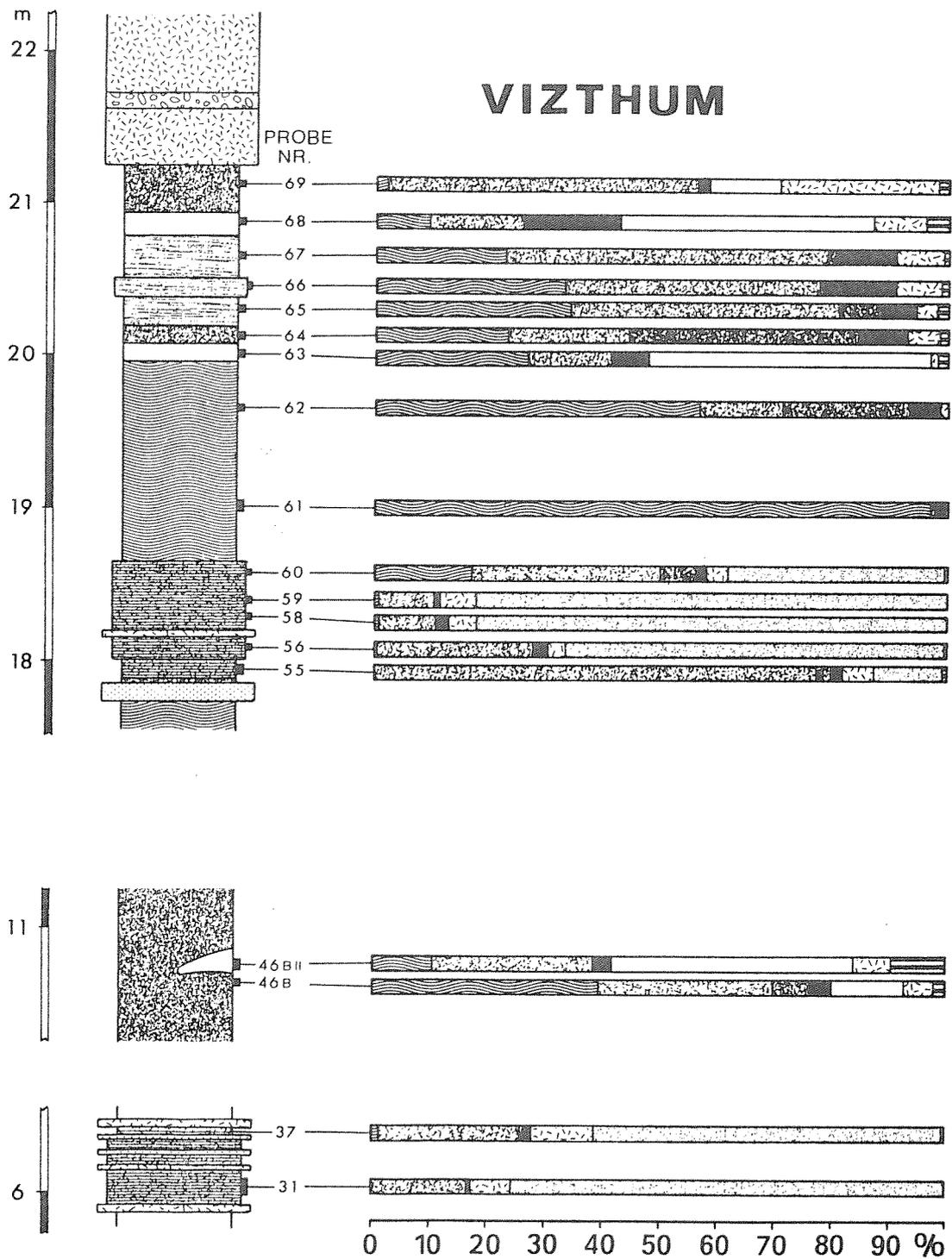


Abb. 14 Petrographie ausgesuchter Flözabschnitte der Schwandorfer Braunkohle im Tagebau Vizthum. Legende: siehe Abb. 8

erreicht, während die Grundmassenkohlen deutlich Matrix-betonter sind. Die Gewebereste sind in der Vizthumer Kohle in der Regel sehr gut erhalten und häufig als Überreste von Koniferen zu erkennen.

Die Grundmasse der dunklen Vizthumer Kohlen bildet überwiegend der Attrinit; Densinit tritt stark in den Hintergrund. Bei den Pyropissiten besteht die Grundmasse hauptsächlich aus einer feinstdetrithischen, schwach reflektierenden und deutlich fluoreszierenden Substanz, die petrographisch und chemisch (s.u.) der "stark fluoreszierenden Grundmasse" der hellen Kohlen in Borken und Ostheim entspricht. Im Gegensatz zu diesen weisen die Pyropissite aber deutliche Humotelinitgehalte auf, die auf eingelagerte Xylitreste zurückgehen. Sehr hohe Werte werden auch vom Corpohuminit erreicht, der einen konzentrischen Internaufbau zeigt und wahrscheinlich aus durchoxidierten Harzen besteht. Die mulmige Substanz, die bei der Zersetzung von hellen Xyliten gebildet wird, kann auch mikropetrographisch bis auf eine teilweise etwas stärkere Fluoreszenz nicht von der "stark fluoreszierenden Grundmasse" unterschieden werden. Die primären Zellfüllungen sind im Mulm gegenüber den Xyliten deutlich angereichert. Die Bildung der Pyropissitbänder aus einem primär sehr holzreichen Torf bietet eine mögliche Erklärung dafür, daß in Vizthum im Gegensatz zu Borken und Ostheim in den hellen Kohlen eine Anreicherung von Corpohuminit anstelle von Liptodetrinit zu beobachten ist.

Die Diatomeenkohlen ähneln im mikroskopischen Erscheinungsbild mehr einem Ölschiefer als einer Kohle. Die Grundmasse wird von einem fluoreszierenden Substanzgemisch gebildet, das der "mineralisch-bituminösen Grundmasse" (TEICHMÜLLER & OTTENJANN 1977) der Erdölmuttergesteine entspricht. Sie ist reich an kleinen, dünnwandigen Algen, durch die die Mikroschichtung deutlich wird. Die Algen sind dem Nostocopsis-Typ (MÄDLER 1968) zuzurechnen und werden von TEICHMÜLLER & OTTENJANN (1977) sowie TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER (1981) als Liptodetrinit und zum Beispiel von HUTTON et al. (1980) als Alginit B oder "lamellar alginite" bezeichnet. Bei der Mazeralanalyse wurden sie nicht gesondert erfaßt, sondern zusammen mit der mineralisch-bituminösen Matrix als "ölschiefer-ähnliche Grundmasse" gezählt. Demgegenüber wurden figurierte Algen (Alginit A) als Mazerale gesondert ausgehalten. Neben der "ölschiefer-ähnlichen Grundmasse" ist Attrinit der Hauptbestandteil der Diatomeenkohlen, während Densinit kaum auftritt. Der Attrinit besteht ausschließlich aus einem lockeren Humusgel; Zellwandbruchstücke wurden nicht beobachtet. Die Humotelinitgehalte in den oberen Lagen der Diatomeenkohle gehen auf Xylitbruchstücke zurück. Mazerale der Inertinit-Gruppe treten kaum auf. Kennzeichnender mineralischer Bestandteil der Diatomeenkohlen ist neben Tonmineralen der Pyrit, der ausschließlich in Form von Framboiden (Rogenpyrit) vorkommt.

III.6. PETROGRAPHIE DER BRAUNKOHLE VON VIEH-  
HAUSEN

Die Braunkohle von Viehhausen konnte aufgrund heute nicht mehr zugänglicher Aufschlüsse nicht in dem Maße untersucht werden wie die anderen Flöze. Es mußte auf älteres Probenmaterial zurückgegriffen werden, das freundlicherweise von Prof. W. RIEGEL zur Verfügung gestellt wurde. Einige Aspekte, die schon in einem früheren Aufsatz (KLEIN-REESINK & RIEGEL 1983) ausführlicher behandelt wurden, sollen aber an dieser Stelle vorgestellt werden, da sie Hinweise auf die Genese der stark vergelten Lithotypen geben.

	Vieh. 2	Vieh. 12	Vieh. 28	Vieh. 30	Vieh. 41
TEXTINIT	2,5	2,7	4,0	2,1	6,7
ULMINIT	20,3	32,9	29,0	19,5	26,4
ATTRINIT	12,9	1,2	13,6	10,9	18,5
DENSINIT	52,5	38,5	18,3	55,6	5,8
LEVIGELINIT	0,6	9,6	0,7	1,3	0,6
PORIGELINIT	0,2	---	---	---	---
SPORINIT	---	---	0,7	0,3	---
CUTINIT	0,5	3,1	21,1	---	---
RESINIT	0,2	2,3	2,2	0,3	1,5
SUBERINIT	0,2	0,8	---	---	---
ALGINIT	0,4	0,6	0,4	1,8	---
LIPTODETRINIT	3,8	0,7	2,9	2,6	2,1
BITUMINIT	---	---	1,3	---	---
FUSINIT	0,4	---	---	---	11,6
SEMIFUSINIT	---	---	---	1,0	16,7
SCLEROTINIT	0,5	0,6	0,2	1,3	---
INERTODETRINIT	0,5	0,4	---	---	7,3
TON	0,4	0,2	4,7	30,7	44,1
PYRIT	1,1	1,2	4,7	11,3	6,7
SCHILL	---	---	---	24,5	---

Tab. 3 Mikropetrographische Zusammensetzung einiger Braunkohleproben aus Viehhausen (%)

Bis auf eine Fusit- und Mineral-reiche, erdig-mulmige Kohle (Vieh. 41) weisen alle untersuchten Proben eine starke Vergelung, Gewebereichtum sowie eine mehr oder minder deutliche Feinschichtung auf. Der hohe Vergelungsgrad wird im Mikrobild durch das starke Überwiegen von Densinit über Attrinit deutlich (Tab. 3). Auch innerhalb der Humotelinit-Gruppe, die Anteile von 20 bis 30% ausmacht, dominiert die vergelte Form, der Ulminit. Mikroschichtung ist am ausgeprägtesten in einer makroskopisch als "Blätterkohle" angespro-

chenen schwarzen Gewebekohle ausgebildet (Taf.5, Fig.4). Hohe Cutinit-Gehalte bewirken in der Blätterkohle, daß der Liptinitanteil von den üblichen 5 bis 7% auf fast 30% ansteigt. Die stark vergelten Kohlen weisen durchweg geringe Alginitgehalte auf. Inertinite spielen kaum eine Rolle. Lediglich in der erdig-mulmigen, tonigen Mineralkohle steigt der Inertinitgehalt aufgrund hoher Fusinit- und Semifusinit-Anteile auf über 30%.

Neben der ungestörten Fein- und Mikroschichtung, die ruhige Entstehungsbedingungen nahelegen, geben die gleichmäßig in der Kohle verteilt gefundenen Überreste von Fischen (RUTTE 1962: 153) den entscheidenden Hinweis auf das Bildungsmilieu der Viehhausener Kohle. Bei den nachgewiesenen Fischen handelt es sich ausschließlich um Cypriniden, die als Lebensraum Sumpf- und Altwässer bevorzugen. Hierdurch ergibt sich ein Bild von relativ flachen, schlecht durchlüfteten Stillwasserseen, in denen humose Detritusgyttjen und Laubdy (Blätterkohle) abgelagert wurden. Der hohe Vergelungsgrad steht mit diesem Bild in Einklang, denn in rezenten Mooren sind doppleritische Substanzen immer an Bereiche mit relativ hohen Wasserständen gebunden (POTONIE 1908 zit. in GROSSE-BRAUCKMANN 1962, TEICHMÜLLER 1950, GÖTLICH 1980). Die im Viehhausener Flöz gefundenen Xylite bestehen nach RUTTE (1956/58: 65) aus Zweigresten von *Glyptostrobus*, einem Element der Sumpfwaldflora (GREGOR 1980: 6), sodaß als Lieferant der organischen Substanz, die in den Seen abgelagert wurde, randliche Sumpfwälder anzunehmen sind. Daneben dürfte die organische Substanz auf eine reiche Tümpelflora mit *Stratiotes kaltennordheimensis* als wichtigstem Vertreter (GREGOR 1980) zurückgehen.

### III.7. PETROGRAPHIE DER DÖRENTRUPER BRAUNKOHLE

Das Profil der Dörentruper Braunkohle wurde im Nordosten der aufgelassenen Sandgrube der Dörentruper Sand- und Thonwerke (TK 3919, Abb.6) aufgenommen. Das Flöz erreicht hier eine Mächtigkeit von 6,5m und wird durch zwei Sandmittel in Unter-, Mittel- und Oberbank gegliedert. Die Sandmittel greifen erosiv in die jeweils unterlagernden Flözbänke ein.

Innerhalb des Flözes ist eine dreifache Abfolge ausgebildet, die von den liegenden Sanden allmählich über sandige, gewebearme Mineralkohlen zu Xylit- und Gewebe-reichen Lithotypen führt (Abb. 15). Die Kohle ist durchgehend Fusit-führend, es ist aber eine deutliche Anreicherung des Fusits in den xylitischen Flözpartien zu erkennen. Bei den Xyliten handelt es sich meist um größere Bruchstücke, zum Teil auch um ganze Stämme, die schichtparallel eingeregelt sind. Stubben wurden nicht beobachtet. Nach brieflicher Mitteilung von Dr. H. THOMALE (Lemgo) wurden aber in älteren Kohleanschnitten innerhalb der Sandgrube Stubben und vereinzelt auch Stubbenhorizonte nachgewiesen.

Mikropetrographisch zeichnet sich die Dörentruper Kohle durch hohe (stets um 20%) Humotelinitgehalte aus. Lediglich bei einem Teil der sandigen Mineralkohlen sinken die Werte auf 5 bis 10%. Die Grundmasse wird fast ausschließlich von Attrinit gebildet, der im wesentlichen aus Gewebedetritus (Zellwandbruchstücke) besteht. Densinit tritt wie

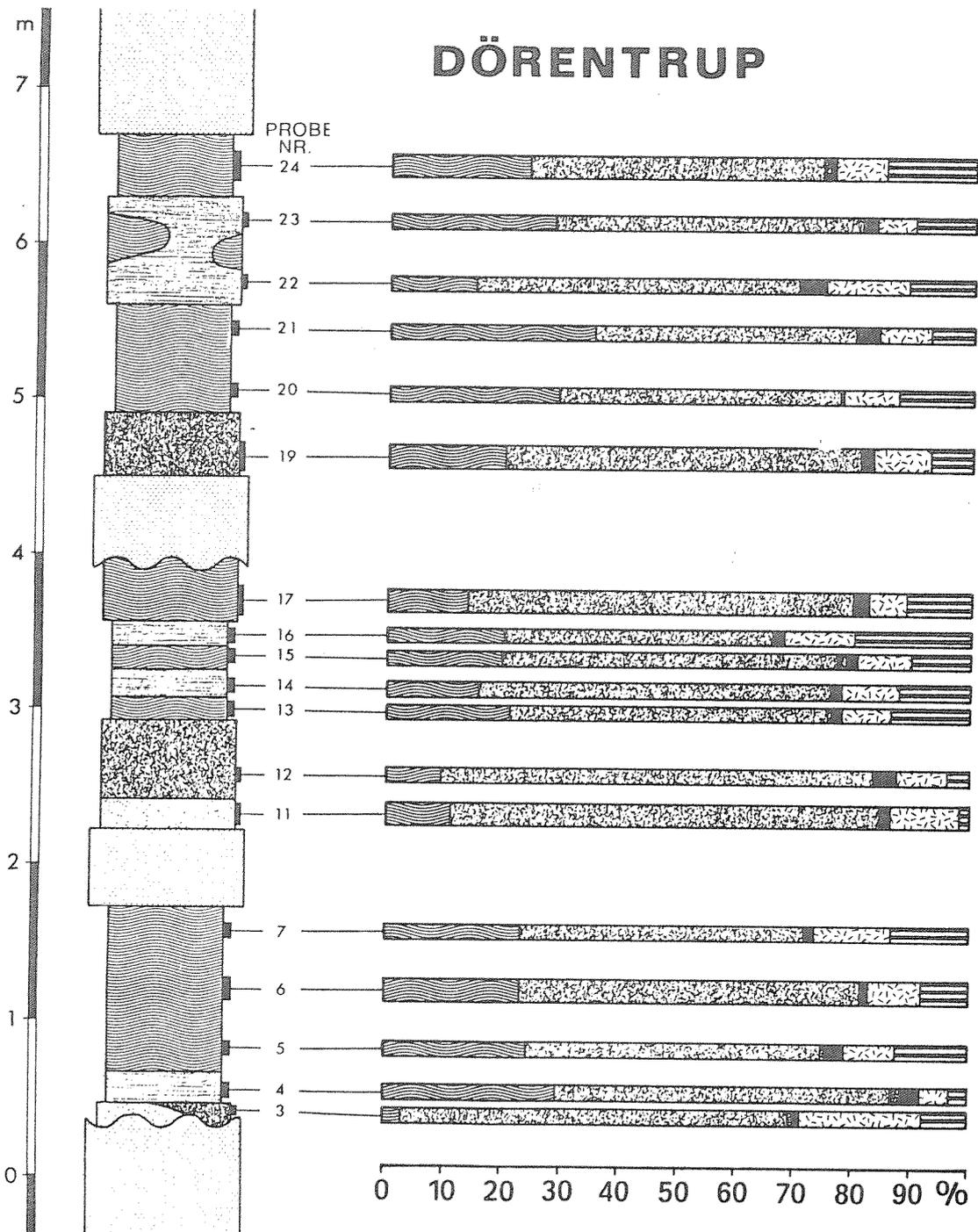


Abb. 15 Petrographie der Braunkohle von Dörentrup/Lippe.

Legende: siehe Abb. 8

die Mazerale der Humocollinit-Subgruppe nur sehr untergeordnet in Erscheinung. Liptinite sind mit Anteilen um 10% am Aufbau der Kohle beteiligt. Eine gewisse Anreicherung ist in den sandigen Mineralkohlen zu erkennen. Hier können, wie an der Basis der unteren Flözbank, auch Werte über 20% erreicht werden. Die hohen Liptinitgehalte gehen auf einen deutlichen Anstieg der Sporinit- und Liptodetrinit-Werte zurück, die durch das ganze Flöz die Hauptmasse der liptinitischen Bestandteile bilden. Auffallend ist im Mikrobild das deutliche Überwiegen von bisaccaten Koniferen-Pollen gegenüber denen der Angiospermen-Sporinit zurücktritt. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Lagerstätten ist die Dörentruper Kohle ungewöhnlich Inertinit-reich. In den Mineralkohlen liegen die Anteile zwischen 1 und 10%, während sie in den Gewebe- und Xylit-reichen Lithotypen zwischen 10 und 20% schwanken. Dominierende Bestandteile innerhalb der Inertinit-Gruppe sind Fusinit und Inertodetrinit. Daneben werden in einigen Proben lediglich vom Macrinit höhere Werte erreicht.

### III.8. VERGLEICH DER PETROGRAPHIE DER UNTERSUCHTEN LAGERSTÄTTEN

Durch die systematischen Profiluntersuchungen konnten in den bearbeiteten Kohlevorkommen enge Beziehungen zwischen Makro- und Mikropetrographie nachgewiesen werden. Dem Wechsel von Grundmassenkohlen, Gewebegrundmassenkohlen und Gewebekohlen gehen Schwankungen im Humotelinitgehalt parallel. Die Xylitischen Kohlen schließen sich als Humotelinit-reichste Lithotypenklasse zwanglos an diese Reihe an. Farbunterschiede gehen in erster Linie auf eine unterschiedliche Ausbildung der Grundmasse zurück. Die Grundmasse der schwarzen Kohlen ist Densinit-betont. Bei den dunklen Lithotypen ist Attrinit der Hauptbestandteil, während die hellen und mittelhellen Lithotypen im wesentlichen von der "stark fluoreszierenden Grundmasse" aufgebaut werden.

Diese innerhalb der einzelnen Lagerstätten recht engen Beziehungen können aber nicht von einer Lagerstätte direkt auf eine andere übertragen werden. Zwar bleibt die Tendenz, daß Grundmassenkohlen Telinit-arm sind und Gewebekohlen vergleichsweise Telinit-reich in allen Lagerstätten die gleiche, aber gleichzeitig wurde nachgewiesen, daß in den jüngeren Kohlen die jeweils entsprechenden Lithotypen deutlich Telinit-reicher sind als in den älteren. Genauso lassen sich Unterschiede in der Ausbildung der Grundmasse feststellen, beispielsweise ist der Attrinit der älteren Kohlen wesentlich feinkörniger als der der jüngeren. Diese Unterschiede sind nicht nur in genetischer Hinsicht, sondern besonders im Hinblick auf die veredlungstechnologische Verwertbarkeit der Kohlen von wesentlicher Bedeutung. Makropetrographische Untersuchungen können deshalb mikropetrographische Analysen nicht ersetzen, vielmehr bedürfen sie ihrer Ergänzung. Ist aber innerhalb einer Lagerstätte der Zusammenhang zwischen Makro- und Mikropetrographie einmal bekannt, machen exakte makropetrographische Aufnahmen einen Großteil der weiteren mikropetrographischen Untersuchungen unnötig.

In den untersuchten Lagerstätten sind einige gerichtete Tendenzen in der petrographischen Ausbildung der Lithotypen zu erkennen. So bleiben starke farbliche Differenzierungen zwischen den Lithotypen, sieht man von den geringmächtigen Pyropissitlagen in der Vizthumer Kohle ab, auf die älteren Kohlen (Borken, Ostheim) beschränkt. Helligkeit und Gewebeführung sind hier deutlich negativ miteinander korreliert. Die gewebereicheren Lithotypen sind schwarz oder dunkel, die gewebearmen mittelhell oder hell. In den jüngeren Kohlen konnte keine Beziehung zwischen Gewebeführung und der im Vergleich zu den älteren Kohlen deutlich schwächeren Helligkeitsnuancierung festgestellt werden. Diese Beobachtung wurde von v.d.BRELIE & WOLF (1981) auch in der Rheinischen Braunkohle gemacht. Die Ursachen für eine schwache Helligkeitsdifferenzierung können vielfältig sein, wobei sich die verschiedenen Faktoren überlagern und so eine direkte Beziehung zwischen Gewebeführung und Farbe verwischen. In Betracht zu ziehen sind: wechselnde Liptinit-Gehalte, unterschiedliche Xylitführung und nicht zuletzt wechselnde Vergelungsgrade (vgl. v.d. BRELIE & WOLF 1981: Abb. 10).

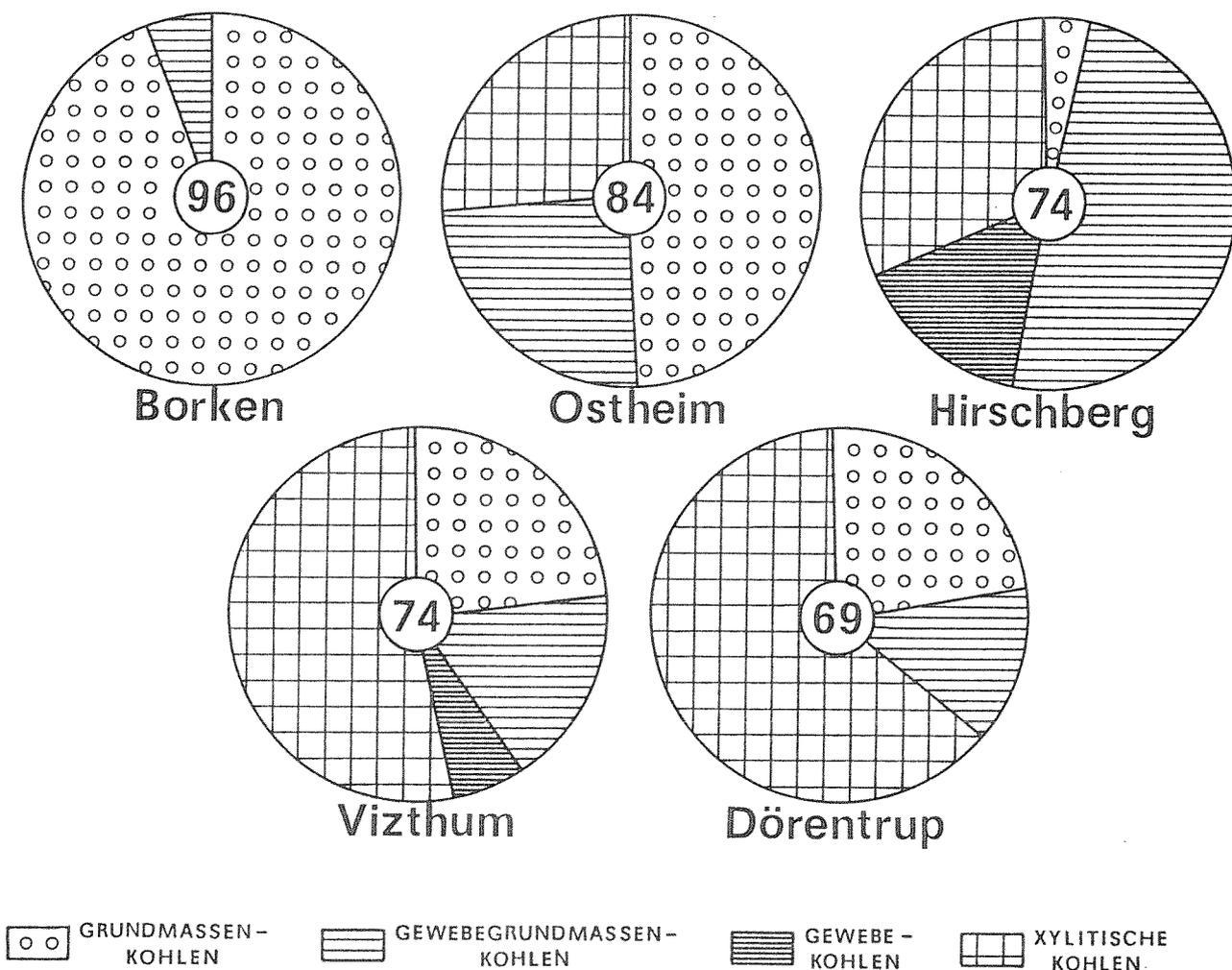


Abb. 16 Anteil der verschiedenen Lithotypen am Aufbau der untersuchten Flöze  
 (96) = Anteil der detritischen Mazerale an der Zusammensetzung der Kohlen  
 in Vol.% der organischen Substanz (siehe Text)

Mit dem Zurücktreten der hellen Schichten treten in den Kohlen des jüngeren Tertiärs (Hirschberg, Vizthum, Dörentrup) Gewebe- und Xylit-reiche Lithotypen in den Vordergrund. Der Anteil der Grundmassenkohlen geht von 95% in Borken über 50% in Ostheim auf 5 bis 20% in den jüngeren Kohlen zurück (Abb. 16). Gegenläufig dazu steigt der Anteil der gewebe-reichen Xylitischen Kohlen von 0% in Borken bis auf fast 65% in Dörentrup. Der gleiche Trend ist auch im mikropetrographischen Befund festzustellen. Der Anteil der detritischen Mazerale, berechnet als gewogenes arithmetisches Mittel der Summe der Gehalte an Humo-detrinit, "stark fluoreszierender Grundmasse", Liptodetrinit und Inertodetrinit, beträgt in der eozänen Borkener Kohle 96%. Er geht über 84% in der oligo/miozänen Ostheimer Kohle bis auf 70% im an der Wende Miozän/Pliozän entstandenen Dörentruper Flöz zurück, wobei diese Zahlen noch nicht einmal ausdrücken können, daß sich die Feinkörnigkeit der detritischen Bestandteile (s. Taf. 3) in der gleichen Richtung vermindert.

Durch die vergleichende Betrachtung der mikropetrographischen Zusammensetzung der verschiedenen Kohlen konnte weiterhin gezeigt werden, daß der Anteil der Liptinite wesentlich durch den Destruktionsgrad der humosen Substanz bestimmt wird. Mit zunehmender Destruktion der Huminite nimmt aber nicht nur die Menge der Liptinite, sondern auch innerhalb dieser Gruppe der Anteil des Liptodetrinit zu; das heißt, auch die Liptinite werden von der Destruktion betroffen.

Obwohl die Entwicklungen gewebearm zu geweberich und starke Helligkeitsdifferenzierung zu geringe Helligkeitsdifferenzierung scheinbar mit dem Alter der Kohlen korreliert sind, kommt das Alter selbst als Ursache nicht in Betracht, wie das Beispiel der unterkarbonen Moskauer Braunkohle (KARWEIL 1956) zeigt. Alle untersuchten Kohlen liegen im Inkohlungsstadium der Weichbraunkohlen vor. Diese haben im Gegensatz zu den Glanzbraunkohlen und Steinkohlen noch keine geochemische Veränderung erfahren. Stofflich bestehen zwischen Weichbraunkohlen und Torfen keine grundsätzlichen Unterschiede (JACOB 1964, ALTSCHULER et al. 1983). Erstere sind lediglich durch Überlastungsdruck mehr oder minder verfestigt, was sich in erster Linie in einer deutlichen Abnahme des Wassergehaltes auswirkt. Für die Differenzierung der untersuchten Braunkohlelithotypen und -vorkommen müssen demnach Faktoren verantwortlich sein, die den Charakter der ursprünglichen Torfe bestimmt haben. Hierfür sind die Vegetation als Lieferant der organischen Substanz und die Art und Intensität des biochemischen Zersetzungs- bzw. Humifizierungsprozesses in Betracht zu ziehen. Welche Bedeutung den einzelnen Faktoren jeweils zuzurechnen ist, wird im Zusammenhang mit den Ergebnissen der physikochemischen Untersuchungen erörtert.

## IV. MIKROPHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

Mikrophotometrische Methoden spielen in den letzten Jahren bei der Charakterisierung fester, fossiler sowie subrezenter Brennstoffe eine zunehmende Rolle (z.B. JACOB 1980). Neben der seit langem insbesondere bei der Inkohlungsgradbestimmung angewandten Reflexionsphotometrie kommt dabei der Fluoreszenzphotometrie immer mehr Bedeutung zu. Voraussetzung dafür war die Verbesserung und Vereinfachung der Methodik zur Messung der spektralen Zusammensetzung des Fluoreszenzlichtes (OTTENJANN et al. 1974, OTTENJANN 1981/82, v.GIJZEL 1975, 1979) und der Fluoreszenzintensität (JACOB 1973). Spektrale Fluoreszenzmessungen insbesondere am Sporinit bieten eine gute Möglichkeit, den Reife- bzw. Inkohlungsgrad eines Gesteins zu bestimmen. An ausgewählten Lithotypen wurde der Grad der biochemischen Inkohlung (JACOB 1956) mit dieser Methodik bestimmt. Fluoreszenzintensitätsmessungen wurden durchgeführt, um verschiedene Lithotypen gegeneinander und insbesondere die "stark fluoreszierende Grundmasse" gegen den Attrinit abzugrenzen. Genaueres zur Untersuchungsmethodik ist den oben angeführten Arbeiten zu entnehmen. Die wichtigsten Gerätedaten für das verwendete Mikroskop ORTHOLUX II POL-BK der Fa. Leitz/Wetzlar sind für die

Spektrale Fluoreszenzmessung:

Anregungsfilter : UV-Glas UG 1 + Rotdämpfungsfilter BG 38  
 Teilerspigel : TK 430  
 Objektiv : 50/1.00 W, Fluoreszenz  
 Sperrfilter : K 430  
 Interferenzverlauffilter : VERIL B-60  
 Multiplier : EMI 9558 A (S-20 Kathode)  
 Schreiber : Potentiometerschreiber SERVOSCRIBE 1s

Die Korrekturfaktoren ( $C_\lambda$ ) wurden durch Vergleich mit dem Emissionsspektrum einer 12V-Halogenlampe (100W) bei einer Farbtemperatur von 3400 °K ermittelt. Sie betragen für die benutzte Apparatur:

$\lambda$ (nm)	$C_\lambda$	$\lambda$ (nm)	$C_\lambda$	$\lambda$ (nm)	$C_\lambda$
		510	0,90	610	1,44
		520	0,91	620	1,53
430	1,43	530	0,93	630	1,64
440	1,09	540	0,96	640	1,75
450	1,04	550	1,00	650	1,88
460	0,92	560	1,05	660	2,06
470	0,88	570	1,11	670	2,27
480	0,87	580	1,19	680	2,25
490	0,87	590	1,26	690	2,90
500	0,88	600	1,35	700	3,35

Fluoreszenzintensitätsmessung:

Anregungsfilter : Blauglas BG 12 + Rotdämpfungsfilter BG 38  
 Teilerspigel : TK 430  
 Objektiv : 50/1.00 W, Fluoreszenz  
 Sperrfilter : K 510

Interferenzlinienfilter : HG 547-13

Multipliiert : EMI 6094 A (S-11 Kathode)

Als Standard diente ein maskiertes Uranyl-Glas. Seine Fluoreszenzintensität beträgt 99,8% des in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Dr. JACOB) aufbewahrten "Urstandards".

#### IV.1. DIE FLUORESZENZINTENSITÄT DER GRUNDMASSE - BILDENDEN BESTANDTEILE

Wie schon bei der Einführung zur Mikropetrographie angeführt, bestanden Schwierigkeiten bei der Abgrenzung der Grundmasse-bildenden Bestandteile gegeneinander, insbesondere bei der Abgrenzung des Attrinit gegen die "stark fluoreszierende Grundmasse". Aus diesem Grunde wurde versucht, die verschiedenen am Aufbau der Grundmasse beteiligten petrographischen Bestandteile mit mikrophotometrischen Methoden zu erfassen. Reflexionsmessungen schieden wegen der zum Teil starken Innenreflexe der "stark fluoreszierenden Grundmasse" aus. Da diese Schwierigkeit bei der Fluoreszenzphotometrie nicht besteht, wurde die Fluoreszenzintensität der Grundmasse ausgesuchter Lithotypen an 300 bis 500 Punkten pro Probe gemessen.

Der Mittelwert der Fluoreszenzintensität steigt von ca. 3% bei den Densinit-betonten über 4 bis 5% bei den Attrinit-betonten auf 8 bis 11% bei den "stark fluoreszierende Grundmasse"-betonten Lithotypen an. Die Darstellung der Meßergebnisse in Fluoreszenzintensitäts-Histogrammen zeigt, daß sich diese Mittelwerte aus verschiedenen Häufigkeitsverteilungen zusammensetzen (Abb. 17). Die Zahl, Größe und Lage der Verteilungen geben über entsprechende "organische Fluoreszenztypen" (JACOB 1973) Auskunft, die mit verschiedenen petrographischen Bestandteilen korreliert werden können, da jeder Bestandteil Fluoreszenzlicht einer bestimmten Intensität ausstrahlt, sofern er eine einheitliche chemische Zusammensetzung und Struktur aufweist. Die Methodik der Identifizierung von Bestandteilen über ihre Fluoreszenzintensität wurde bereits von JACOB (1972, 1973) erfolgreich bei Rotteprodukten, Torfen und Braunkohlen angewandt.

Unabhängig von der Herkunft der Proben aus verschiedenen Lagerstätten ergibt sich aus den durchgeführten Messungen, daß das Verteilungsmaximum um 2% durch die schwache Fluoreszenz des Densinit hervorgerufen wird. Attrinit erzeugt stets Verteilungsmaxima um 5%, während die "stark fluoreszierende Grundmasse" mit dem Maximum bei 10% korreliert werden kann. Die deutliche Trennung zwischen Attrinit und "stark fluoreszierender Grundmasse" belegt, daß sie von verschiedenen Stoffgruppen aufgebaut werden. Ähnlich hohe und zum Teil auch höhere Fluoreszenzintensitäten wie die der "stark fluoreszierenden Grundmasse" werden lediglich von Xyliten erreicht. Hier gehen die hohen Werte sicher auf die nur geringe Humuskondensation dieser nur "halbverdauten" (JACOB 1956) Bestandteile der Kohlen zurück, während für die Fluoreszenzintensität der "stark fluoreszierenden Grundmasse", wie in Kap. V.3 gezeigt wird, andere Ursachen zugrunde zu legen sind.

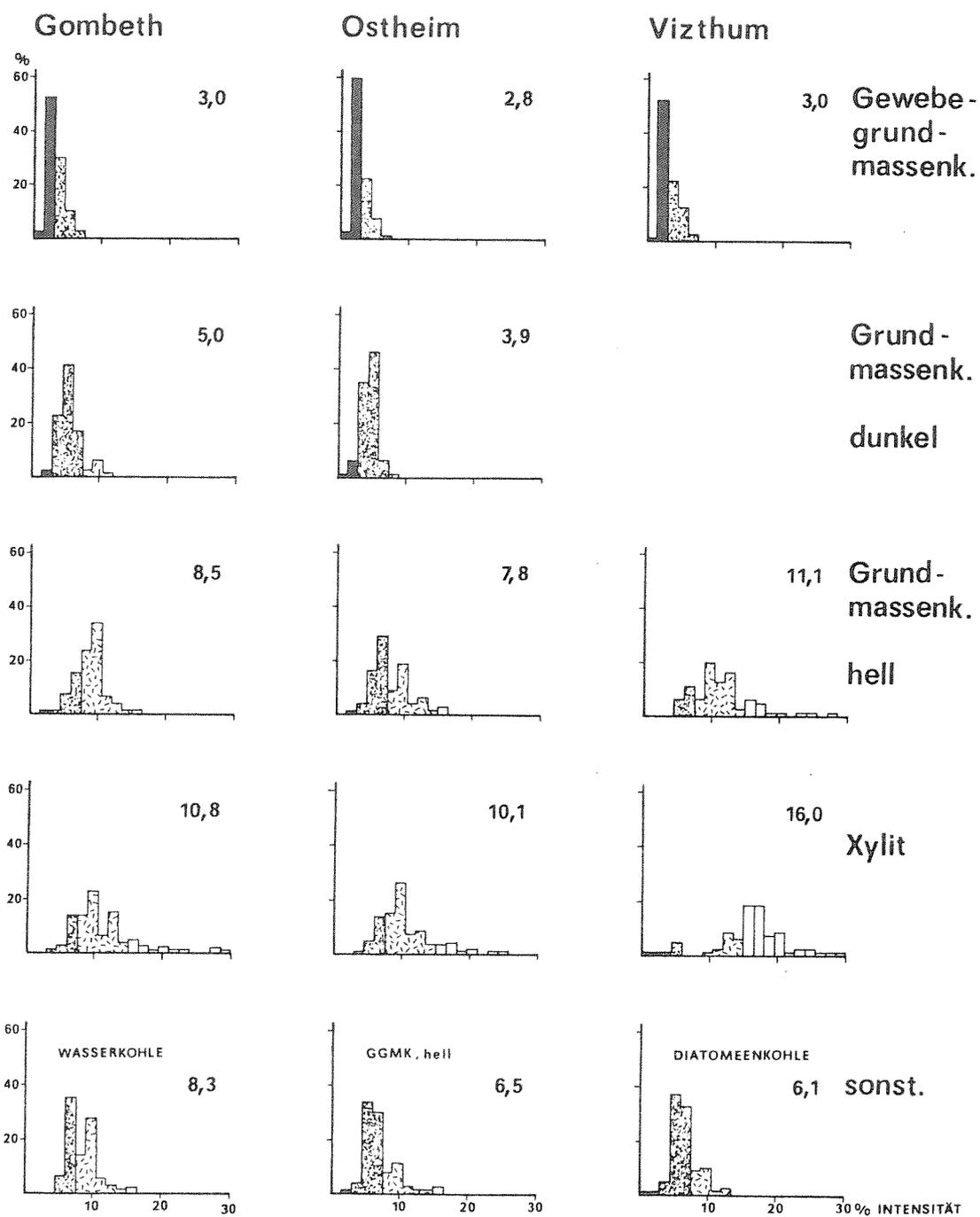


Abb. 17 Fluoreszenzintensitäts-Histogramme ausgesuchter Lithotypen der Kohlen von Borken (Tagebau Gombeth), Ostheim und Vizthum  
3,0 = Mittelwert der Fluoreszenzintensität (%)

## IV.2. DIE FLUORESZENZSPEKTREN VON SPORINITEN

Mit dem Ziel Inkohlungsgradunterschiede zwischen den verschiedenen Lithotypen und Lagerstätten zu erfassen, wurden Fluoreszenzspektren von Sporiniten (Angiospermen-Sporinit) aufgenommen. Es ließen sich, unabhängig von den Lagerstätten, keine Unterschiede in den Spektren von Sporiniten petrographisch ähnlicher Lithotypen feststellen. Eine deutliche Differenzierung ergibt sich aber zwischen den Sporinit-Spektren unterschiedlicher Lithotypen.

Die Maximallage der Fluoreszenzintensität ( $\lambda_{\max}$ ) verschiebt sich von vergelten Gewebegrundmassenkohlen über dunkle zu hellen Grundmassenkohlen deutlich in den langwelligeren Bereich (Tab. 4).

Lagerstätte Lithotyp	Go	Ost	Hir	Viz	Dö	DDR*
Gewebegrundmassenkohle	521	523	518			
Grundmassenk., dunkel	523	524		521	524	525
Grundmassenk., hell	530	533		531		540
Wasserkohle	530					
	525					
Diatomeenkohle				510		

Tab. 4 Maximum der relativen Fluoreszenzintensität  $\lambda_{\max}$  (nm) der Sporinite einzelner Lithotypen der untersuchten Lagerstätten. \*) nach TEICHMÜLLER & DURAND 1983

Dies drückt sich auch in einer Zunahme des Rot/Grün-Quotienten Q aus (Tab. 5).

Lagerstätte Lithotyp	Go	Ost	Hir	Viz	Dö	DDR*
Gewebegrundmassenkohle	.48	.49	.48			
Grundmassenk., dunkel	.61	.48		.42	.61	.59
Grundmassenk., hell	.66	.51		.52		.71
Wasserkohle	.70					
	.59					
Diatomeenkohle				.52		

Tab. 5 Rot/grün-Quotient Q der Sporinite einzelner Lithotypen der untersuchten Lagerstätten. \*) nach TEICHMÜLLER & DURAND 1983

Deutlich niedrigere  $\lambda_{\max}$  Werte zeigen die Sporinite aus der Diatomeenkohle, die demnach noch vor die Gewebegrundmassenkohle zu stellen ist. Die Proben aus der Wasserkohle sind, wie schon mikropetrographisch, auch anhand der Fluoreszenz der in ihnen enthaltenen Sporinite nicht von anderen hellen Grundmassenkohlen zu unterscheiden.

Die Rotverschiebung der Fluoreszenzspektren ist nach OTTENJANN et al. (1974) und TEICHMÜLLER (1982) charakteristisch für Sporinite steigenden Inkohlungsgrades. Da die Proben für die Fluoreszenzmessungen in den einzelnen Lagerstätten aus jeweils nur wenige Meter mächtigen Flözprofilen entnommen wurden, können die gemessenen Unterschiede nicht auf eine unterschiedliche geothermische Beanspruchung der Sporinite zurückgehen. Vielmehr muß die Ursache in einer unterschiedlichen biochemischen Beanspruchung während der ersten Phase der Torfbildung liegen. Zusammen mit dem mikropetrographisch festgestellten höheren Zersetzungsgrad deutet dies auf eine erhöhte mikrobielle Aktivität bei der Bildung der hellen Lithotypen hin. Nach SPIRO & MUKHOPADHAY (1983) führt auch bei Algen (Alginit) Biodegradation zu einer Rotverschiebung der Fluoreszenzspektren.

## V. PHYSIKOCHEMISCHE EIGENSCHAFTEN DER UNTERSUCHTEN KOHLEN

### V.1. DER ASCHEGEHALT UND DER KOHLENSTOFFGEHALT

Die Aschegehalte wurden nach der ISO-Norm 1171 (s. MONTGOMERY 1978: 204) durch Glühen im Muffelofen bei einer Maximaltemperatur von  $815 \pm 10$  °C bestimmt. Die so ermittelten Aschegehalte (= Glührückstände) können aber nicht mit dem wahren Mineralgehalt einer Kohle gleichgesetzt werden. Bei tonhaltigen Proben zum Beispiel bewirkt die Abgabe des Hydratwassers aus den Tonmineralen, daß die ermittelten Glührückstände unter dem wahren Mineralgehalt liegen. Ebenso wirkt sich die Freisetzung von  $\text{CO}_2$  bei der thermischen Zersetzung von Karbonaten aus. Diese Schwierigkeiten führen zu zum Teil erheblichen Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes der organischen Substanz aschereicher Proben durch Umrechnung auf wasser- und aschefreie (waf) Basis.

Die Kohlenstoffgehalte wurden nach dem von HERRMANN & KNAKE (1973) und HERRMANN (1975: 169 - 164) beschriebenen coulometrischen Verfahren mit einem Coulomaten der Fa. Ströhlein/Düsseldorf bestimmt. Es beruht darauf, daß bei der Erhitzung der Proben im Sauerstoffstrom auf 1200 - 1250 °C der Kohlenstoff als  $\text{CO}_2$  freigesetzt wird. Das  $\text{CO}_2$  wird in eine Bariumperchloratlösung geleitet und reagiert unter Bildung von Bariumkarbonat. Da bei dieser Reaktion Hydroxydionen verbraucht werden, nimmt der pH-Wert der Bariumperchloratlösung ab. Durch Elektrolyse werden soviele Hydroxidionen neu gebildet, wie zur Wiederherstellung des ursprünglichen pH-Wertes nötig sind. Die dabei verbrauchte Strommenge ist der mit der Lösung reagierten  $\text{CO}_2$ -Menge äquivalent.

Da es bei der trockenen Verbrennung von Kohleproben leicht zur Verpuffung der Kohle kommen kann, darf die Erhitzung der Probe nur langsam erfolgen (SASSENSCHEID 1960). Dies wird bei der verwendeten Apparatur dadurch erreicht, daß das Porzellanschiffchen mit der Probe nur langsam in den heißen Teil des Verbrennungsrohres vorgeschoben wird. Zudem kann durch eine möglichst gleichmäßige Verteilung des Probengutes im Verbrennungsschiffchen die Gefahr einer Verpuffung gemindert werden.

Je nach Aschegehalt der Proben betrug die Einwaage 20 - 40mg analysenfein gemahlener und trockener Substanz. Die mittlere Standardabweichung von 140 durchgeführten Doppelbestimmungen beträgt 0,31. Sie liegt damit etwas über der von HERRMANN (1975: Abb. 19) angegebenen mittleren Standardabweichung für die Bestimmung von Kohlenstoff in magmatischen, metamorphen und sedimentären Gesteinen.

Im Profil des Borkener Hauptflözes aus dem Tagebau Gombeth schwanken die Aschegehalte in der Regel zwischen 15 und 20%. In Richtung auf das Nebengestein steigen sie rasch an und erreichen Werte von 40 bis über 60% (Abb. 18). Es ist zu ersehen, daß die Kohlebildung nicht abrupt einsetzt, sondern sich allmählich aus der klastischen Sedimentation entwickelt und auch wieder allmählich in klastische Sedimentation übergeht. Die mit der Erosionsphase zwischen Wasserkohle und den hangenden Schichten verbundene Verwitterung wirkt sich offensichtlich nicht auf den Aschegehalt aus. Drei Proben aus dem mittleren Profilteil zeigen mit Werten über 40% deutlich erhöhte Aschegehalte, die auf hohe Karbonat- (Probe 17 und 19), beziehungsweise Sandbeimengungen (Probe 23) zurückgehen. Auffällig ist, daß die hohen Aschegehalte an helle Lithotypen gebunden sind; aber nicht alle hellen Kohlen weisen gegenüber ihrer Umgebung einen erhöhten Aschegehalt auf.

Die bestimmten Kohlenstoffgehalte zeigen eine streng gegenläufige Tendenz zu den Aschegehalten, was aus den unterschiedlichen Anteilen der kohlenstoffreichen organischen Sub-

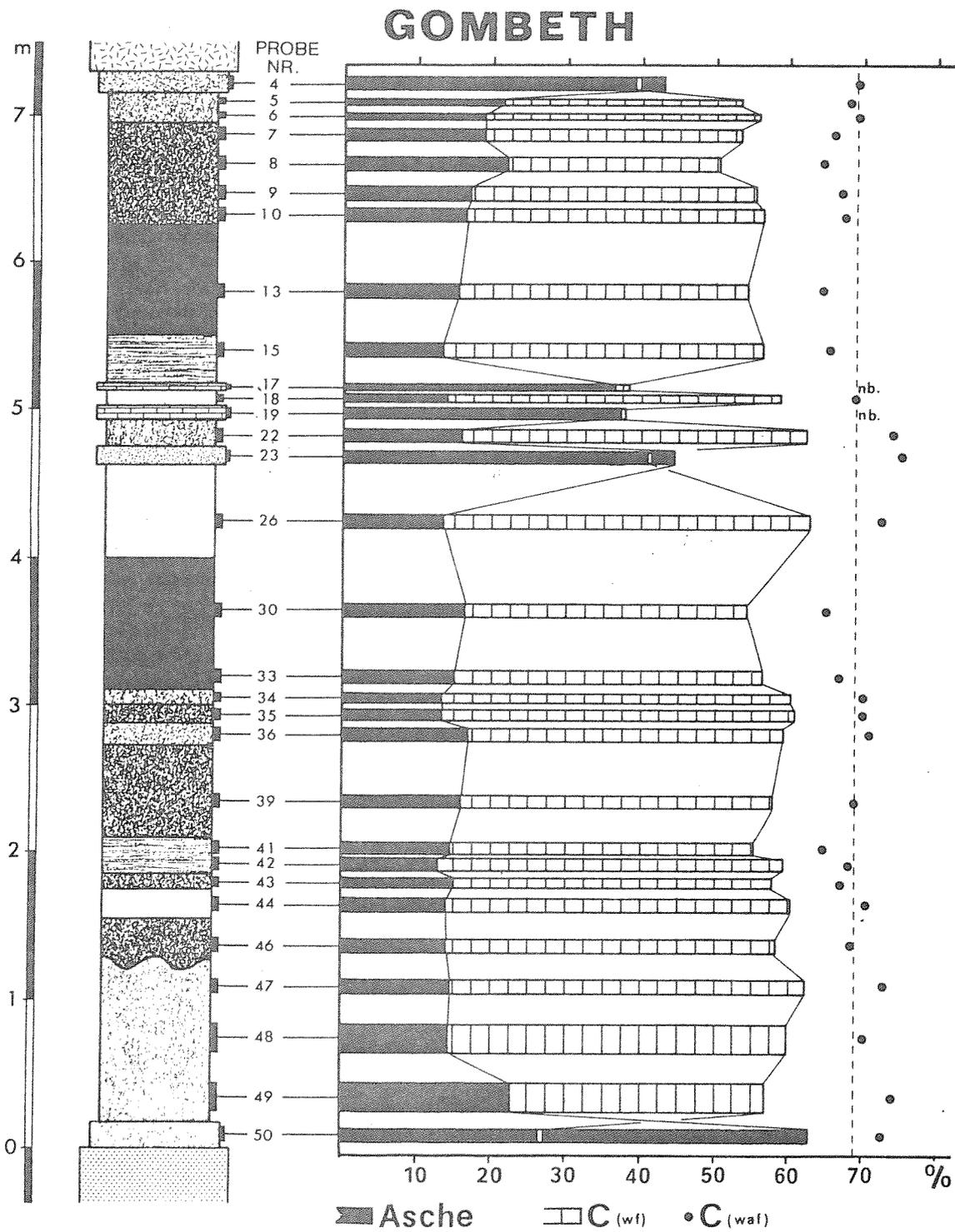


Abb. 18 Aschegehalt (wf) und Kohlenstoffgehalt des Borkener Hauptflözes im Tagebau Gombeth. Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

stanz am Gesamtgestein resultiert. Angaben über die organische Substanz lassen sich erst nach Umrechnung der Kohlenstoffgehalte auf wasser- und aschefreie Basis machen, wobei allerdings die Fehler, die aus der Gleichsetzung von Asche- und Mineralgehalt resultieren, berücksichtigt werden müssen.

Der mittlere Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz der Borkener Kohle (C (waf) ) liegt bei 68,8% (gestrichelte Linie in Abb. 18). Die Einzelwerte schwanken beträchtlich zwischen 65 und 75%. Hohe Kohlenstoffgehalte (waf) sind an helle Lithotypen gebunden, während die stark vergelbten, schwarzen Grundmassenkohlen und die Gewebegrundmassenkohlen die niedrigsten Kohlenstoffgehalte (waf) aufweisen. Die dunklen Grundmassenkohlen nehmen eine vermittelnde Stellung ein. Im Mittel ergeben sich für

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	71,6 % C (waf)
dunkle Grundmassenkohlen	67,7 % C (waf)
schwarze Grundmassenkohlen	65,3 % C (waf)
Gewebegrundmassenkohlen	65,8 % C (waf)

Die relativ niedrigen Kohlenstoffgehalte (waf) der hellen Kohlen am Top des Hauptflözes gehen auf hohe Tongehalte zurück. Demgegenüber führt der erhebliche Aschegehalt bei Probe 50 zu keiner Verfälschung des C(waf)-Wertes, da er im wesentlichen auf Quarz zurückgeht, der bei der Veraschung weder flüchtige Bestandteile abgibt noch mit anderen Bestandteilen reagiert.

Die Aschegehalte im O s t h e i m e r Hauptflöz liegen recht gleichmäßig um 10%. Lediglich im Bereich der schluffigen Mineralkohle steigt der Wert abrupt auf über 40% an (Abb. 19). Am Top des Hauptflözes zeigen wie in Gombeth ansteigende Aschegehalte den allmählichen Übergang aus dem kohlebildenden Faziesbereich in den Bereich klastischer Sedimentation an. Demgegenüber ist an der Basis des Flözes kein solcher Übergang zu erkennen. Der Wechsel klastische Sedimentation - Kohlebildung muß sich hier recht schnell vollzogen haben.

Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt (waf) der Ostheimer Kohle liegt bei 64,9%. Die Schwankungen der Einzelwerte sind bei weitem nicht so ausgeprägt wie in der Borkener Kohle. Lediglich im Bereich des hellen Doppelbandes werden deutlich höhere Werte erreicht. Im Mittel ergeben sich für

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	67,5 % C (waf)
dunkle Grundmassenkohlen	65,0 % C (waf)
Gewebegrundmassenkohlen	64,6 % C (waf)
Xylitische Kohlen	64,4 % C (waf)

Es ist in abgeschwächter Form die gleiche Beziehung zwischen Lithotypenausbildung und Kohlenstoffgehalt (waf) zu erkennen wie in Borken. Die höchsten Werte sind an helle, stark detritische Lithotypen gebunden. Mit zunehmender Farbvertiefung und mit zunehmender Gewebeführung nimmt der Kohlenstoffgehalt (waf) ab.

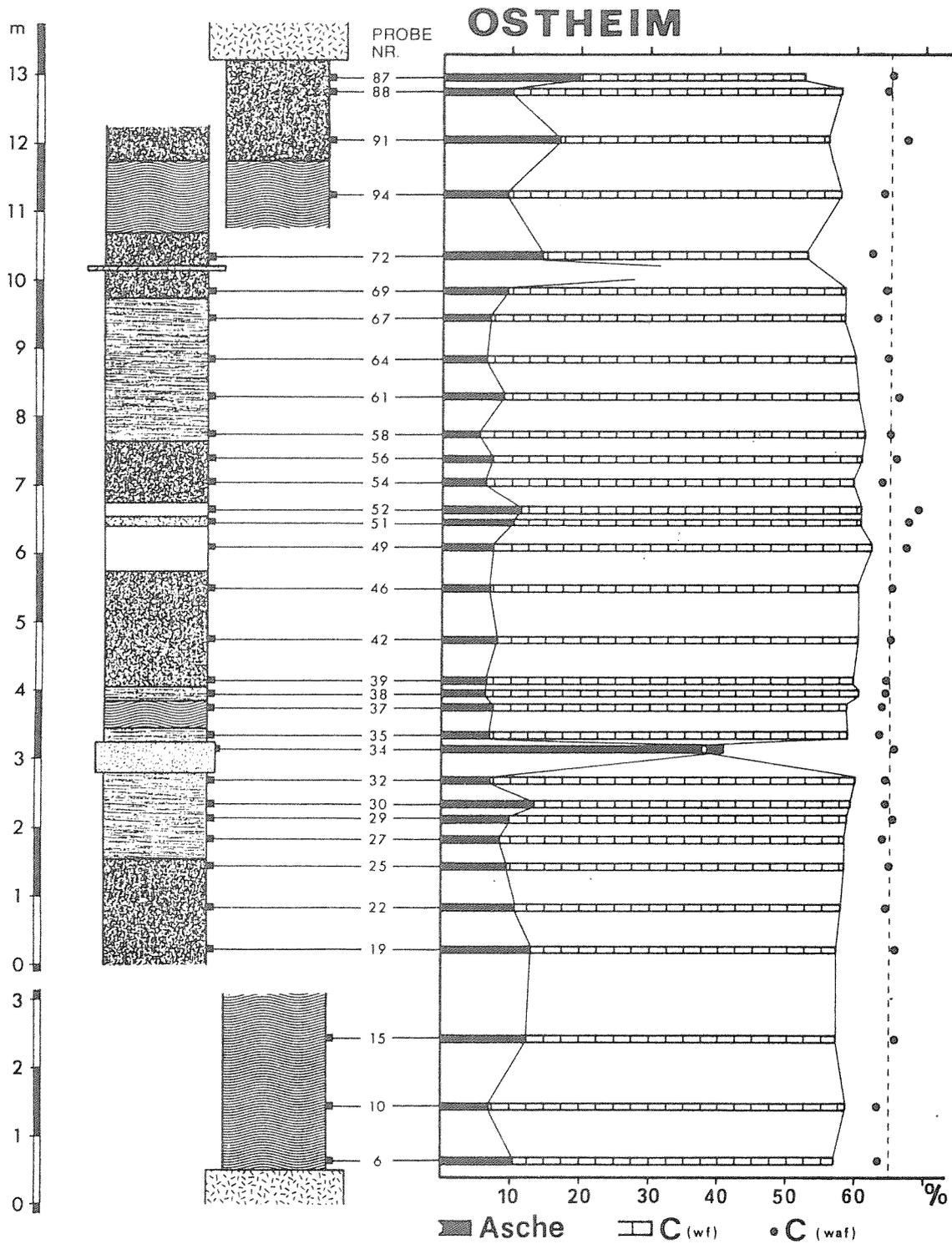


Abb. 19 Aschegehalt (wf) und Kohlenstoffgehalt des Ostheimer Hauptflözes.  
Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

Die Kohle des Flözes III vom H i r s c h b e r g ist über große Flözbereiche recht aschearm (ca. 5%). Deutlich erhöhte Werte (30 bis 40%) sind auf das Lebererz und den Bereich des Sandstreifenmittels beschränkt (Abb. 20). Am Top des Flözes zeigen ansteigende Aschegehalte den Übergang zur klastischen Sedimentation an. Eine Korrelation zwischen Aschegehalt und Lithotypen ist mit Ausnahme der Schichten, die als Mineralkohlen einzustufen sind, nicht zu erkennen.

Der durchschnittliche Kohlenstoffgehalt (waf) der Hirschberger Kohle beträgt 63,3%. Der hohe Tongehalt bewirkt deutlich zu niedrige C(waf)-Werte für die organische Substanz der Proben aus dem Bereich des Lebererzes. Im übrigen sind die Kohlenstoffgehalte (waf) recht konstant. Lediglich die Xylitischen Kohlen weisen durchschnittlich leicht erhöhte Werte auf. Im Mittel ergeben sich für

Gewebegrundmassenkohlen	62,7 % C (waf)
Gewebekohlen	62,7 % C (waf)
Xylitische Kohlen	64,2 % C (waf)

Im untersuchten, petrographisch am stärksten gegliederten Hangendteil des Flözprofils aus dem Tagebau V i z t h u m schwanken die Aschegehalte erheblich. Der limnische Charakter der Diatomeenkohlen wird durch hohe Aschegehalte um 30 bis 50% unterstrichen (Abb. 21). Auch in der gewebereichen Kohle zwischen den Pyropissitbändern übersteigt der Aschegehalt 50%, was hier aber auf eine postsedimentäre Verkieselung dieses Flözabschnittes zurückgeht. Den niedrigsten Aschegehalt weist eine Xylitische Kohle auf. Die hellen Grundmassenkohlen nehmen eine mittlere Stellung ein. Während der Aschegehalt in der Probe 63 deutlich unter dem der liegenden Kohleschicht liegt, ist die mineralische Substanz in der Probe 46BII gegenüber der Probe 46B stark angereichert.

Auf die Angabe des Kohlenstoffgehaltes auf wasser- und aschefreier Basis wurde bei den tonreichen Proben verzichtet, da die resultierenden Werte deutlich zu niedrig liegen. Die tonarmen Kohlen haben einen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt (waf) von 62,0%. Im Verhältnis der Kohlenstoffgehalte (waf) heller und dunkler Kohlen ist die gleiche Beziehung zu erkennen wie in Borken und Ostheim. Wie die hellen Grundmassenkohlen weist auch der zu hellem Mulm zersetzte Xylit einen deutlich erhöhten Kohlenstoffgehalt auf. Im Mittel enthalten

helle Grundmassenkohlen	67,5 % C (waf)
dunkle Grundmassenkohlen	60,2 % C (waf)
Gewebegrundmassenkohlen	61,2 % C (waf)
Xylitische Kohlen	62,6 % C (waf)
zersetzter Xylit	72,8 % C (waf)

In der D ö r e n t r u p e r Kohle ist der Aschegehalt sehr starken Schwankungen unterworfen (Abb. 22). Auffallend sind die hohen Aschegehalte der gewebearmen Kohlen an der Basis der drei Flözbänke, die den Übergang klastische Sedimentation - Kohlebildung anzei-

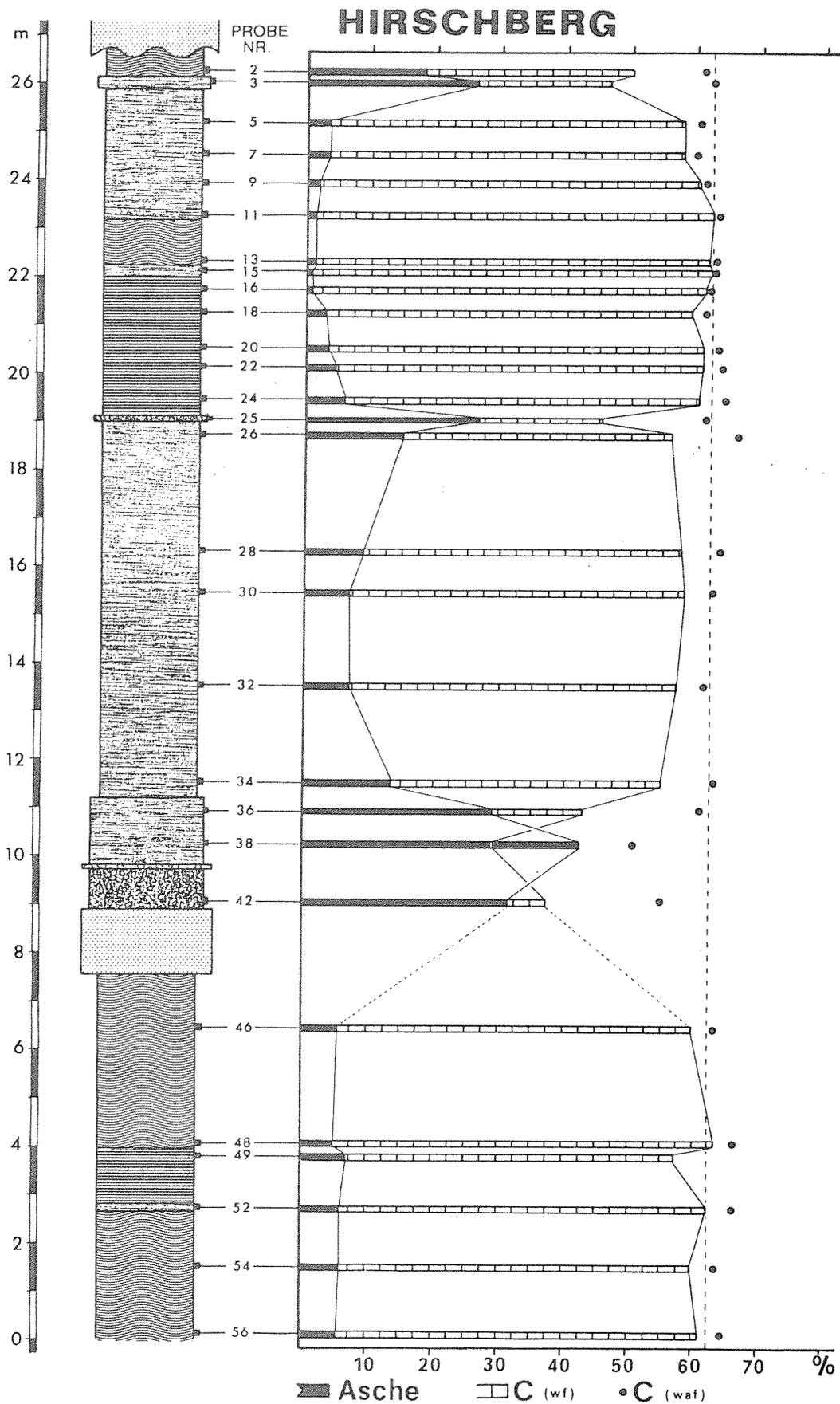


Abb. 20 Aschegehalt (wf) und Kohlenstoffgehalt des Flözes III der Hirschberger Braunkohle im Tagebau Paradiesfeld. Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

gen. Mit dem Einsetzen der Gewebegrundmassenkohlen und Xylitischen Kohlen sinken die Aschegehalte in der Unter- und Mittelbank rapide auf Werte zwischen 10 und 15%. In Richtung auf die Zwischenmittel steigen sie wieder etwas an. In Probe Dö 17 wird mit fast 70% wieder ein Wert erreicht, der dem der Mineralkohlen an der Basis der Flözbänke entspricht. Das Fehlen einer Dö 17 entsprechenden Schicht in der Unterbank ist auf die Erosionsphase, die vor der Ablagerung der Zwischenmittelsande liegt, zurückzuführen. In der Oberbank ist eine zweifache Abfolge aschereich - aschearm entwickelt. Der hohe Aschegehalt in der Bankmitte geht aber im Gegensatz zu dem der Mineralkohlen im liegenden Teil der Flözbänke nicht auf Quarzsand sondern auf Tonminerale zurück.

Die Kohlenstoffgehalte (waf) sind in der Dörentruper Kohle recht konstant. Für die einzelnen Lithotypen ergeben sich Mittelwerte, die kaum vom Mittelwert für das ganze Flöz abweichen:

dunkle, grundmassereiche Mineralkohlen	63,9 % C (waf)
Gewebegrundmassenkohlen	63,3 % C (waf)
Xylitische Kohlen	63,7 % C (waf)

#### V.1.1. DER ASCHEGEHALT ALS FAZIESINDIKATOR

Der Aschegehalt wird häufig zur Faziescharakterisierung von Torfen und Braunkohlen herangezogen. Er gilt als Indikator für den relativen Stand des Grundwasserspiegels, das heißt zur Beurteilung der Feuchtigkeitsverhältnisse im betrachteten Bildungsraum. Zwar können mineralische Stoffe nicht nur aquatisch sondern auch äolisch in das Moor transportiert werden, der letzte Fall bewirkt aber nur ausnahmsweise einen stärkeren Anstieg der Mineralsubstanz (JACOB 1966). So sind die oberhalb des normalen Grundwasserspiegels entstandenen Hochmoortorfe durch sehr niedrige Aschegehalte von 1 bis 2% gekennzeichnet, während bei Niedermoortorfen die Aschegehalte meist zwischen 5 und 15% liegen.

Obwohl der Aschegehalt damit auf den ersten Blick als ideales Maß für die Beurteilung der Feuchtigkeitsverhältnisse erscheint, müssen einige Faktoren beachtet werden, die eine direkte Beziehung beeinflussen.

Auf die Ungenauigkeiten bei der Gleichsetzung von Aschegehalt und Mineralgehalt wurde schon in Kap. V.1. hingewiesen. Diese Problematik muß auch bei den folgenden Bemerkungen beachtet werden, die aber grundsätzlich davon ausgehen, daß der Aschegehalt in etwa auch dem Mineralgehalt entspricht. Die Gesamtasche setzt sich aus syn- und epigenetischen Komponenten zusammen (MACKOWSKY 1968), aber nur die syngenetischen Anteile geben Hinweise auf die Fazies- (Feuchtigkeits-) verhältnisse (MILDE-DARMER 1964). Sicher ist es in vielen Fällen nicht möglich, die syn- und epigenetischen Komponenten voneinander zu trennen. Aus den untersuchten Lagerstätten lassen sich aber einige Beispiele anführen, bei denen die Neubildungen leicht zu erkennen sind.

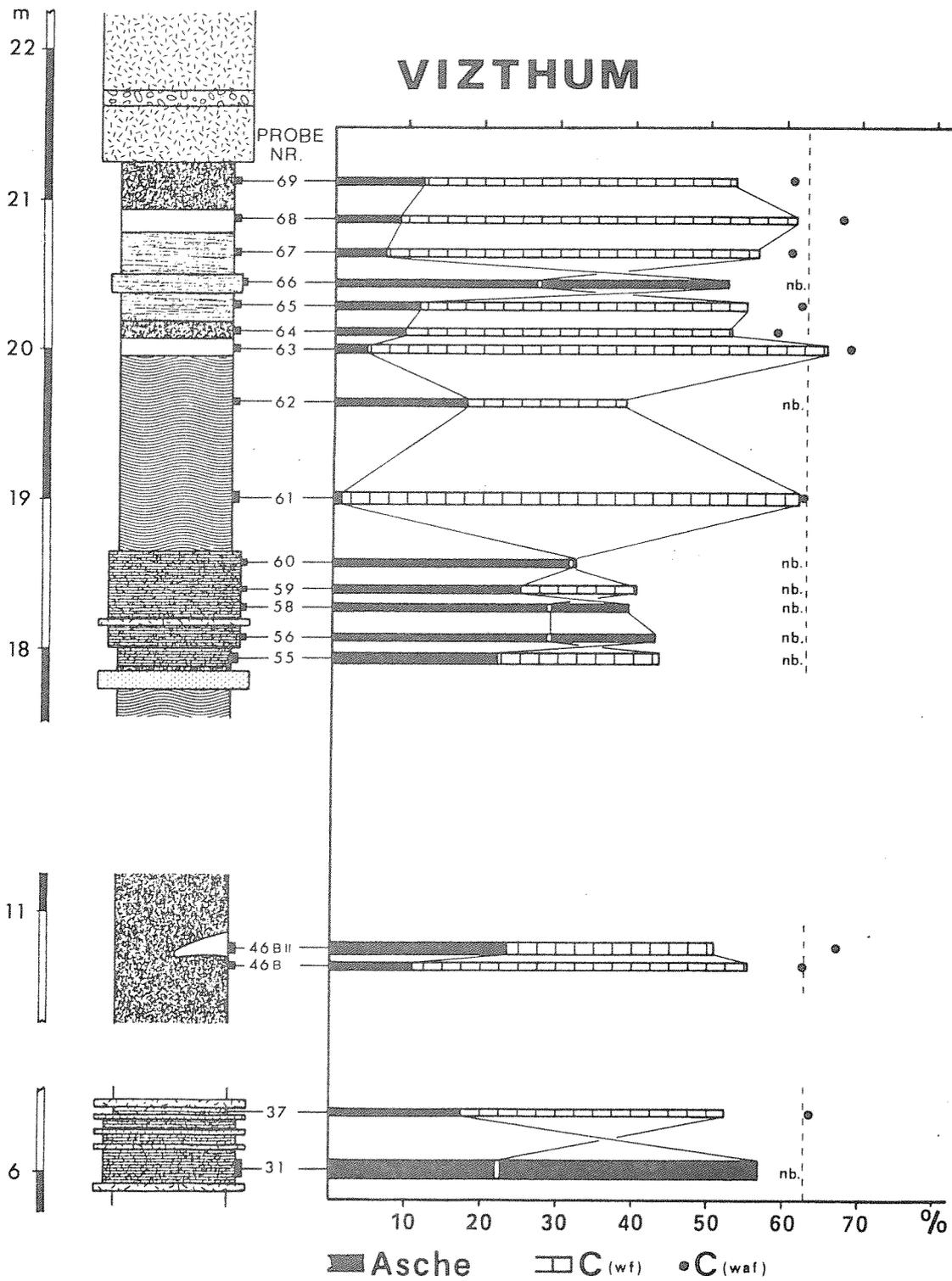


Abb. 21 Aschegehalt (wf) und Kohlenstoffgehalt ausgesuchter Profilabschnitte der Schwandorfer Braunkohle im Tagebau Vizthum.  
 Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

Epigenetisch entstanden sind die Kaolin-gefüllten Wurzelbahnen in der Borkener Kohle. Sie lassen sich schon bei der Probennahme leicht aushalten und haben somit keinen Einfluß auf die (unter genetischen Gesichtspunkten durchgeführten) Aschegehaltsbestimmungen. Das gleiche gilt für mineralische Kluft- und Spaltenfüllungen. Auch epigenetische Imprägnationen mit Kieselsäure sind, wie bei den Stubben am Hirschberg und bei der Gewebegrundmassenkohle am Top des Vizthumer Flözes, schon im Gelände zu erkennen. Neben Kaolinit und  $\text{SiO}_2$  können besonders epigenetische Neubildungen von Eisensulfiden den faziell bedingten Mineralgehalt einer Kohle erhöhen. Liegen die Eisensulfide in Form von Konkretionen vor, wie sie zum Beispiel in der Borkener Kohle recht häufig vorkommen, können sie wie in den vorgenannten Fällen schon bei der Probennahme ausgehalten werden.

Nicht abtrennen lassen sich Mineralneubildungen, die im mikroskopischen Bereich innig mit der organischen Substanz verwachsen sind. So treten zum Beispiel Pyritframboide (Rogenpyrit) in Kohlen jeder Fazies auf, da jede Torfschicht frühdiagenetisch von der mehr oder minder stark oxidierenden Oberflächenschicht in die reduzierenden tieferen Zonen des Torfprofils gelangt. Größere Mengen bleiben aber auf schon primär unter ( $\pm$ ) reduzierenden Bedingungen abgelagerte Sedimente beschränkt. Sie gelten als Indikator für Halbfaulschlammfazies (FABRICIUS 1961)

Rogenpyrit ist für einen großen Teil der hohen Aschegehalte der Diatomeenkohlen aus der Oberpfalz und des Lebererzes der Hirschberger Kohle verantwortlich. Seine regelmäßige Form wurde unter anderem von SCHNEIDERHÖHN (1923) und FABRICIUS (1961) auf Schwefelbakterien zurückgeführt. Diese Deutung wurde von LOVE (1958, 1963) durch den Nachweis von geformter organischer Substanz in solchen Pyritaggregaten erhärtet (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1977). SWEENEY & KAPLAN (1973) konnten aber in Laborexperimenten nachweisen, daß Framboide bei der Bildung von Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) aus Mackinawit ( $\text{FeS}_{0.9}$ ) auf anorganischem Wege entstehen. Trotzdem müssen die Framboide als Indikator für die Aktivität von Schwefelbakterien gewertet werden, da diese den für die Reaktion benötigten Schwefel freisetzen (vgl. HUDSON 1982).

Neben dem Pyrit sind für die hohen Aschegehalte der Diatomeenkohlen und des Lebererzes im wesentlichen Tonminerale verantwortlich. Für die Diatomeenkohlen ist durch den Phytoplanktonreichtum und den Fund eines Fisches ein limnisches Entstehungsmilieu gut belegt (RIEGEL 1981: 20). Unter diesen Bedingungen ist der hohe Aschegehalt leicht zu verstehen. Die Tonminerale sind die Trübeabsätze stehender Gewässer. Werden solchen Gewässern aus der Umgebung des Moores, oder wie im Falle der Diatomeenkohlen aus der Hauptrinne des Urnaab-systems, vermehrt mineralische Bestandteile zugeführt, bilden sich Mittel, mit denen sowohl das Lebererz als auch die Diatomeenkohle eng verzahnt sind. Feinschichtung zeugt in beiden Kohlen von ruhigen Ablagerungsbedingungen, die hohen Pyritgehalte von den reduzierenden Bedingungen am Boden der Gewässer.

Faziell bedingte Erhöhungen des Aschegehaltes sind an den Flözunter- und oberkanten sowie an den Übergängen zu Zwischenmitteln zu erkennen. Hierin spiegeln sich die Wechsel von klastischer Sedimentation zu Kohlebildung (und umgekehrt) wieder. Der Fazieswechsel

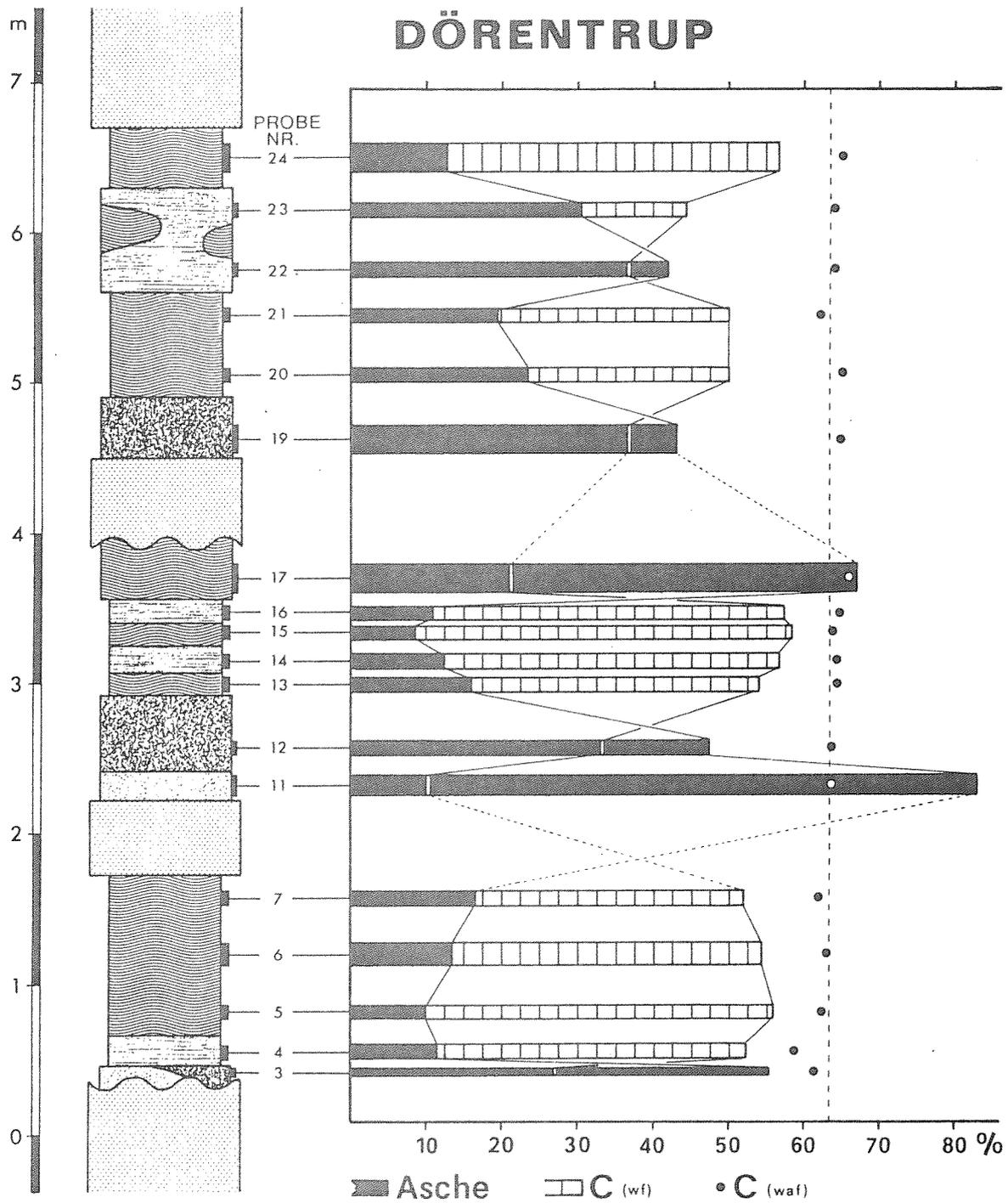


Abb. 22 Aschegehalt (wf) und Kohlenstoffgehalt der Dörentruuper Braunkohle.

Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

ist häufig schon im Nebengestein angedeutet. Das Dörentrupe Flöz zum Beispiel ist in eine Serie fluviatiler Sedimente eingeschaltet. An seiner Basis werden schräggeschichtete Sande durch ebengeschichtete, unreine Sande überlagert. Die ebengeschichteten Sande werden nach oben zunehmend kohlig und verzahnen sich schließlich mit sandigen Mineralkohlen. Die schräggeschichteten Sande lassen sich einer Rinnenfüllung, die ebengeschichteten einer Überschwemmungsfläche zuordnen (vgl. MINNIGERODE & KLEIN-REESINK 1984). Die Überschwemmungsfläche wird allmählich von Pflanzen besiedelt und wächst so hoch auf, daß die Sedimentfracht des Flusses bei Überschwemmungen nur noch selten auf diese Fläche gebracht wird (Bildung der Mineralkohlen), und sich schließlich reine Torfe bilden können.

Genetische Ursachen haben auch die hohen Aschegehalte einiger heller Lithotypen aus der Borkener Kohle. Träger der hohen Aschegehalte sind detritische Quarzsandkörner und beim weißen Doppelband Karbonat. Das Karbonat tritt in Form von kleinen Kügelchen ( $\emptyset$  0,1 - 1mm) dispers verteilt in der organischen Grundmasse auf (Taf. 2, Fig. 4). Ähnliche Kalkeinlagerungen werden von JACOB (1952: Abb. 1 und 2) aus einer bulgarischen Braunkohle beschrieben und als syngenetische Abscheidungen von Mikroben gedeutet. Nach dem eingangs gesagten müssen während der Bildung der aschereichen hellen Schichten hohe Wasserstände geherrscht haben. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, daß sie ständig von einem stehenden Gewässer überdeckt waren. Vielmehr ist für den Transport des Quarzsandes bewegtes Wasser erforderlich. Die Torfoberfläche selbst kann phasenweise durchaus trocken gefallen sein.

Für die Bildung kalkhaltiger Torfe unter stark wechselnden hydrologischen Bedingungen wird von SPACKMAN, RIEGEL & DOLSEN (1969) ein rezentes Beispiel aus den Florida-Everglades beschrieben. Hier entstehen zu Zeiten hoher Wasserstände Algenmatten, an denen sich aus dem karbonathaltigen Wasser Kalk abscheidet. Das gleiche Gebiet fällt aber jahreszeitlich vollkommen trocken.

Hohe Wasserstände können auch nicht das entscheidende Kriterium für die Bildung heller Lithotypen sein, denn neben den aschereichen Schichten kommen in Borken auch helle Schichten vor, die sich im Aschegehalt nicht von den dunklen Lithotypen unterscheiden. Allerdings scheinen hohe Aschegehalte und besonders Quarzsandgehalte bevorzugt an helle Lithotypen gebunden zu sein (vgl. JACOB 1966: Zahlentaf. 3).

Neben der Menge der syn- und epigenetisch in einen Torf eingebrachten Substanz wirkt sich auch der Zersetzungsgrad eines Torfes auf den Aschegehalt aus, da eine starke Zersetzung der organischen Substanz zu einer relativen Anreicherung der mineralischen Komponenten führt. Dies könnte eine der Ursachen für den Anstieg des durchschnittlichen Aschegehaltes von 7,4% am Hirschberg (ohne Lebererz) über 10,3% in Ostheim auf 20,8% in Borken sein. Die relativ hohen Aschegehalte der Vizthumer Kohle (13,6% ohne Diatomeenkohle) und der Kohle von Dörentrup (29,1%), die beide nur geringe Zersetzungsgrade aufweisen, müssen demgegenüber faziell bedingt sein. Wahrscheinlich spiegelt sich hier wieder, daß die Hessischen Braunkohlen in weiten, flachen Senken innerhalb eines großen vermoo- renden bzw. verlandenden Gebietes gebildet wurden, während sowohl die Dörentrupe als

auch die Vizthumer Kohle eng an fluviatile Systeme gebunden sind. In den weitspannigen Senken ist aufgrund der geringen Reliefenergie die Transportkraft der dem Moor zufließenden Gewässer nur gering. Nur selten reicht sie aus etwa Quarzsand zu transportieren und im Moor aschereiche Schichten zu erzeugen. Fluviatile Systeme entwickeln zumindest während Hochwasserphasen eine vergleichsweise große Transportenergie. Moore in ihrem Einzugsbereich sind entsprechend aschereicher; die Aschegehalte innerhalb des Flözes stärkeren Schwankungen unterworfen.

#### V.1.2. DER KOHLENSTOFFGEGHALT IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN LAGERSTÄTTEN UND LITHOTYPEN

Der Kohlenstoffgehalt ist im engeren Sinne das Maß für den Inkohlungsgrad organischer Substanzen. Allerdings dürfen nur gleiche Stoffgruppen verglichen werden, da beispielsweise die Kohlenstoffgehalte der Mazerale der Liptinit-Gruppe ca. 10% höher liegen als die der Mazerale der Huminit-Gruppe (ICCP 1971). Wegen der innigen Verwachsung der Braunkohlenmazerale untereinander ist es aber nur schwer möglich, chemische Untersuchungen an einem Bestandteil durchzuführen. Es muß in der Regel die Gesamtkohle untersucht werden. Insofern ist es zunächst wichtig festzustellen, welche Bestandteile den Kohlenstoffgehalt der untersuchten Kohlen wie beeinflussen.

Der Einfachheit halber soll zunächst nur die Borkener Kohle betrachtet werden. Hier schwanken die Kohlenstoffgehalte (waf) zwischen 65 und 75%. Die Mazerale der Inertinit-Gruppe können im folgenden unberücksichtigt bleiben, da sie quantitativ vollkommen unbedeutend sind. Die Spanne von 10% entspricht der Differenz zwischen den Kohlenstoffgehalten von Huminiten und Liptiniten gleichen Inkohlungsgrades. Da in der Borkener Kohle die Gehalte an partikulierten Liptiniten aber unabhängig von den Lithotypen recht einheitlich zwischen 10 und 20% liegen, können die Liptinitgehalte nicht die Ursache für die festgestellten Unterschiede sein. Im Diagramm Kohlenstoffgehalt/Liptinitgehalt (Abb. 23) ist auch keine Beziehung zwischen diesen Größen zu erkennen.

Die Kohlenstoffgehalte der Huminite liegen durchschnittlich zwischen 64 und 68% (u.a. ICCP 1971, NEUMANN & JACOB 1956, SCHRÖDER & TEICHMÜLLER 1958), also durchweg am unteren Ende der in Borken bestimmten Werte. Auch in Borken sind diese Werte an Attrinit- bzw. Densinit-betonte Lithotypen gebunden. Für die erhöhten Kohlenstoffgehalte (waf) der hellen Lithotypen kann letztendlich nur die "stark fluoreszierende Grundmasse" verantwortlich sein. Im Diagramm Kohlenstoffgehalt/Gehalt an "stark fluoreszierender Grundmasse" wird diese Beziehung deutlich (Abb. 23). Die relativ große Streuung der Einzelwerte ist auf unterschiedliche Gehalte an Liptiniten und unterschiedliche Vergelungsgrade zurückzuführen (siehe unten).

Anders liegen die Verhältnisse in den jüngeren Kohlen. Hier spielt die "stark fluoreszierende Grundmasse" kaum noch eine Rolle. Als Beispiel für einen Übergangstyp sei die Ostheimer Kohle angeführt. Hier sind lediglich bei drei Proben aus dem Bereich des hellen

Doppelbandes hohe Kohlenstoffgehalte mit erhöhten Gehalten der "stark fluoreszierenden Grundmasse" verbunden (Abb. 23). Eine recht gute Beziehung ergibt sich aber zwischen dem Kohlenstoffgehalt (waf) und dem Gehalt an Liptiniten. Die innerhalb der jüngeren Braunkohlen festgestellten Unterschiede im Kohlenstoffgehalt spiegeln demnach im wesentlichen die wechselnden Liptinitanteile wieder.

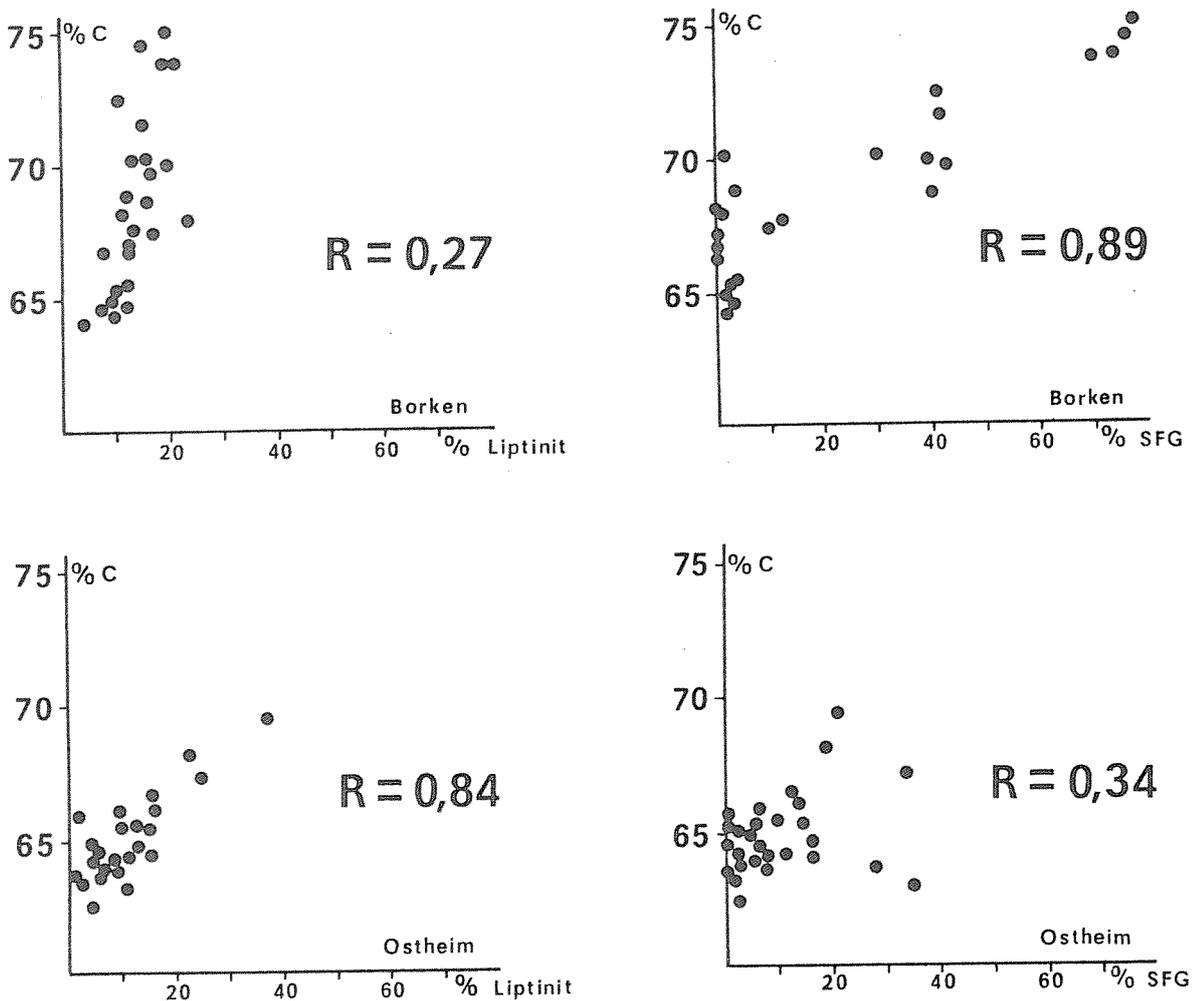


Abb. 23 Beziehung zwischen Kohlenstoffgehalten und den Gehalten an Liptiniten bzw. "stark fluoreszierender Grundmasse" in den Braunkohlen von Borken und Ostheim.

R = durch lineare Regression ermittelter Korrelationskoeffizient

In allen untersuchten Lagerstätten liegen die Werte für die am stärksten vergelten Liptotypen am unteren Ende der Skala. Dies stimmt mit dem Befund TEICHMÜLLER's überein (1950), daß stark vergelte Schilfrhizome aus einem Tonmittel der Grube Liblar einen um 2 bis 5% geringeren Kohlenstoffgehalt aufweisen als die Liblarer Braunkohle.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß innerhalb der einzelnen Lagerstätten die hellen Liptotypen stets höhere Kohlenstoffgehalte (waf) aufweisen als die dunklen. Es konnte gezeigt werden, daß dieses in erster Linie durch stoffliche Unterschiede in der Ausbildung der Grundmasse verursacht wird. Die bei den Mazeralanalysen durchgeführte und mikrophoto-

metrisch bestätigte Trennung zwischen dem Humodetrinit und der "stark fluoreszierenden Grundmasse" wird durch die unterschiedlichen Kohlenstoffgehalte dieser Bestandteile erhärtet. Stoffliche Unterschiede sind auch die Ursache für die Schwankungen der Kohlenstoffgehalte (waf) in den Flözen, in denen die "stark fluoreszierende Grundmasse" keine Rolle spielt und die folglich kaum farbliche Differenzierungen aufweisen. Zunehmen sind wechselnde Liptinitgehalte und unterschiedliche Vergelungsgrade. Hohe Vergelungsgrade sind bevorzugt an Humotelinit-reiche, hohe Liptinit-Gehalte an Humotelinit-arme Lithotypen gebunden (vgl. Kap. III.7.). Hierdurch erklärt sich, daß die gewebereichen Lithotypen durchschnittlich kohlenstoffärmer (waf) sind als die gewebearmen.

Die wechselnden Kohlenstoffgehalte (waf) der organischen Substanz der untersuchten Braunkohlen werden also durch wechselnde Anteile strukturchemisch unterschiedlicher Bestandteile hervorgerufen. Die durchgeführten Kohlenstoffbestimmungen entsprechen deshalb nicht einer klassischen Inkohlungsgradbestimmung. Steigende Kohlenstoffgehalte (waf) mit zunehmendem Destruktionsgrad und zunehmender Helligkeit der Lithotypen sind aber mit einer mikrophotometrisch an den Fluoreszenzspektren von Sporiniten belegten Erhöhung des biochemischen Inkohlungsgrades verbunden. Die stofflichen Unterschiede, hervorgerufen durch Destruktion der Gewebereste, Anreicherung von Liptiniten und Bildung der "stark fluoreszierenden Grundmasse", die die wechselnden Kohlenstoffgehalte bewirken, gehen demnach offensichtlich auf eine unterschiedliche biochemische Beanspruchung (Inkohlung) der Lithotypen zurück. Indirekt ist folglich der Kohlenstoffgehalt (waf) als Maß für die Beurteilung des Inkohlungsgrades gut geeignet.

## V.2. L Ö S L I C H K E I T I N K A L I L A U G E U N D S A L P E T E R S Ä U R E

Die klassischen Gothan'schen Reaktionen mit Kalilauge und Salpetersäure werden zur Abgrenzung der Braunkohlen gegen die Steinkohlen benutzt. Sie beruhen auf strukturchemischen Unterschieden dieser Gesteine und wurden auf die untersuchten Braunkohlen angewandt, um die verschiedenen Lithotypen im Hinblick auf ihre Genese zu charakterisieren.

Laugen sind die klassischen Reagenzien zur Bestimmung von Huminsäuren (STEVENSON & BUTLER 1969), da diese aufgrund ihres Säurecharakters in Basen mit brauner Farbe löslich sind. Die Farbtiefe der Lösungen ist ein Anhaltswert für den Huminsäuregehalt der untersuchten Kohlen (NAUCKE 1980). Hierdurch bieten sich kolorimetrische Verfahren zur Abschätzung der Huminsäuregehalte an. Schon KAUNERT (1926) erbrachte den Beweis, daß sich die Farbe der Lösungen verschiedener Huminsäuren und ihrer Vorstufen (Fulvosäuren, Hymatome-lansäuren, Braun- und Grauhuminsäuren) im für das Auge sichtbaren Bereich nicht meßbar unterscheidet, was durch eigene Untersuchungen auch für die Hessischen Braunkohlen bestätigt werden kann. Da sich auch die bei der quantitativen Huminsäurebestimmung vorgeschriebene Entaschung und Entbituminierung der Kohle (KREULEN 1962) nicht auf die Relationen der Lichtabsorptionswerte untereinander auswirken (SÜSS 1957), konnte bei der

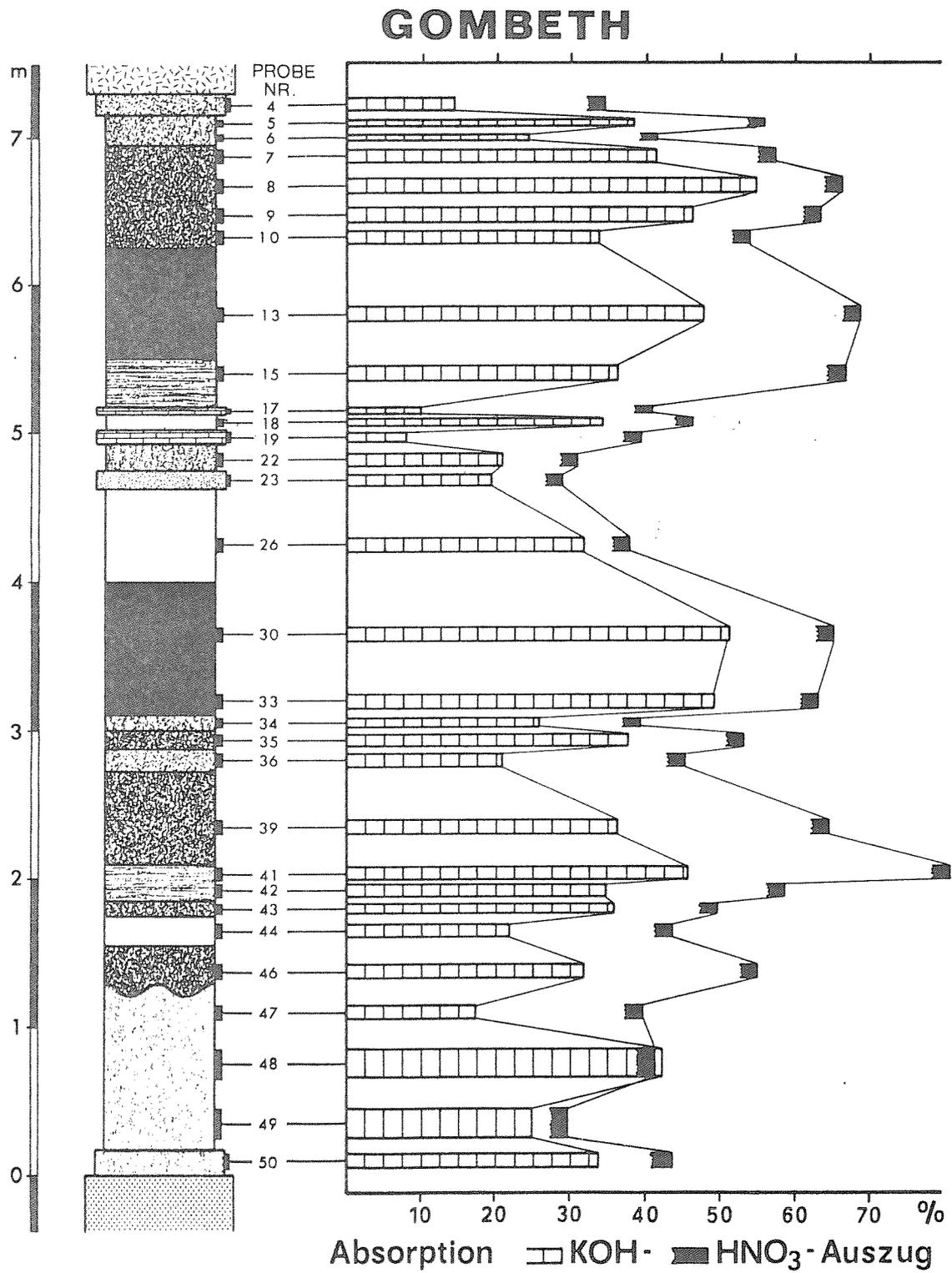


Abb. 24 Löslichkeit der Borkener Braunkohle im Tagebau Gombeth in Kalilauge und Salpetersäure. Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

Abschätzung der Huminsäuregehalte nach einer recht einfachen Methode verfahren werden (vgl. SÜSS 1957, KREULEN 1962):

Zur Herstellung der KOH-Auszüge wurde soviel lufttrockenes, pulverisiertes Material in ein 150ml Becherglas eingewogen, wie 0,5g aschefreier Kohle entspricht. Nach Zusatz von 50ml 0,5%iger Kalilauge wurde die Suspension unter ständigem Rühren in drei bis vier Minuten bis zum Siedepunkt erhitzt und anschließend durch einen Faltenfilter filtriert. Die Farbintensität der im Verhältnis 1 : 50 mit 0,5%iger Kalilauge verdünnten Lösung wurde mit dem Spektralphotometer PM 4 der Fa. Zeiss/Oberkochen in der Küvette 1,00 OS bei einer Wellenlänge von 650nm beurteilt.

Die Verfärbung der Salpetersäureauszüge von Kohlen, die als "Ligninreaktion" oder "Methoxylreaktion" bekannt ist, soll auf der Reaktion der Methoxyl-(CH<sub>3</sub>O-)gruppen des Lignins beruhen (z.B. SÜSS 1957). KREULEN (1962) konnte aber zeigen, daß die Verfärbung weder mit Lignin noch mit Methoxylgruppen zusammenhängt, da reines Lignin nur eine sehr schwache Verfärbung der Salpetersäure hervorruft, während etwa Dopplerit stark gefärbte Lösungen ergibt. Der Vergleich mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> als Lösungsmittel bestätigte, daß die Verfärbung auf Oxidationsprodukten der Kohle beruht. Die "Ligninreaktion" ist also im Wesen eine Reaktionsfähigkeitsbestimmung gegenüber Sauerstoff (KREULEN 1962).

Zur Herstellung der HNO<sub>3</sub>-Auszüge wurde 0,5g (af) lufttrockene, pulverisierte Kohle in einem 150ml Erlenmeyerkolben mit 50ml 5%iger Salpetersäure versetzt und vier Stunden lang auf 60 °C erhitzt (vgl. SÜSS 1957). Nach mehrmaligen Zentrifugieren wurde die Farbintensität der überstehenden Lösung photometrisch bei einer Wellenlänge von 500nm bestimmt (Küvette 4,000 OS 182).

Die Absorptionswerte der KOH-Auszüge schwanken in der B o r k e n e r Kohle zwischen 10 und 50% (Abb. 24). Im Durchschnitt ergibt sich für das ganze Flöz ein Wert von 36%. Die ermittelten Schwankungen sind deutlich mit dem Wechsel der Lithotypen korreliert. Die höchsten Werte sind an die schwarzen Grundmassenkohlen gebunden. Helle und mittelhelle Lithotypen zeigen eine deutlich schwächere Reaktion. Die Werte für die Gewebegrundmassenkohlen liegen erheblich niedriger als für die schwarzen Grundmassenkohlen, obwohl beide gleich stark vergelt sind. Im Mittel ergeben sich für

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	26,4% Abs. (KOH)
Wasserkohle	29,7% Abs. (KOH)
dunkle Grundmassenkohlen	38,8% Abs. (KOH)
schwarze Grundmassenkohlen	49,5% Abs. (KOH)
Gewebegrundmassenkohlen	38,1% Abs. (KOH)

Die Schwankungen der Farbintensität der HNO<sub>3</sub>-Auszüge gehen weitgehend denen der KOH-Auszüge parallel. Eine Ausnahme machen die Gewebegrundmassenkohlen. Sie besitzen ähnliche Absorptionswerte wie die schwarzen Grundmassenkohlen. Durchschnittlich zeigen

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	39,4% Abs. (HNO <sub>3</sub> )
Wasserkohle	37,9% Abs. (HNO <sub>3</sub> )
dunkle Grundmassenkohlen	60,1% Abs. (HNO <sub>3</sub> )
schwarze Grundmassenkohlen	66,6% Abs. (HNO <sub>3</sub> )
Gewebegrundmassenkohlen	68,4% Abs. (HNO <sub>3</sub> )

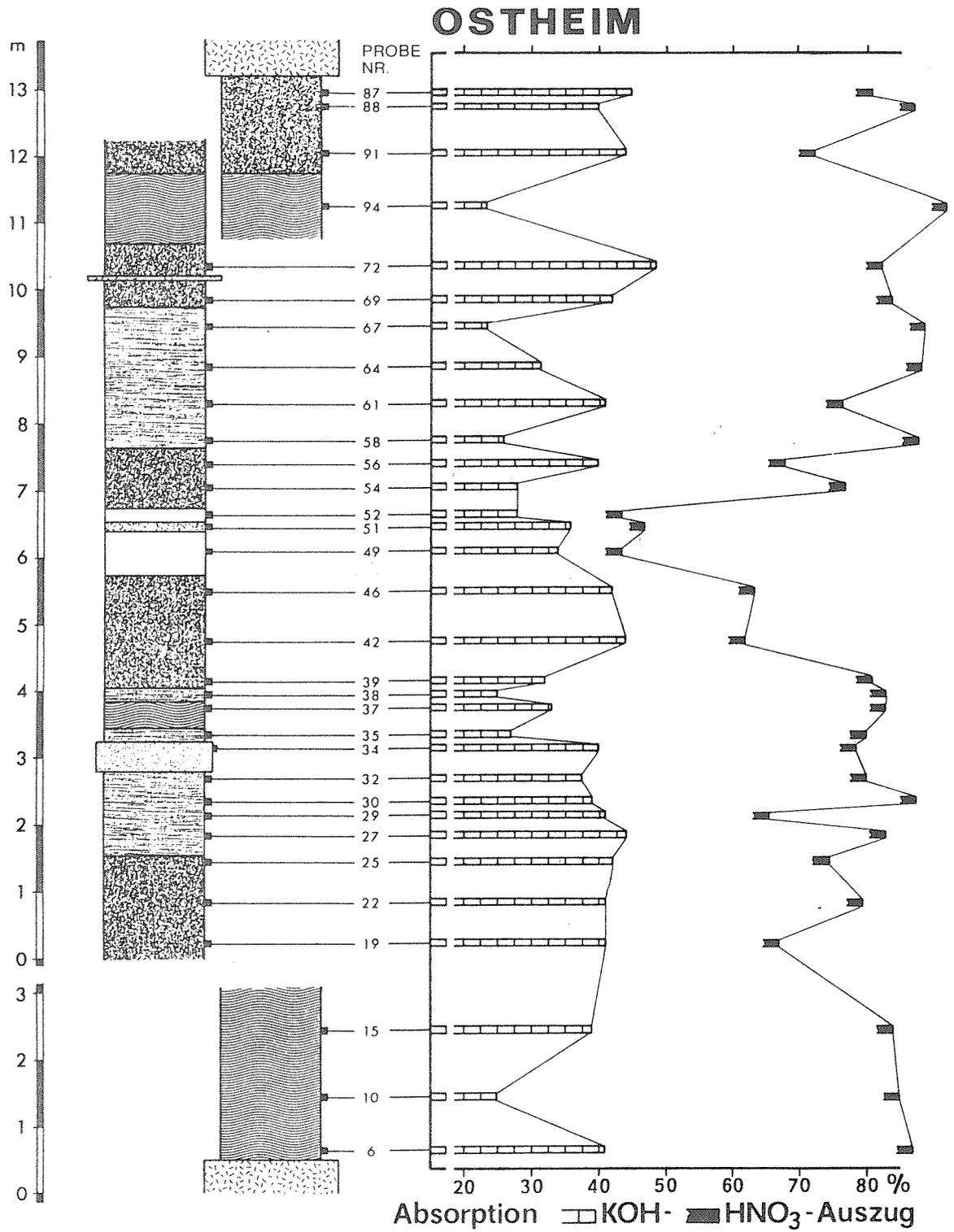


Abb. 25 Löslichkeit der Ostheimer Braunkohle in Kalilauge und Salpetersäure.  
Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

In der O s t h e i m e r Kohle ist die Schwankungsbreite der Absorptionswerte der KOH-Auszüge (25 bis 40%) geringer als in Borken. Die höchsten Werte werden im Schnitt von den dunklen Grundmassenkohlen erreicht. Niedrige Werte sind an helle Grundmassenkohlen und Xylitische Kohlen gebunden. Die Gewebegrundmassenkohlen zeigen ein differenziertes Bild. Die Einzelwerte schwanken zwischen denen der Xylitischen Kohlen und denen der dunklen Grundmassenkohlen, sind aber überwiegend recht niedrig. Im Mittel ergeben sich für

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	33,0% Abs. (KOH)
dunkle Grundmassenkohlen	40,4% Abs. (KOH)
Gewebegrundmassenkohlen	33,5% Abs. (KOH)
Xylitische Kohlen	31,0% Abs. (KOH)

Es zeigen sich damit ähnliche Abhängigkeiten zu den Lithotypen wie in Borken. Das Maximum der Farbtiefe wird in den jeweils dunkelsten Grundmassenkohlen erreicht. Sowohl in Richtung auf helle Grundmassenkohlen als auch in Richtung auf gewebereichere Lithotypen nimmt die Farbtiefe ab.

Eine größere Schwankungsbreite zeigt sich bei den  $\text{HNO}_3$ -Auszügen. Auffallend niedrige Werte sind an die hellen und mittelhellen Grundmassenkohlen in der Flözmitte gebunden. In den Gewebegrundmassenkohlen und Xylitischen Kohlen werden in der Regel höhere Werte erreicht als in den dunklen Grundmassenkohlen. Im Mittel ergeben sich für

helle und mittelhelle Grundmassenkohlen	43,9% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
dunkle Grundmassenkohlen	74,7% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Gewebegrundmassenkohlen	83,2% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Xylitische Kohlen	86,8% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )

In der H i r s c h b e r g e r Kohle liegen die Farbwerte für die KOH-Auszüge bei den Gewebekohlen und den Xylitischen Kohlen in der Regel niedriger als bei den Gewebegrundmassenkohlen (Abb. 26). Bei einem Flözdurchschnitt von 33% schwanken die Einzelwerte zwischen 25 und 50%. Im Mittel ergeben sich für

Gewebegrundmassenkohlen	39,2% Abs. (KOH)
Gewebekohlen	26,6% Abs. (KOH)
Xylitische Kohlen	25,4% Abs. (KOH)

Wie in Borken und Ostheim nimmt die Farbtiefe der KOH-Auszüge mit zunehmender Gewebeführung ab.

Bei der  $\text{HNO}_3$ -Reaktion ist nur eine undeutliche Beziehung zu den Lithotypen zu erkennen. Die Werte für die Xylitischen Kohlen liegen im Schnitt am niedrigsten. Da diese im wesentlichen auf den liegenden Flözteil beschränkt sind, ergibt sich innerhalb des Flözes von unten nach oben eine tendenzielle Zunahme der Farbtiefe. Als Durchschnittswerte wurden ermittelt:

Gewebegrundmassenkohlen	61,9% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Gewebekohlen	59,2% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Xylitische Kohlen	54,5% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )

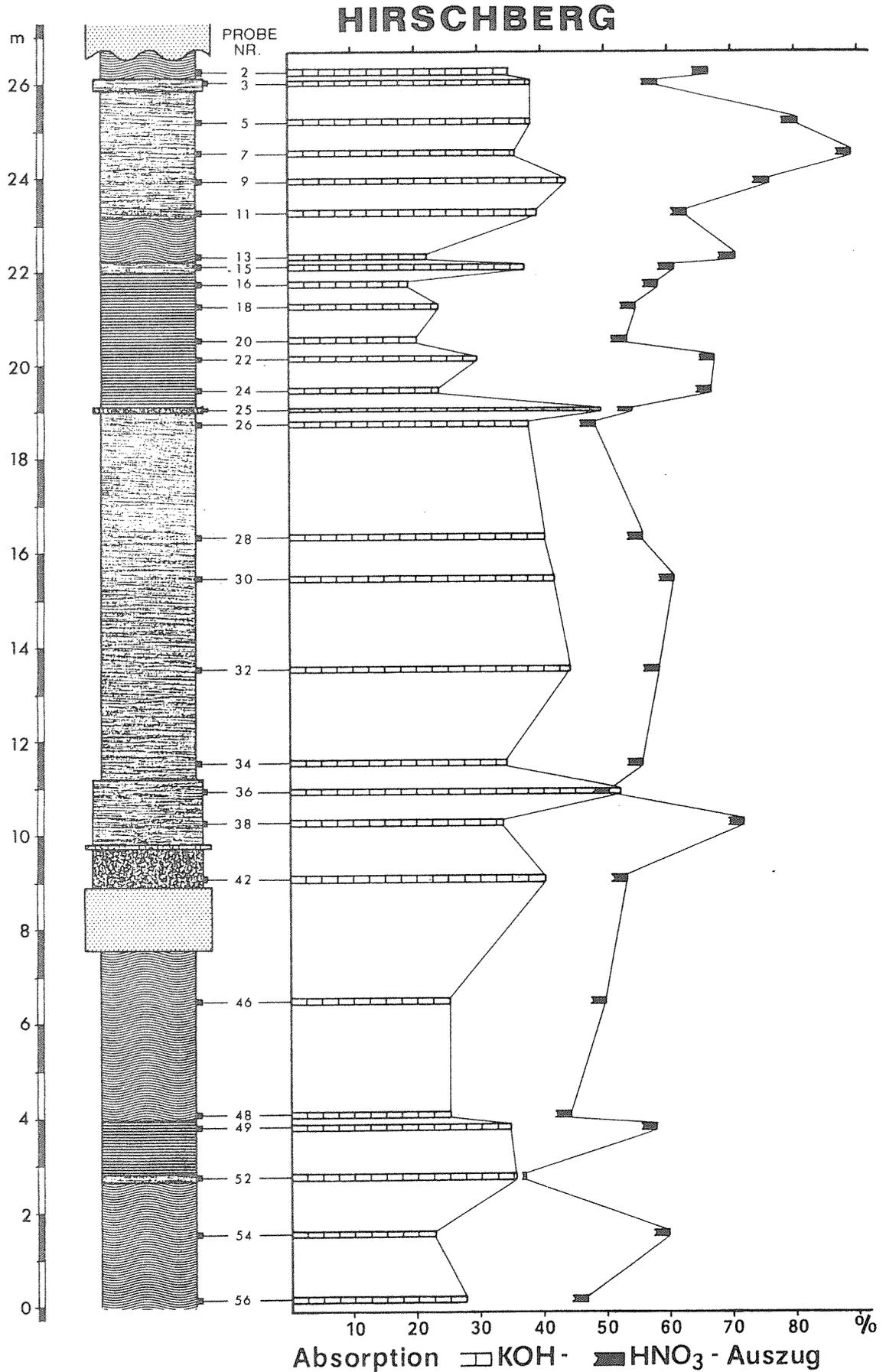


Abb. 26 Löslichkeit der Hirschberger Braunkohle (Flöz III, Tagebau Paradiesfeld) in Kalilauge und Salpetersäure. Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

In der Vizthumer Kohle schwankt die Farbtiefe der KOH-Auszüge mit Absorptionen zwischen 1% und 50% sehr stark (Abb. 27). Die niedrigsten Werte sind an die Xylitischen Kohlen und an die Diatomeenkohlen gebunden. Hohe Farbtiefen werden von dunklen Grundmassenkohlen hervorgerufen. Die hellen Grundmassenkohlen und die Gewebegrundmassenkohlen nehmen ebenso wie der zu hellem Mulm zersetzte Xylit eine mittlere Stellung ein. Im Mittel ergeben sich für

helle Grundmassenkohlen	26,6% Abs. (KOH)
dunkle Grundmassenkohlen	43,8% Abs. (KOH)
Gewebegrundmassenkohlen	19,4% Abs. (KOH)
Xylitische Kohlen	6,9% Abs. (KOH)
Diatomeenkohlen	4,4% Abs. (KOH)
zersetzter Xylit	12,6% Abs. (KOH)

Auch wenn man berücksichtigt, daß sich diese Mittelwerte aus jeweils nur wenigen Doppelbestimmungen ergeben, muß betont werden, daß sich die gleiche Beziehung zwischen Lithotypen und Reaktionsfähigkeit mit Kalilauge zeigt wie in der Borkener, Ostheimer und Hirschberger Kohle.

Extremen Schwankungen sind in der Vizthumer Kohle auch die Farbtiefen der  $\text{HNO}_3$ -Auszüge unterworfen. Die hellen Grundmassenkohlen weisen stets niedrige Werte auf. Auch der zu hellem Mulm zersetzte Xylit reagiert nur schwach mit Salpetersäure. Die Werte aus den Diatomeenkohlen und aus den Xylitischen Kohlen streuen breit. Durchschnittlich nehmen sie eine mittlere Stellung ein. Die Reaktion der Gewebegrundmassenkohlen ist durchweg stark. Im Mittel ergeben sich für

helle Grundmassenkohlen	49,5% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
dunkle Grundmassenkohlen	74,1% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Gewebegrundmassenkohlen	92,7% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Xylitische Kohlen	75,0% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Diatomeenkohlen	82,1% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
zersetzter Xylit	33,5% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )

In der Dörentruper Kohle liegt die Farbtintensität der KOH-Auszüge in der Regel um 40% (Abb. 28). Lediglich die Mineralkohle an der Basis der unteren Flözbank erreicht einen Wert über 60%. Eine Abhängigkeit zwischen Farbtintensität und Lithotypen ist nicht zu erkennen. Die Mittelwerte für die einzelnen Lithotypen weichen kaum vom Mittelwert für das ganze Flöz ab. Die durchschnittliche Farbtintensität beträgt bei

dunklen, grundmassereichen Mineralkohlen	40,4% Abs. (KOH)
Gewebegrundmassenkohlen	40,1% Abs. (KOH)
Xylitischen Kohlen	38,0% Abs. (KOH)

Auch die Farbtintensität der  $\text{HNO}_3$ -Auszüge läßt in Dörentrup keine Differenzierung von Lithotypen zu. Als Durchschnittswerte wurden ermittelt für

dunkle, grundmassereiche Mineralkohlen	63,3% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Gewebegrundmassenkohlen	59,5% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )
Xylitische Kohlen	59,5% Abs. ( $\text{HNO}_3$ )

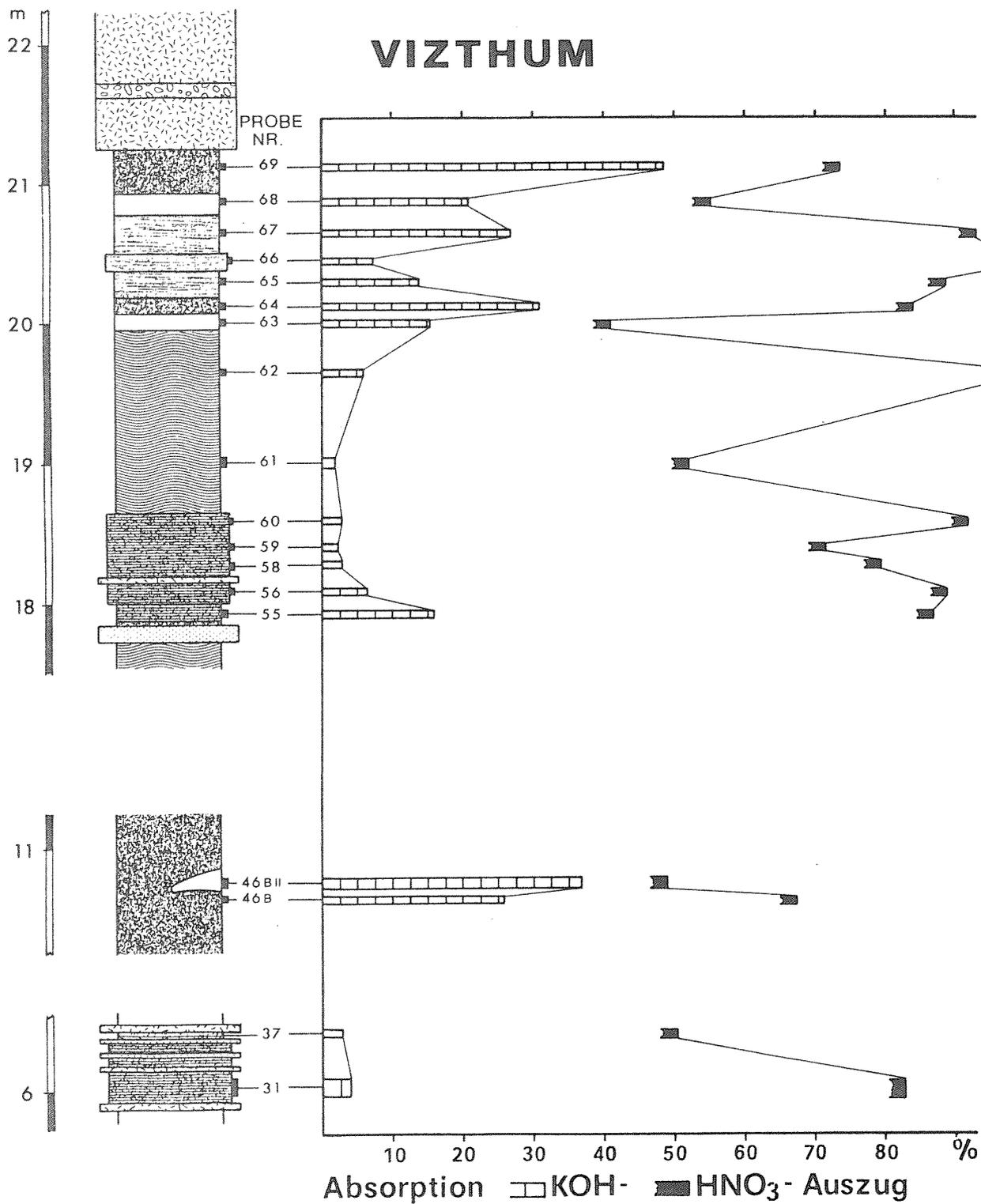


Abb. 27 Löslichkeit der Schwandorfer Braunkohle (ausgesuchte Profilabschnitte aus dem Tagebau Vizthum) in Kalilauge und Salpetersäure.

Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

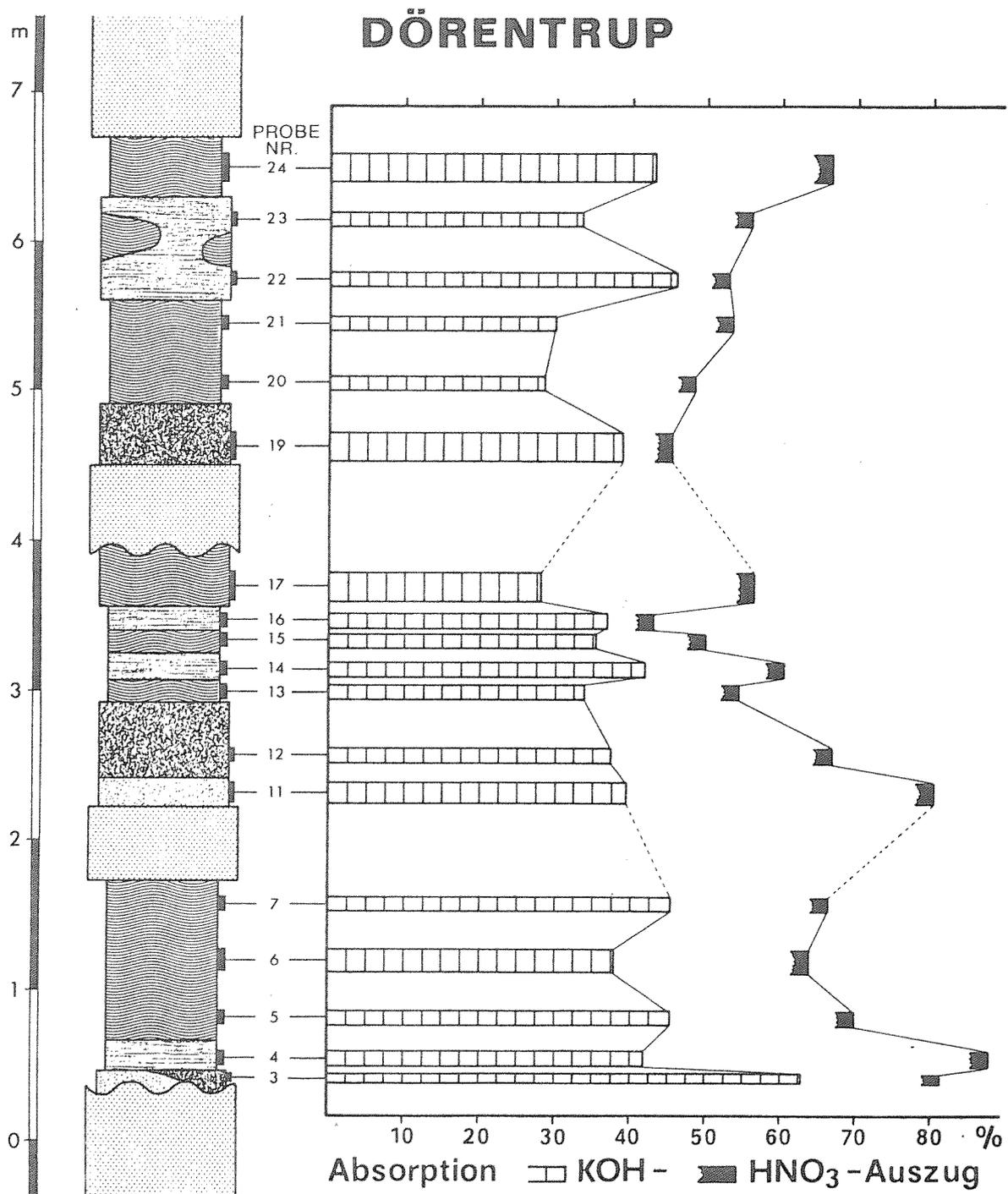


Abb. 28 Löslichkeit der Dörentruiper Braunkohle in Kalilauge und Salpetersäure.  
 Legende zur Profilsäule: siehe Abb. 8

### V.2.1. DIE SALPETERSÄUREREAKTION ALS INKOHLUNGSPARAMETER

Trägt man die Farbintensität der  $\text{HNO}_3$ -Auszüge gegen den Kohlenstoffgehalt (waf) auf, zeigt sich die Eignung der Salpetersäurelöslichkeit als Inkohlungsparameter. Hohen Kohlenstoffgehalten entsprechen in der Regel geringe Farbintensitäten, niedrigen Kohlenstoffgehalten hohe Farbintensitäten (Abb. 29). Zum gleichen Ergebnis kam KREULEN (1962) bei der Untersuchung von Braunkohlen aus unterschiedlichen Lagerstätten. Er führt diese Abhängigkeit auf einen unterschiedlichen Kondensationsgrad der humosen Kohlesubstanz zurück. Diese Deutung kann für die untersuchten Lagerstätten allerdings nicht zutreffen. Ein erhöhter Kondensationsgrad müßte sich mikropetrographisch in einer Erhöhung des Reflexionsvermögens und in einer Verminderung des Fluoreszenzvermögens ausdrücken (JACOB 1956). Die geringsten Farbintensitäten der  $\text{HNO}_3$ -Auszüge und die höchsten Kohlenstoffgehalte wurden aber bei den vorliegenden Untersuchungen stets bei den Lithotypen erreicht, deren Grundmasse schwach reflektiert und deutlich fluoresziert ("stark fluoreszierende Grundmasse").

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Fluoreszenzintensitätsmessungen (Kap. IV.1.) und der Kohlenstoffbestimmungen (Kap. V.1.) ist davon auszugehen, daß sich in den beobachteten Löslichkeitsunterschieden in erster Linie die Stoffgruppenzusammensetzung der Lithotypen widerspiegelt. Die Löslichkeitsunterschiede (und damit die Stoffgruppenzusammensetzung) könnten auf eine unterschiedliche synsedimentäre oder frühdiagenetische oxidative Beanspruchung der Lithotypen zurückgehen, da die Färbung der Salpetersäureauszüge auf Oxidationsprodukten der Kohle beruht. Man muß allerdings voraussetzen, daß eine primär hohe oxidative Beanspruchung in der Braunkohle die Menge der leicht oxidierbaren Bestandteile herabgesetzt hat.

### V.2.2. DER HUMINSÄUREGEHALT (KOH-LÖSLICHKEIT) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN LITHOTYPEN

Die Färbung der KOH-Auszüge der untersuchten Kohlen beruht im wesentlichen auf Huminsäuren. Nicht-säurefällbare Fulvosäuren sind an der Färbung kaum beteiligt, denn nach Versetzen der Lösungen mit HCl verschwindet die Färbung nahezu vollständig (Lichtabsorption kleiner 0,1%).

Trägt man die Farbintensität der KOH-Auszüge (im folgenden als Huminsäuregehalt bezeichnet) gegen den Kohlenstoffgehalt (waf) auf, ergibt sich für die untersuchten Lagerstätten ein zunächst recht uneinheitlich erscheinendes Bild (Abb. 30). Es sind aber Trends abzulesen, die in Bezug auf die Lithotypen- und Mazeralgenese von Bedeutung sind. Geht man von den gewebereichsten Lithotypen aus, so zeigt sich, besonders deutlich am Hirschberg, daß der Huminsäuregehalt von den Xylitischen Kohlen und Gewebekohlen in Richtung auf die Gewebegrundmassenkohlen zunimmt. Dieser Trend setzt sich bis zu den dunklen Grundmassenkohlen fort, wie am Beispiel der Ostheimer und Vizthumer Kohle zu sehen ist. Werden die Lithotypen aber noch stärker detritisch, nimmt der Huminsäuregehalt wieder deutlich ab, was die Diagramme der Borkener (Gombeth), Ostheimer und Vizthumer Kohle belegen.

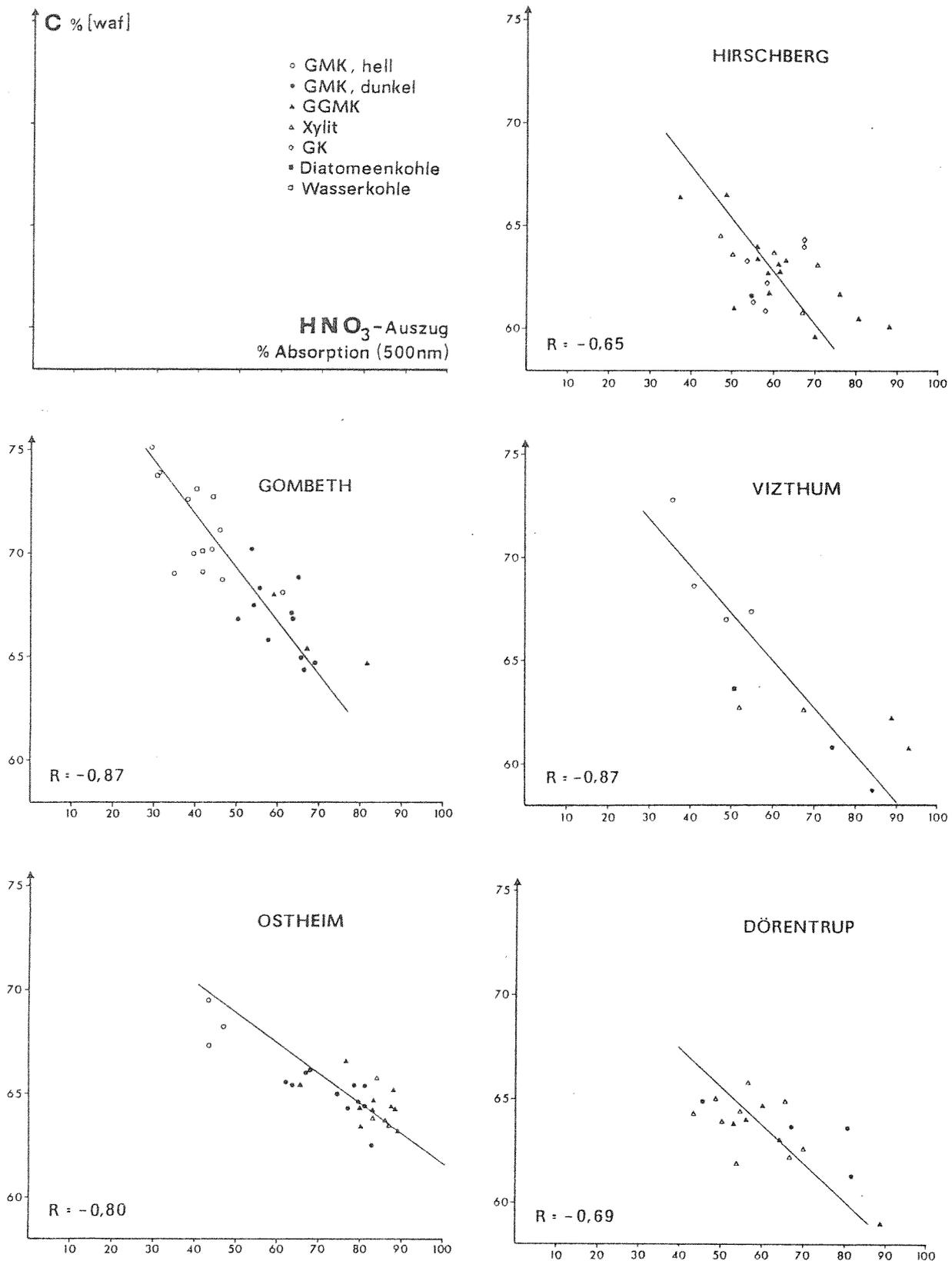


Abb. 29 Lichtabsorption der Salpetersäureauszüge der untersuchten Braunkohlen in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt. R = durch lineare Regression ermittelter Korrelationskoeffizient

GMK = Grundmassenkohle, GGМК = Gewebegrundmassenkohle, GK = Gewebekohle

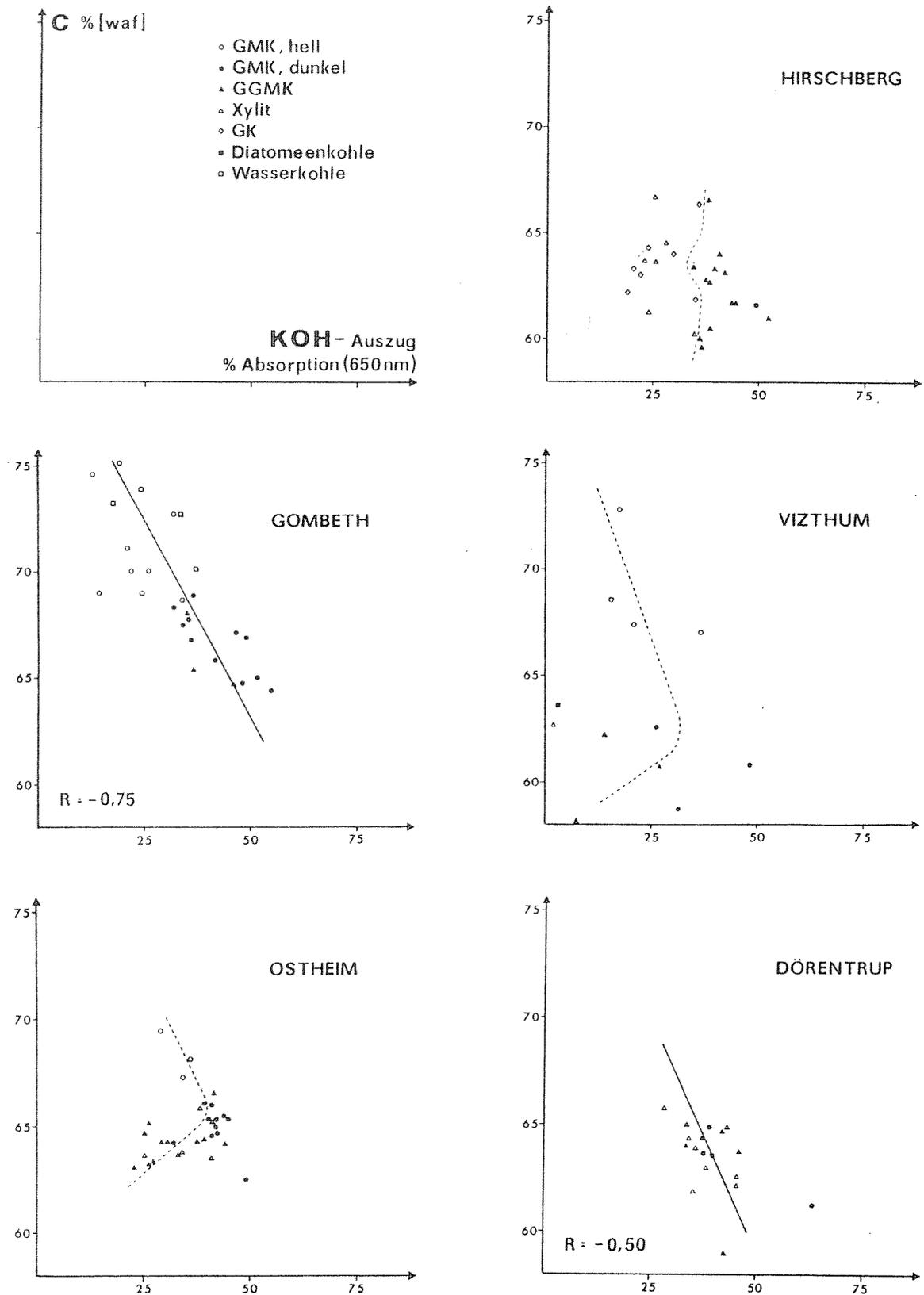


Abb. 30 Lichtabsorption der Kalilaugeauszüge der untersuchten Braunkohlen in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt.  $R$  = durch lineare Regression ermittelter Korrelationskoeffizient

GMK = Grundmassenkohle, GGMK = Gewebegrundmassenkohle, GK = Gewebekohle

Offensichtlich ist der Abbau von Humotelinit und die Bildung von Humodetrinit mit einer starken Huminsäurebildung verbunden. Kommt es aber zu einem noch stärkeren Abbau des Zellwandmaterials und zur Bildung der "stark fluoreszierenden Grundmasse", wird ein Teil der Huminsäuren wieder zerstört.

Huminsäuren bilden sich oxidativ unter der Mitwirkung von Mikroben aus Abbauprodukten von Lignin, Zellulose und Proteinen (KREULEN 1962, KRÖGER 1966, STEVENSON & BUTLER 1969, HUC 1980). Mit dem Abbau von Pflanzenmaterial ist, bewirkt durch die parallel verlaufende Huminsäurebildung, eine Farbvertiefung verbunden (JACOB 1956). Auf diese Weise erklärt sich der Remissionsunterschied zwischen den relativ hellen Xyliten und den huminsäurereichen dunklen Lithotypen. SPRINGER & LEHNER (1952, zit. in JACOB 1956) konnten bei mehrjährigen Gefäßversuchen feststellen, daß unter ständig aeroben Bedingungen schon nach einjähriger Rotte die Farbtiefe der Humusstoffe ihr Maximum erreicht. Nach dieser Zeit tritt wieder eine Aufhellung, daß heißt ein Abbau der Humusstoffe ein. Demgegenüber konnte unter mehr reduzierenden Bedingungen auch nach acht Jahren noch eine Zunahme der Farbtiefe verzeichnet werden.

Im Einklang mit den Ergebnissen der Salpetersäurelöslichkeits-Untersuchungen scheint es somit offensichtlich, daß die stark detritischen hellen Lithotypen und die "stark fluoreszierende Grundmasse" unter stärker oxidierenden Bedingungen entstanden sind als die dunklen, Humodetrinit-reichen Lithotypen.

### V.3. L Ö S L I C H K E I T I N B E N Z O L ( B I T U M E N G E H A L T )

Substanzen, die mit organischen Lösungsmitteln wie Benzol, Benzol-Alkohol, Alkohol, Chloroform und so weiter aus Sedimenten extrahiert werden können, werden als Bitumen bezeichnet (WOLLRAB & STREIBEL 1969). Je nach Art des benutzten Lösungsmittels ändert sich bei sonst gleichbleibenden Untersuchungsbedingungen die Extraktausbeute (JACOB 1960). Für wissenschaftliche Untersuchungen werden als Extraktionsmittel meist Benzol oder Benzol-Alkohol-Gemische eingesetzt. Die Bitumenausbeute der Benzol-Alkohol-Extraktion ist bekanntermaßen größer als die der Benzol-Extraktion (zum Beispiel v.d.BRELIE & WOLF 1981). Da aber Benzol-Alkohol-Gemische Humusstoffe wie Hymatomelansäuren mitlösen, wurde bei den vorliegenden Untersuchungen weitgehend Benzol als Lösungsmittel eingesetzt.

Die Extraktionen erfolgten in einem Soxhlet-Extraktor. Es wurden 50g lufttrockene Kohle eingesetzt und etwa 400ml Lösungsmittel verwandt. Nach einer Extraktionsdauer von 24 Stunden wurde das im Kolben befindliche Lösungsmittel eingedampft und die Extraktmenge gewogen. Versuche ergaben, daß sich die Extraktausbeute auch bei mehrtägiger Extraktionsdauer nicht mehr merklich steigern ließ. Die angegebenen Bitumengehalte beziehen sich immer auf wasser- und aschefreie Basis (Gew.% waf).

Die Bitumengehalte ausgesuchter Lithotypen sind Tabelle 6 zu entnehmen. Unabhängig von den Lagerstätten ergibt sich eine erhebliche Anreicherung des Bitumens in den hellen Lithotypen. An dieser Stelle soll aber nicht der genetische Aspekt dieser Bitumenanreicherung

rung diskutiert werden. Das wird später im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Dichlormethan-Extraktion (Kap. V.6.1.) geschehen. Beantwortet werden muß zunächst die Frage, an welche petrographisch erkennbare Bestandteile das Bitumen gebunden ist.

Lagerstätte	Go	Ost	Viz	Dö
Lithotyp				
Gewebegrundmassenkohle	2,6	2,6	6,3	4,5
	5,8	4,4		5,6
Grundmassenk., dunkel	10,4	6,1		5,2
Grundmassenk., hell	24,3	17,2	15,3	
		17,2	20,9	
Wasserkohle	24,6			
	19,4			
	24,4			
	19,0			
Diatomeenkohle			8,1	
			8,0	
			8,7	

Tab. 6 Bitumengehalte (Benzol-Extrakt) verschiedener Lithotypen der Braunkohlen von Borken (Go), Ostheim (Ost), Vizthum (Viz) und Dörentrup (Dö).  
Angaben in Gew.% (waf)

Zwischen dem mikropetrographisch bestimmten Gehalt an Protobitumina (Liptinit-Mazeralen) und dem Bitumengehalt gibt es in vielen Lagerstätten eine lose Beziehung (zum Beispiel v.d.BRELIE & WOLF 1981). Seit den Untersuchungen von KRÖGER et al. (1958) und JACOB (1960) ist aber bekannt, daß die figurierten Liptinite nicht oder nur sehr wenig in Lösung gehen. Auch TEICHMÜLLER & THOMSON (1958) erkannten die Diskrepanz zwischen dem Liptinitgehalt und der Bitumenausbeute, die zum Teil den Liptinitgehalt übersteigt. Sie prägten daraufhin den Begriff des "diffusen Bitumens". JACOB (1960) geht davon aus, daß bei der Extraktion stets ein Teil der humosen Substanz (mit) in Lösung geht, und daß demzufolge keine scharfe Grenze zwischen Humus und Bitumen zu ziehen ist.

Da die figurierten Protobitumina als Träger für das Extraktbitumen weitgehend ausscheiden, muß das lösliche Bitumen an die Grundmasse-bildenden Bestandteile gebunden sein. In Kap. IV.2. wurde gezeigt, daß diese Bestandteile durch ihre Fluoreszenzintensität erfaßt werden können. Der Vergleich von Intensitätshistogrammen der gleichen Proben vor und nach der Extraktion zeigt, daß bei der Extraktion in erster Linie die Verteilung um 10%, die der "stark fluoreszierenden Grundmasse" zuzuordnen ist, verschwindet (Abb. 31). Offenbar entstammt die Hauptmenge des extrahierbaren Bitumens diesem Bestandteil. Aber auch aus dem Attrinit scheint in geringerem Maße Bitumen hervorzugehen, denn auch sein Fluoreszenz-

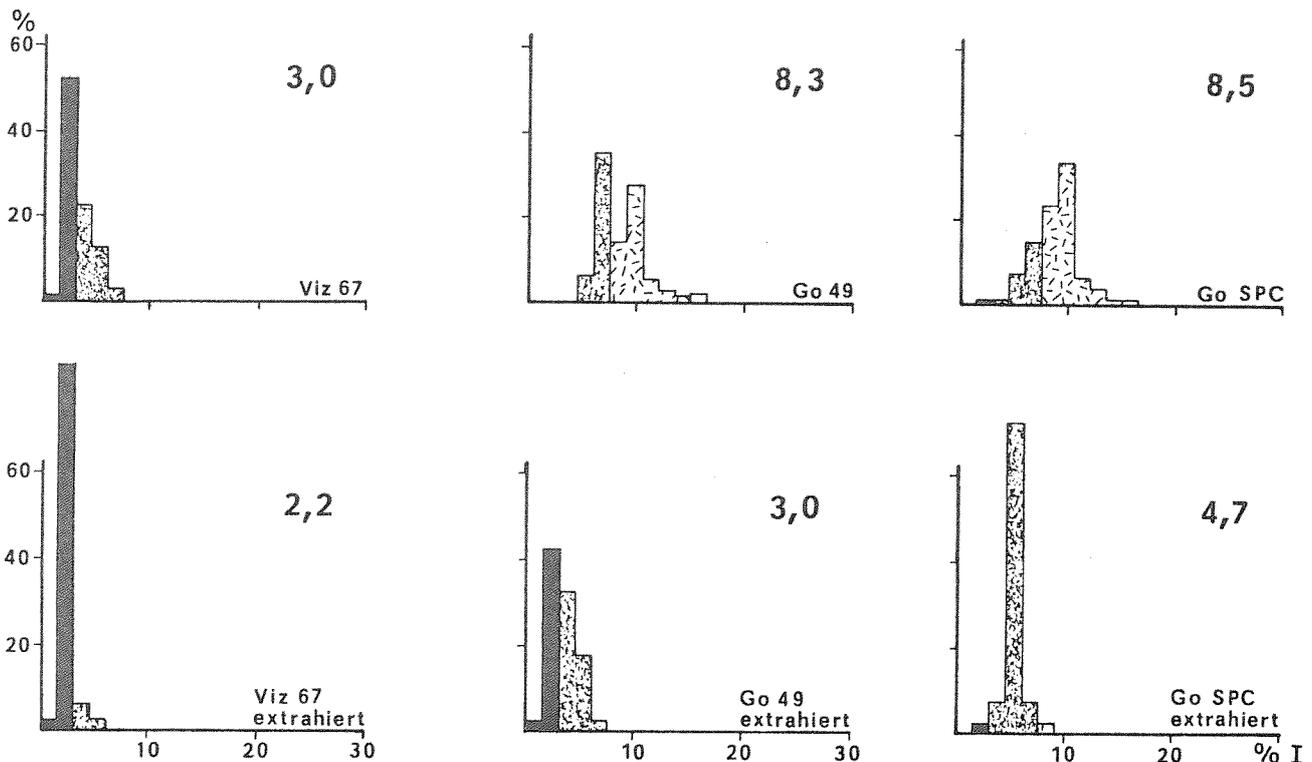


Abb. 31 Fluoreszenz-Intensitäts-Histogramme der Grundmasse ausgesuchter Lithotypen vor und nach der Extraktion mit Benzol. 3,0 = mittlere Fluoreszenzintensität

vermögen nimmt bei der Benzolextraktion deutlich ab. Umgekehrt kann hiermit belegt werden, daß die Fluoreszenz der "stark fluoreszierenden Grundmasse" und des Attrinits auf die Benzol-löslichen, bituminösen Bestandteile zurückgeht, was auch die enge Beziehung, die zwischen der mittleren Fluoreszenzintensität der Grundmasse und der Benzolextraktmenge besteht, zeigt (Abb. 32).

An einigen Proben wurden parallel zu den Benzol-Extraktionen auch Extraktionen mit Benzol-Alkohol (3:1) unter sonst gleichbleibenden Bedingungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigt Tab. 7. Für die Steigerung der Extraktausbeute bei Benzol-Alkohol-Extraktionen gegenüber Benzol-Extraktionen können zwei Faktoren verantwortlich sein. Zum einen besitzt das Benzol-Alkohol-Gemisch die Fähigkeit, die den Kohlekörnern anhaftenden Wasserfilme zu lösen (ZERBE 1952, zitiert in v.d.BRELIE & WOLF 1981), und so das Bitumen dem Lösungsmittel besser zugänglich zu machen. Dieser Faktor kann aber für die festgestellten enormen Unterschiede in der Steigerung der Extraktausbeute nicht entscheidend sein, da grundsätzlich nur in gleicher Weise luftgetrocknetes Material eingesetzt wurde. Wichtiger ist die unterschiedliche Lösungsfähigkeit der Extraktionsmittel. Reines Benzol löst fast nur Wachse, während Benzol-Alkohol auch Harze und niedrig kondensierte Humusstoffe angreift (JACOB 1960, v.d.BRELIE & WOLF 1981). Die großen Steigerungen in der Extraktausbeute bei den gewebereichen Kohlen gehen demnach im wesentlichen auf das zusätzliche in-Lösung-gelassen harziger und humoser Bestandteile zurück.

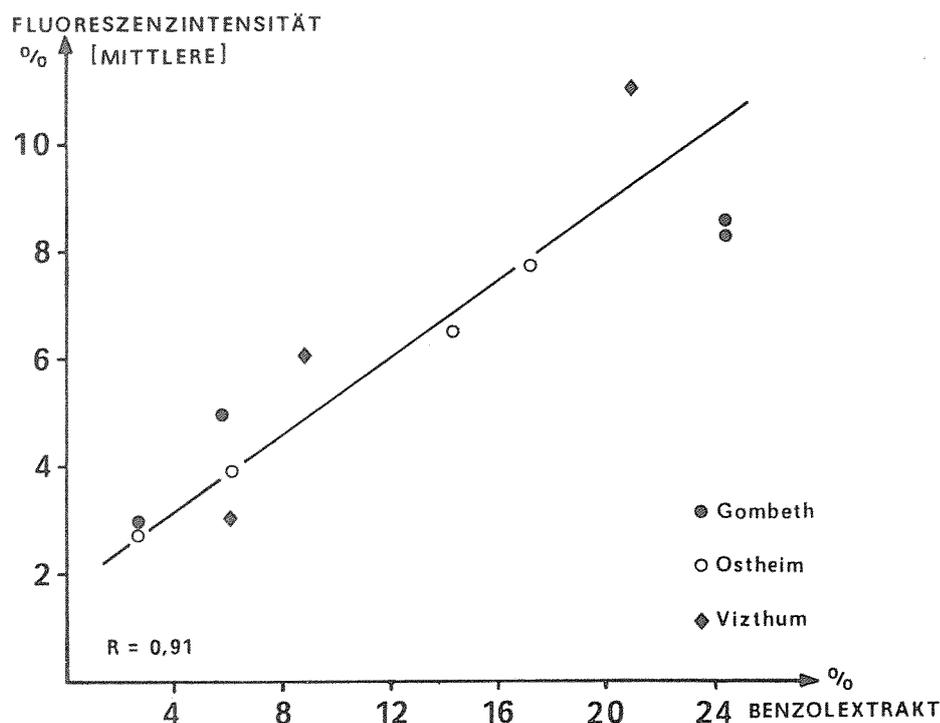


Abb. 32 Beziehung zwischen mittlerer Fluoreszenzintensität der Grundmasse und der Benzolextraktmenge (waf). R = durch lineare Regression ermittelter Korrelationskoeffizient

Lagerstätte und Lithotyp	Benzolextrakt % (waf)	Benzol-Alkohol-Extrakt % (waf)	Steigerung der Extraktausbeute
Go : Gewebegrundmassenkohle	2,6	9,6	270%
Ost: Gewebegrundmassenkohle	2,6	7,8	200%
Ost: Grundmassenk., dunkel	6,1	8,7	43%
Go : Grundmassenk., dunkel	10,4	13,9	33%
Go : Grundmassenk., hell	24,3	24,7	2%

Tab. 7 Benzolextrakt und Benzol-Alkohol-Extrakt verschiedener Lithotypen aus Borken (Go) und Ostheim (Ost)

Die Qualität von industriell gewonnenen Bitumina, die als Rohmontanwachs bezeichnet werden, hängt von ihrem Wachsgehalt ab (PETER 1951, JACOB 1960). Folglich sind für die Rohmontanwachs-gewinnung nur primär wachsreiche Kohlen geeignet. Aus Tabelle 7 geht hervor, daß größere Mengen wachsreicher Bitumina nur aus stark detritischen möglichst hellen Lithotypen zu gewinnen sind. Lagerstätten, in denen solche Lithotypen den überwiegenden Anteil der Flözkohlen ausmachen, sind zur Gewinnung von Rohmontanwachs besonders geeignet. Zu diesem Lagerstättentyp ist die Borkener Kohle zu rechnen, die nach PETER (1951) das einzige extraktioswürdige Braunkohlevorkommen Westdeutschlands darstellt.

Als Schmelzkohlenvorkommen war Borken schon GOTHAN (1924) bekannt. Die Kohle wurde aber erst ab 1968 im Tagebau Schneppenhain der Bubia Braunkohle GmbH (s. Abb. 1) zur industriellen Montanwachsgewinnung abgebaut (WOLLENHAUPT 1980), die Montanwachsgewinnung aber bereits 1982 wieder eingestellt.

Der Unterschied zwischen wachs- und harzreichem Bitumen wird von vielen Autoren auf eine unterschiedliche torfbildende Vegetation zurückgeführt. Kohlen, die aus Angiospermen hervorgingen, enthalten demnach mehr Wachs und weniger Harz als solche, die aus Koniferen hervorgingen (GOTHAN 1924, FRANCIS 1961). Wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen werden, muß diese Beziehung aber in vielerlei Hinsicht relativiert werden.

#### V.4. DIE ELEMENTARZUSAMMENSETZUNG DER KOHLEN

Für die Interpretation von Elementaranalysen hat sich die Darstellung in H/C - O/C - Diagrammen bewährt. Sie wurden erstmals von VAN KREVELEN (1961) benutzt und werden seitdem als VAN KREVELEN - Diagramme bezeichnet. Zum einen bieten sie den Vorteil einer guten Überschaubarkeit und zum anderen hat sich herausgestellt, daß der relative Fehler bei der Ermittlung von H/C - und O/C - Verhältnissen geringer ist als bei der Bestimmung der Einzellemente. VAN KREVELEN (1961) konnte nachweisen, daß sich die Elementarzusammensetzung verschiedener Mazeral-Gruppen im Laufe der Inkohlung systematisch ändert. Diese Änderung bewirkt, daß die H/C - O/C - Verhältnisse im Diagramm engen Bahnen folgen (Inkohlungsbänder). Ähnliche Bänder ergeben sich, wenn man die Entwicklung verschiedener Kerogen-Typen im Laufe der Inkohlung darstellt (s. DURAND & MONIN 1980: Fig. 4.8.).

In Abb. 33 ist die Elementarzusammensetzung verschiedener Hessischer Braunkohlen im VAN KREVELEN - Diagramm dargestellt\*. Das Diagramm zeigt, daß die Hirschberger Kohlen, die Gewebegrundmassenkohlen und dunklen Grundmassenkohlen aus Ostheim sowie die Gewebegrundmassenkohlen aus Borken innerhalb des Inkohlungsbandes humoser Kohlen ( $\approx$  Kerogen Typ III) liegen. Sie belegen dort den für Braunkohlen typischen Abschnitt. Die dunklen Grundmassenkohlen aus Borken und besonders die hellen Grundmassenkohlen aus Borken und Ostheim liegen aufgrund hoher Wasserstoff- und vergleichsweise niedriger Sauerstoffgehalte deutlich außerhalb dieses Bandes. Die hellen Lithotypen belegen damit im Diagramm den gleichen Bereich wie die organische Substanz des Posidonienschiefers (Kerogen Typ II). Die darstellenden Punkte der hellen Kohlen sind genau in Richtung auf die Elementarzusammensetzung von Wachsen verschoben, so daß als Ursache für diese Verschiebung der enorme Gehalt an wachsreichem Bitumen (vgl. Kap. V.3.) verantwortlich gemacht werden kann.

---

\* Die Elementaranalysen wurden vom Mikroanalytischen Laboratorium BELLER/Göttingen durchgeführt. Die Werte für die einzelnen Elemente sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

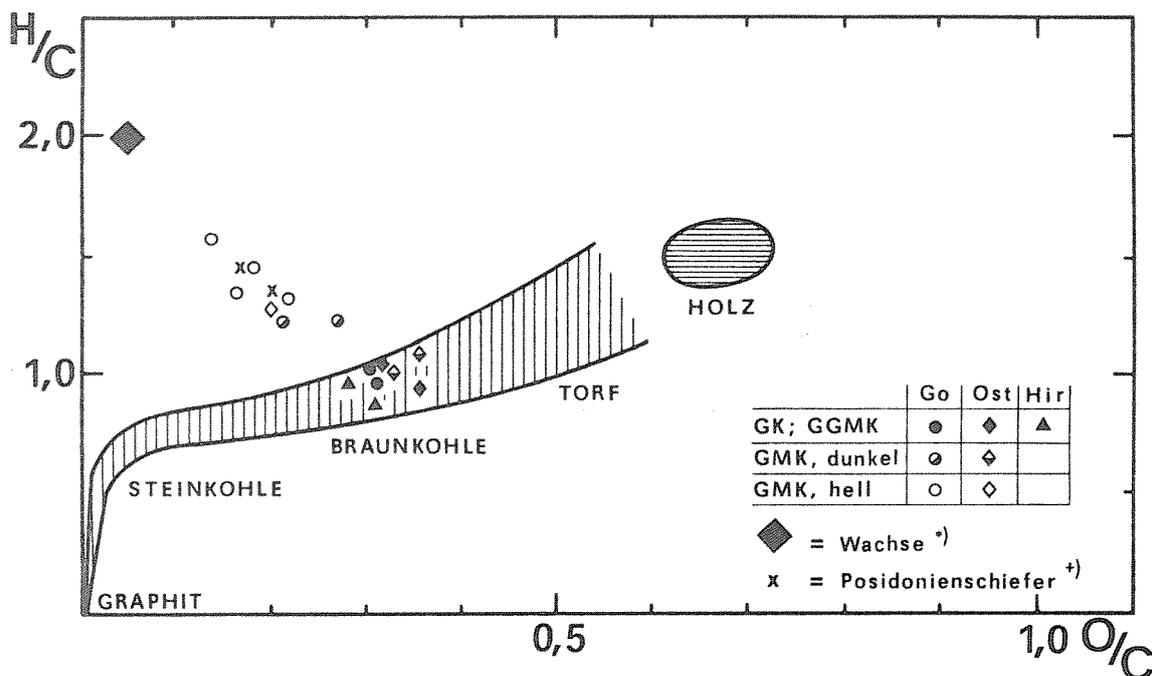


Abb. 33 Elementarzusammensetzung ausgesuchter Braunkohlelithotypen aus Borken (Go), Ostheim (Ost) und vom Hirschberg (Hir). ( GK = Gewebekohle, GGMK = Gewebegrundmassenkohle, GMK = Grundmassenkohle )

\*) nach VAN KREVELEN (1961), +) nach v.GAERTNER & KROEPÉLIN (1968)

#### V.5. INFRAROTSPEKTROSKOPISCHE UNTERSUCHUNGEN

Von allen physikochemischen Untersuchungsmethoden erbringt die Infrarot-Spektroskopie die meisten Informationen über die chemische Konstitution organischer Substanzen (SPEIGHT 1978). Die Spektren liefern eine semiquantitative Analyse der funktionellen Gruppen von Festsubstanzen, die ohne die Einwirkung von Lösungsmitteln als ganzes untersucht werden können (ROUXHET et al. 1980). Als Methodik wird meist die KBr-Preßtechnik angewandt (MILLAIS & MURCHISON 1969, ROUXHET et al. 1980, GAINES et al. 1981):

Zur Herstellung der KBr-Tabletten wurde die feinstgemahlene Substanz ( $\phi < 2\mu\text{m}$ ) mit spektralreinem KBr im Verhältnis 1 : 200 (0,5%) gemischt. 200mg dieser Mischung wurden unter Vakuum bei einem Druck von  $10\text{t/cm}^2$  zu einer durchsichtigen Tablette gepreßt. Die Messung der IR-Absorption erfolgte mit einem PERKIN-ELMER Infrarotspectrophotometer 457 im Spektralbereich von  $4000$  bis  $250\text{cm}^{-1}$ . Um den störenden Einfluß der Absorptionsbanden der mineralischen Komponenten zu eliminieren, wurden die Kohlen vor dem Pressen mit Salzsäure und Flußsäure entascht. Nach MILLAIS & MURCHISON (1969) hat diese Entaschung keinen Einfluß auf die von der organischen Substanz hervorgerufenen Absorptionen. Die Tabletten wurden vor der Messung 10 Tage lang in einem Exsikator aufbewahrt, um Wasser aus der Mischung KBr - organische Substanz zu entfernen (vgl. ROUXHET et al. 1980).

Infrarotspektren von Kohlen, Huminsäuren, Kerogenen, Teeren u.s.w. sind sich prinzipiell sehr ähnlich. Sie besitzen nur eine geringe Zahl von Absorptionsbanden (Abb. 34). Die

Spektren unterscheiden sich lediglich durch die Intensität der verschiedenen Banden (ROUXHET et al. 1980).

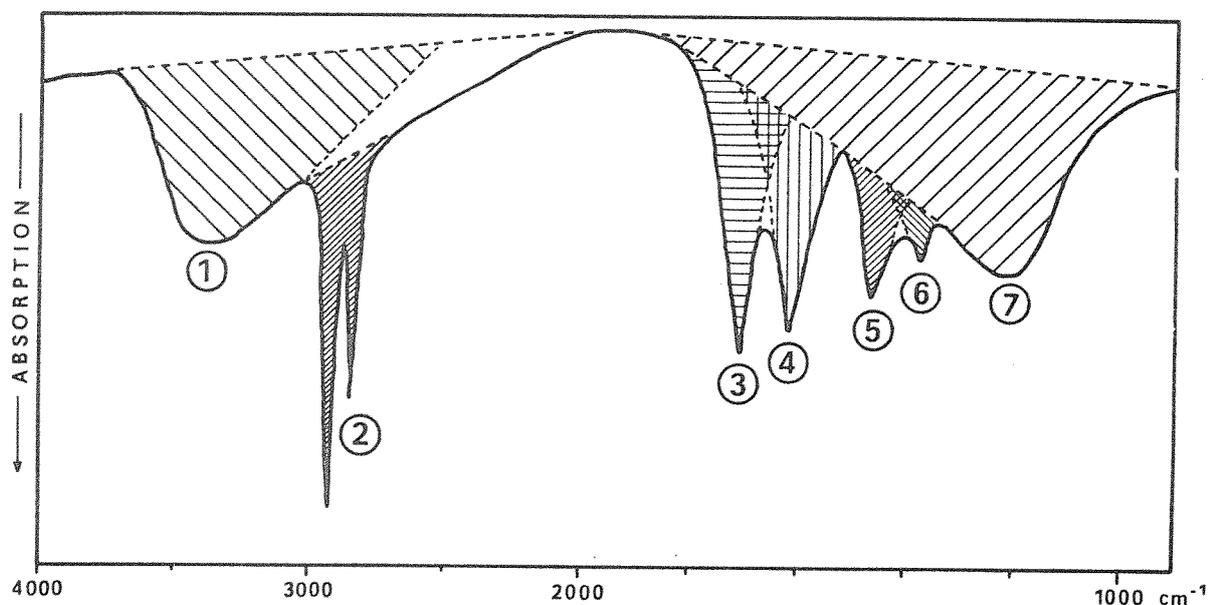


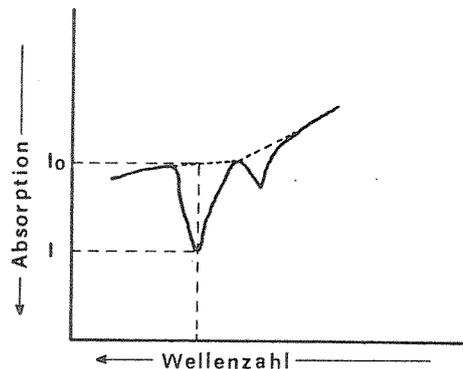
Abb. 34 Typisches Infrarot-Absorptionsspektrum von Kaustobiolithen (Separation und Basislinien der Banden nach ROUXHET et al. 1980; 1 bis 7 siehe Text)

- 1) Die breite, asymmetrische Bande mit dem Maximum bei  $3420\text{cm}^{-1}$  wird durch Valenzschwingungen von alkoholischen, phenolischen oder karbozyklischen OH-Gruppen hervorgerufen (TISSOT & WELTE 1978, ROUXHET et al. 1980)
- 2) Die scharfe Absorption mit zwei Maxima bei  $2920$  und  $2855\text{cm}^{-1}$  wird auf aliphatische  $\text{CH}_2$ - und  $\text{CH}_3$ -Gruppen zurückgeführt (VAN KREVELEN 1961, TISSOT & WELTE 1978). Die Zerteilung der Bande wird durch symmetrische und asymmetrische Valenzschwingungen der Alkylgruppen verursacht.
- 3)  $\text{C}=\text{O}$  -Valenzschwingungen von Carbonyl- oder Carboxylgruppen bewirken die Bande bei  $1710\text{cm}^{-1}$  (VAN KREVELEN 1961, MILLAIS & MURCHISON 1969, TISSOT & WELTE 1978, GAINES et al. 1981).
- 4) Die Bande mit dem Maximum bei  $1630\text{cm}^{-1}$  wird in der Literatur häufig diskutiert (SPEIGHT 1978). Meist nimmt man  $\text{C}=\text{C}$  -Valenzschwingungen von Olefinen oder aromatischen Ringen als Ursache für diese Bande an. Ein Teil der Absorption könnte aber auch durch bestimmte  $\text{C}=\text{O}$  -Valenzschwingungen verursacht sein (VAN KREVELEN 1961, TISSOT & WELTE 1978, ROUXHET et al. 1980).

Bei Torfen und Braunkohlen tritt neben den üblichen Absorptionen eine schmale Bande oder Schulter bei  $1500$  bis  $1510\text{cm}^{-1}$  auf (ROUXHET et al. 1980, GAINES et al. 1981), die auf  $\text{C}=\text{C}$  -Valenzschwingungen aromatischer Ringe zurückgeführt wird.

- 5) Die Absorption bei  $1455\text{cm}^{-1}$  wird durch asymmetrische Deformationsschwingungen von aliphatischen (SPEIGHT 1978)  $\text{CH}_2$ - und  $\text{CH}_3$ -Gruppen,
- 6) die bei  $1375\text{cm}^{-1}$  durch symmetrische Deformationsschwingungen von  $\text{CH}_3$ -Gruppen verursacht (TISSOT & WELTE 1978, ROUXHET et al. 1980).
- 7) An der breiten Absorption zwischen  $1400$  und  $1040\text{cm}^{-1}$  sind verschiedene C-O, C-C und OH-Schwingungen beteiligt (SPEIGHT 1978, TISSOT & WELTE 1978, MILLAIS & MURCHISON 1969, ROUXHET et al. 1980).

Die Abschätzung der Intensität der Absorptionen erfolgt anhand der Peak-Höhe. Als Zahlenwert wird der  $\log I/I_0$  bezogen auf die Absorption bei  $1630\text{cm}^{-1}$  angegeben (vgl. GAINES et al. 1981).



Bei den untersuchten Braunkohlen unterscheiden sich die Spektren heller, stark detritischer und dunkler, gewebereicherer Lithotypen im wesentlichen durch die Intensität der ( $2920, 2855\text{cm}^{-1}$ )  $\text{CH}_2$ - und  $\text{CH}_3$ -Valenzschwingungen (Tab. 8, Abb. 35).

Wellenzahl ( $\text{cm}^{-1}$ )		3420	2920	2855	1710	1630	1505	1455	1375	1400 -1040	
Lagerstätte	Lithotyp										
Gombeth	Gewebegrundmassenk.	1,02	0,54	0,30	0,98	1,00	0,04	0,24	0,13	0,84	
	Grundmassenk., dun.	0,81	1,16	0,68	1,00	1,00	0,12	0,36	0,06	0,95	
	Grundmassenk., hell	1,15	5,57	3,86	1,66	1,00	0,22	0,78	0,20	1,01	
	Wasserkohle		0,77	2,04	1,29	1,15	1,00	0,09	0,48	0,15	0,88
			0,70	3,59	2,41	1,44	1,00	0,06	0,64	0,13	1,06
Ostheim	Gewebegrundmassenk.	0,93	0,71	0,40	1,05	1,00	0,16	0,29	0,11	0,90	
	Grundmassenk., dun.	0,84	0,63	0,35	1,08	1,00	0,07	0,26	--	0,81	
	Grundmassenk., hell	0,81	1,17	0,65	1,17	1,00	0,05	0,34	0,08	0,88	
Vizthum	Grundmassenk., dun.	0,93	1,55	0,88	1,38	1,00	0,11	0,41	0,20	1,10	
	Grundmassenk., hell	0,86	2,21	1,23	1,46	1,00	0,18	0,54	0,16	1,12	
Mittelwert		0,88	1,19	1,21	1,24	1,00	0,11	0,43	0,14	0,96	
Standardabweichung		0,13	1,58	1,13	0,23	--	0,06	0,18	0,05	0,11	

Tab. 8 Intensität der Absorptionsbanden ( $\log I/I_0$ ) verschiedener Braunkohlolithotypen bezogen auf die Intensität der  $1630\text{cm}^{-1}$  Bande

Auch die Bande bei  $1455\text{cm}^{-1}$  belegt ein verstärktes Auftreten von Alkylgruppen in den hellen Lithotypen. Der Wasserstoffreichtum der hellen, bitumenreichen Lithotypen geht demnach auf das vermehrte Auftreten von aliphatischen  $\text{CH}_2$ - und  $\text{CH}_3$ -Gruppen zurück. Gleichzeitig ist in den hellen Kohlen gegenüber den dunklen eine Zunahme der  $\text{C}=\text{O}$ -Gruppen ( $1710\text{cm}^{-1}$ ) zu verzeichnen.

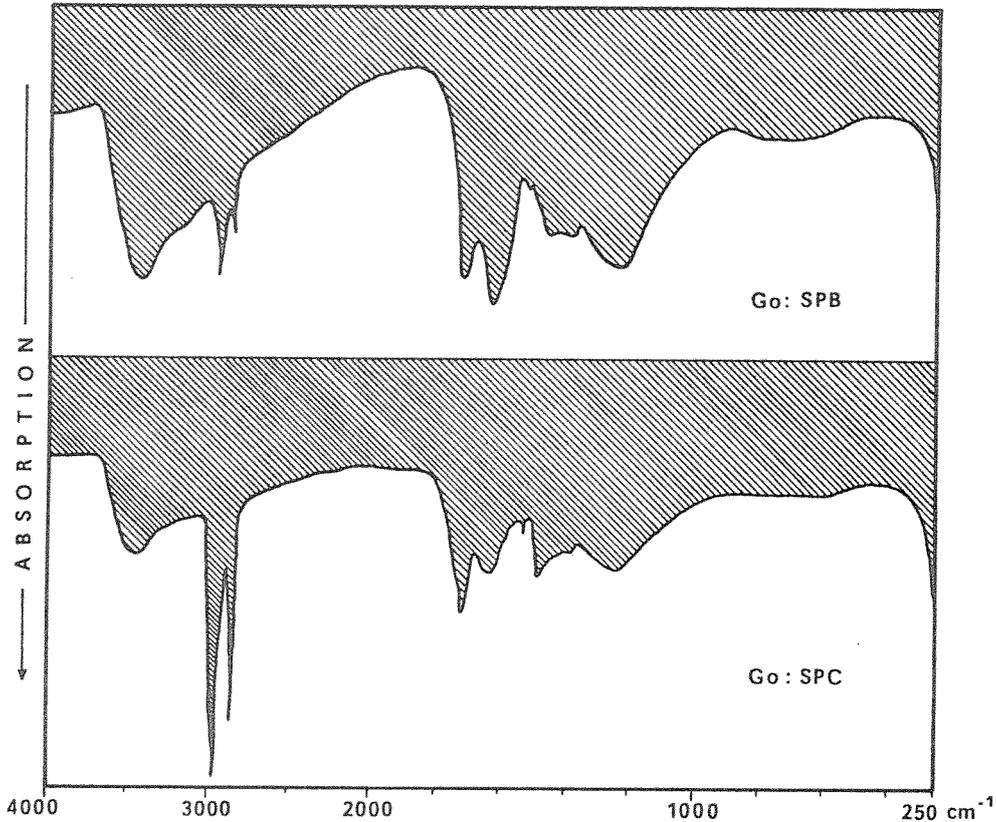
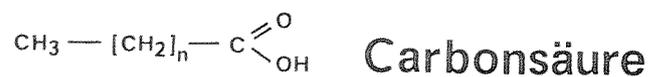


Abb. 35 Infrarot-Absorptionsspektrum einer dunklen (oben) und einer hellen (unten) Grundmassenkohle aus dem Borkener Flöz

Änderungen in der Intensität der  $1710\text{cm}^{-1}$ -Absorption können sowohl primär stoffliche Ursachen haben als auch auf sekundäre Einflüsse zurückgehen. Es ist bekannt, daß Oxidation von Kohlen zu einer Erhöhung der  $\text{C}=\text{O}$ -Absorption führt (VAN KREVELEN 1961, ROUXHET et al. 1980). Es spielt keine Rolle, ob die Oxidation während der Ablagerung der Sedimente oder erst bei der Probenaufbereitung stattgefunden hat (MILLAIS & MURCHISON 1969). Da alle Proben in gleicher Weise aufbereitet wurden, kann der letzte Fall als Ursache für die festgestellte Differenzierung ausgeschlossen werden. Ein vermehrtes Auftreten von  $\text{C}=\text{O}$ -Gruppen stimmt aber gut mit einer stärkeren oxidativen Beanspruchung der hellen Lithotypen in der Torfbildungsphase (vgl. Kap. V.2.) überein. Eine primär stoffliche Ursache für das Auftreten von  $\text{C}=\text{O}$ -Gruppen könnte das Vorliegen von Carbonsäuren



sein (MILLAIS & MURCHISON 1969). Auf diese Weise könnte die enge positive Korrelation zwischen  $\text{CH}_2$ - und  $\text{CH}_3$ -Gruppen sowie  $\text{C}=\text{O}$ -Gruppen in den untersuchten Kohlen (s. Tab. 8)

erklärt werden. Auch der aliphatische Charakter der Alkylgruppen unterstützt eine solche Deutung. Die Absorptionsbanden bei  $3420\text{cm}^{-1}$ ,  $1505\text{cm}^{-1}$  und  $1400 - 1040\text{cm}^{-1}$  lassen keine Differenzierung zwischen den verschiedenen Lithotypen zu. Zu gleichen Ergebnissen kommen auch GAINES et al. (1981) für die Rheinische Braunkohle.

Die Spektren der dunklen, gewebereichen Lithotypen entsprechen denen des Kerogen Typ III und die Spektren der hellen, stark detritischen Kohlen denen des Kerogen Typ II (vgl. ROUXHET et al. 1980: Fig. 6.4.). Die Differenzierung der Kerogenspektren wird auf unterschiedliches Ausgangsmaterial zurückgeführt. Der Kerogen Typ III, zu dem im weiteren Sinne auch die humosen Kohlen gehören, geht auf ligninhaltige höhere Landpflanzen zurück. Für die Typen I und II wird algenreiches Ausgangsmaterial angenommen (ROUXHET et al. 1980). Für die hellen Braunkohlelithotypen kann aber nicht auf ein algenreiches Ausgangsmaterial geschlossen werden, denn alle liptinitischen Bestandteile liefern ähnliche Infrarotspektren wie der Alginit (MILLAIS & MURCHISON 1969: Fig. 8, VAN KREVELEN 1961: Fig. XVII,19), so daß zum Beispiel auch Sporen- und Harzreiche Lithotypen Spektren erzeugen, die denen des Kerogen Typ II entsprechen. Auch die strukturchemischen Eigenschaften von Bakterien-substanzen entsprechen etwa denen des Phyto- und Zooplanktons (HUC 1980: Fig. 14,2) und dürften somit ähnliche Infrarotspektren hervorrufen.

Bei Kohlen ist es somit nicht möglich aus den Infrarotspektren direkt auf das Ausgangsmaterial zu schließen. Sicher erscheint jedoch, daß die dunklen Lithotypen, das heißt Humotelinit und Humodetrinit, im wesentlichen aus Ligninderivaten höherer Landpflanzen bestehen. Bei hellen Lithotypen kann Liptinitreichtum, algenreiches Ausgangsmaterial oder eine starke bakterielle Überarbeitung für das Hervortreten der Alkylgruppen verantwortlich sein. In den hellen Schichten der Borkener Kohle ist aber keine wesentliche Anreicherung von Liptiniten gegenüber den dunklen Lithotypen zu erkennen. Alginit konnte zwar in einigen stark vergelten Kohlen nachgewiesen werden, in keinem einzigen Fall aber in einem hellen Lithotyp. Nimmt man als Verursacher der C=O -Bande Carbonsäuren an, erscheint die letztgenannte Ursache am wahrscheinlichsten, denn Carbonsäuren sind einer der Hauptbestandteile bakterieller Fette (SCHLEGEL 1976) und ein wesentliches Stoffwechselprodukt anaerober Bakterien (RAMANN 1911, SCHLEGEL 1976).

#### V.6. KOMBINIERTE GASCHROMATOGRAPHISCH - MASSENSPEKTROMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

Systematische gaschromatographisch-massenspektrometrische Untersuchungen an Erdölmuttergesteinen und Kohlen haben gezeigt, daß die Zusammensetzung der Bitumenfraktion durch die Art der zur Ablagerung gelangten organischen Substanz, ihre Ablagerungsbedingungen und durch ihren Inkohlungsgrad bestimmt wird (zum Beispiel HOLLERBACH 1980). Im hier betrachteten Weichbraunkohlenstadium hängt der Inkohlungsgrad im wesentlichen von der Intensität der biochemischen Zersetzung ab (JACOB 1964, HOLLERBACH 1980; vgl. Kap. IV.2.). Organisch-geochemische Untersuchungen erlauben somit, wie von HAGEMANN & HOLLERBACH

(1980) am Beispiel der Rheinischen Braunkohle gezeigt wurde, Rückschlüsse auf die Genese von Braunkohlelithotypen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden aus den Hessischen Braunkohlen acht Proben untersucht, die die wesentlich am Aufbau der Flöze von Borken, Ostheim und vom Hirschberg beteiligten Lithotypen repräsentieren.

Nach einer Analysenvorschrift, die am Lehrstuhl für Geologie, Geochemie und Lagerstätten des Erdöls und der Kohle der RWTH Aachen erarbeitet wurde (HOLLERBACH 1975/76), wurde zur Gewinnung der Bitumenfraktion jeweils 20g gefriergetrocknetes, mit der Scheibenschwingmühle auf kleiner 0,2mm zermahlene Probenmaterial eingesetzt. Die Extraktion erfolgte in einem Soxlethextraktor mit Dichlormethan als Lösungsmittel (Abb. 36). Zur Abscheidung von Schwefel befand sich in der Vörlage Kupferfolie, die zuvor mit HCl und NH<sub>3</sub> aktiviert worden war. Nach ca. 20-stündiger Extraktionsdauer wurde das im Kolben befindliche Lösungsmittel durch einen Faltenfilter filtriert und am Vakuum-Rotationsverdampfer entfernt.

Die Bitumenfraktion (Extrakt) ist ein komplexes Gemisch von Kohlenwasserstoffen, Heterokomponenten, Harzen und Asphaltinen (HOLLERBACH & WELTE 1977a). Zur Auftrennung in einzelne Stoffklassen wurde ein säulenchromatographisches Verfahren angewandt. Die 45cm langen Glassäulen waren mit 45g Kieselgel (SiO<sub>2</sub>) der Korngröße 0,063 bis 0,2mm gefüllt, auf das 33g Aluminiumoxid und zur Abdeckung 1 bis 2cm geglühter Seesand geschichtet waren. Auf die Säule wurden 200mg des in wenig Chloroform gelösten Extraktes aufgegeben. Nach der Absorption des gelösten Extraktes am Aluminiumoxid wurde zunächst mit 150ml n-Hexan eluiert. Im Eluat befanden sich neben Paraffinen auch Olefine, da Braunkohlen im Gegensatz zu Steinkohlen und Erdöl noch ungesättigte Kohlenwasserstoffe enthalten. Die Aromatenfraktion wurde mit 150ml Dichlormethan abgetrennt. Die Verbindungen mit der Sammelbezeichnung Heterokomponenten (N,S,O -Verbindungen) wurden mit 150ml Methanol eluiert. Der auf der Säule verbliebene Anteil ist den hochpolaren Asphaltinen und Harzen zuzurechnen (HOLLERBACH 1975/76). Die Asphaltene stellen wahrscheinlich große Huminsäurereste mit Molekulargewichten bis zu 10.000 dar, die durch Harze und Wachse "solvatisiert" sind (HOLLERBACH, briefl. Mitteilung). Aufgrund der chromatographischen Verfahrensweise ist der Übergang zwischen den Heterokomponenten und den Harzen und Asphaltinen fließend.

Die Fraktion der Paraffine/Olefine wurde mit Hilfe eines Kapillargaschromatographen weiter aufgeteilt. Die Identifizierung der n-Alkane erfolgte anhand ihrer Retentionszeiten durch Vergleich mit Chromatogrammen von Gemischen bekannter Zusammensetzung. Zur Identifizierung der komplexen terpenoiden Verbindungen wurden gaschromatographisch-massenspektrometrische Aufnahmen benutzt.

#### V.6.1. DER DICHLORMETHANEXTRAKT DER UNTERSUCHTEN LITHOTYPEN

Die Extraktion mit Dichlormethan entspricht zwar weitgehend der Bitumengehaltsbestimmung, wie sie bereits in Kap. V.3. beschrieben wurde, sie soll aber an dieser Stelle behandelt werden, um den Analysengang der organisch-geochemischen Untersuchungen im Zusammenhang darzustellen. Außerdem sollen im Gegensatz zu Kap. V.3. an dieser Stelle genetische Aspekte im Vordergrund stehen.

Wie schon bei den Benzolextrakten zeigt sich auch bei den Dichlormethanextrakten eine deutliche Abhängigkeit zwischen dem Bitumengehalt (Extraktmenge) und der petrographischen Ausbildung der Lithotypen (Tab. 9). Die höchsten Extraktausbeuten sind an die hellen, im wesentlichen von der "stark fluoreszierenden Grundmasse" aufgebauten Lithotypen gebunden, während die Huminit- besonders die Humotelinit-reichen Lithotypen durch vergleichs-

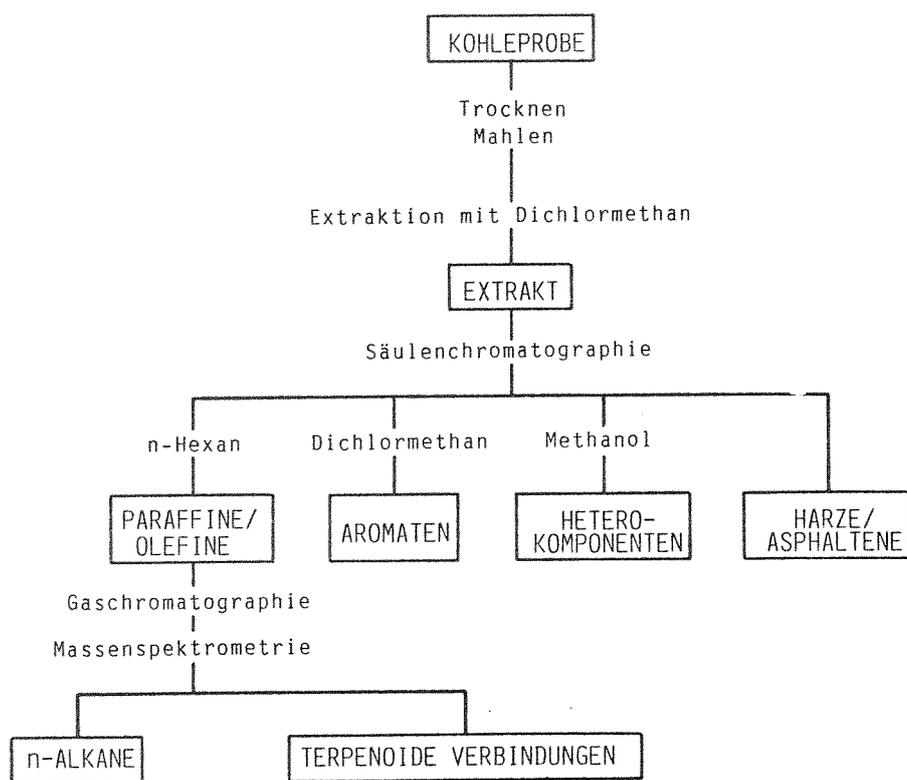


Abb. 36 Analysengang der kombinierten gaschromatographisch-massenspektrometrischen Untersuchungen

weise niedrige Extraktausbeuten gekennzeichnet sind. Der gleiche Befund wurde auch an verschiedenen Braunkohlen Mitteldeutschlands gemacht (u.a. SONTAG 1957, SÜSS 1957, JACOB 1960, 1966). Demgegenüber sind die Bitumengehalte in der Rheinischen Braunkohle weitgehend unabhängig von der Helligkeit der Lithotypen (v.d.BRELIE & WOLF 1981), zeigen aber eine deutliche Abhängigkeit von ihrem Destruktionsgrad. Aber auch in der Rheinischen Braunkohle sind stark detritische Lithotypen bevorzugt hell und gewebereiche Lithotypen bevorzugt dunkel gefärbt (HAGEMANN & HOLLERBACH 1980). Da dies auch für die Hessischen und Mitteldeutschen Braunkohlen zutrifft, herrschen generell ähnliche Beziehungen zwischen Petrographie und Bitumengehalt.

Lagerstätte Lithotyp	Borken	Ostheim	Hirschberg
Gewebekohle			15 000
Gewebegrundmassenkohle		44 000	69 000
Grundmassenk., dunkel	61 000	73 000	
Grundmassenk., hell	111 000	97 000	
Wasserkohle	88 000		

Tab. 9 Bitumengehalt (Dichlormethanextrakt) ausgesuchter Lithotypen Hessischer Braunkohlen (ppm (waf) )

Hohe Anteile von Bitumen am organischen Material können 1) durch eine selektive Anreicherung von Algenmaterial oder 2) durch eine starke Biodegradation der Ausgangssubstanz während der Ablagerung verursacht sein (TISSOT & WELTE 1978). Die enge Beziehung zwischen Destruktionsgrad und Bitumengehalt legt es nahe, daß für die Anreicherung von Bitumen in Weichbraunkohlen die Biodegradation verantwortlich ist. Eine zusätzliche Beteiligung von Algen am Ausgangsmaterial kann aber zunächst nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Torfbildung können zwei Phasen unterschieden werden: eine erste Phase, die durch intensive Oxidationsvorgänge an oder unmittelbar unter der Sedimentoberfläche gekennzeichnet ist, und eine zweite Phase, in der langsame Umwandlungsprozesse unter reduzierenden Bedingungen ablaufen. Das Ausmaß der Zersetzung und Humifikation ist im wesentlichen eine Funktion der Intensität der ersten Phase (TISSOT & WELTE 1978, DURAND 1980). Dies ist darauf zurückzuführen, daß Lignin unter anaeroben Bedingungen nahezu unzersetzlich ist (SCHEFFER 1941, ALDAG et al. 1976) und hemmend auf den Abbau der von ihm inkrustierten Stoffe (im wesentlichen Zellulose) wirkt (SCHEFFER 1941). Zudem entwickelt die Bakterienflora unter anaeroben Bedingungen stets nur eine geringe Aktivität (MACKENZIE et al. 1958). Demgegenüber wird Lignin unter feuchten, aeroben Bedingungen genauso schnell abgebaut wie die Kohlehydrate (FRANCIS 1961). Es kann wie bei der Weißfäule sogar schneller zersetzt werden (BUTIN & ZYCHA 1973, KIRK & HIGHLEY 1973, SCHWERDTFEGGER 1981).

Zellulose kann aufgrund ihres Sauerstoffgehaltes auch in der anaeroben Torfbildungsphase fermentativ zersetzt werden (TISSOT & WELTE 1978). Die bakteriellen Umwandlungsprodukte sind dabei eminente Bitumenbringer (POTONIE 1951, FRANCIS 1961, KRÖGER 1966, MOORE 1969). Unter Einwirkung von anaeroben Bakterien bilden sich aus 2,00g Zellulose bei der Methangärung 1,02g Carbonsäuren, 0,87g CO<sub>2</sub> und 0,14g Methan; aus 3,30g Zellulose bei der Wasserstoffgärung 2,2g Carbonsäuren, 1,0g CO<sub>2</sub> und 0,01g Wasserstoff (RAMANN 1911). Nach KRÖGER (1966) bilden Carbonsäuren einen der Hauptbestandteile des Wachses von Braunkohlenbitumen. Sie sind meist eng (zum Beispiel als aliphatische Ester-Substituenten (TISSOT & WELTE 1978)) an die humose Substanz gebunden.

Der Abbau der Zellwandsubstanzen Lignin und Zellulose führt zu einer relativen Anreicherung der schwer zersetzlichen bituminösen Pflanzenbestandteile (HAGEMANN & HOLLERBACH 1980). Für eine Bitumenanreicherung bei der Torfbildung sind demnach mehrere, parallel wirksame Faktoren verantwortlich:

- Der mikrobielle Abbau von Lignin kann zu einer Anreicherung von Zellulose führen. Zellulose, die der Zersetzung in der aeroben Phase entgeht, kann in der anaeroben Phase mikrobiell in bituminöse Substanzen (Carbonsäuren) umgesetzt werden.
- Der Abbau von Lignin und Zellulose führt zu einer relativen Anreicherung von primären Pflanzenwachsen und -harzen.
- Ein Teil der bitumenreichen Körpersubstanz der an den Ab- und Umbaureaktionen beteiligten Bakterien verbleibt im Sediment.

Letztendlich sind also hoher Destruktionsgrad und Bitumenreichtum bei Braunkohlen das

Ergebnis ein und desgleichen Prozesses: der intensiven Biodegradation in der oxidativen Torfbildungsphase.

#### V.6.2. DIE STOFFGRUPPENZUSAMMENSETZUNG DER DICHLORMETHANEXTRAKTE

Die Zusammensetzung der Dichlormethanextrakte der untersuchten Lithotypen zeigt Abb. 37.

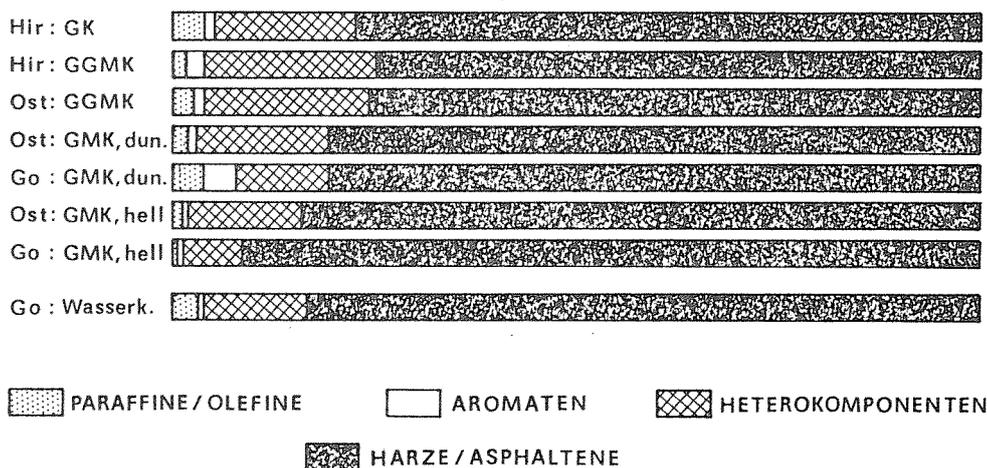


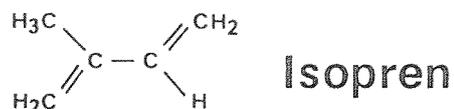
Abb. 37 Stoffgruppenzusammensetzung der Dichlormethanextrakte ausgesuchter Lithotypen der Braunkohle vom Hirschberg (Hir), von Borken (Go) und von Ostheim (Ost).  
 GK = Gewebekohle, GGМК = Gewebegrundmassenkohle, GМК = Grundmassenkohle

Hauptbestandteile aller Extrakte sind die Harze/Asphaltene, gefolgt von den Heterokomponenten. Die Fraktionen der Paraffine/Olefine und Aromaten machen jeweils nur wenige Prozent aus. Auffallend ist die deutliche Abnahme der beiden letztgenannten Fraktionen in den hellen Grundmassenkohlen (außer Wasserkohle) zugunsten der Harze/Asphaltene. REED (1977) konnte die gleiche Verschiebung der Stoffgruppenzusammensetzung an biodegradierten Erdölen feststellen. Er führt dies auf einen oxidativen, mikrobiellen Abbau der Kohlenwasserstoffe zurück, der nach SCHLEGEL (1976) nur bei Anwesenheit von molekularem Sauerstoff möglich ist. Somit kann die für die Bitumenanreicherung in den hellen Lithotypen (d.h. in der "stark fluoreszierenden Grundmasse"; vgl. Kap. V.3.) angenommene starke oxidative Zersetzung des pflanzlichen Ausgangsmaterials durch die entsprechende Stoffgruppenzusammensetzung der extrahierten Bitumina belegt werden.

#### V.6.3. DIE FRAKTION DER PARAFFINE/OLEFINE

Die Fraktion der Paraffine/Olefine setzt sich im wesentlichen aus zwei Stoffgruppen zusammen, den unverzweigten kettenförmigen Kohlenwasserstoffen (Paraffine, n-Alkane) und den terpenoiden Verbindungen, die aufgrund ihres charakteristischen Molekülaufbaus als

biologische Markierer oder Chemofossilien (HOLLERBACH 1976, 1980a, b; HOLLERBACH & WELTE 1977b; WELTE 1978) angesehen werden, da sie nur auf biologischem Wege entstandenen Vorläufern entstammen können (HOLLERBACH 1982). Man kann sie alle von dem biochemischen Baustein Isopren ableiten, der aus fünf Kohlenstoffatomen aufgebaut ist. Isopren ist in der

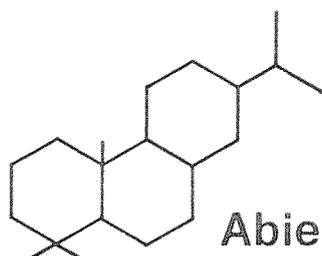
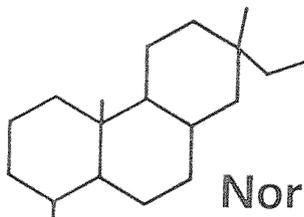
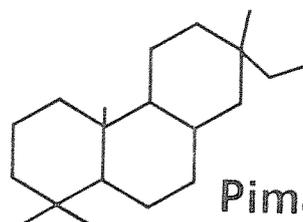


Lage, zu ketten- und ringförmigen Verbindungen zu polymerisieren (TISSOT & WELTE 1978). Moleküle, die aus zwei Isopreneinheiten bestehen, werden Terpene oder Monoterpene ( $\text{C}_{10}$ ) genannt, die mit drei Einheiten Sesquiterpene ( $\text{C}_{15}$ ), die mit vier Einheiten Diterpene ( $\text{C}_{20}$ ) und die mit sechs Einheiten Triterpene ( $\text{C}_{30}$ ). Die Bildung von Terpenen erfordert einen komplizierten Syntheseapparat, über den nicht alle Organismen verfügen dürften (HOLLERBACH 1980a). Zudem synthetisieren verschiedene Organismengruppen unterschiedliche terpenoide Verbindungen, sodaß diese ähnlich wie etwa Pollen, Früchte, Samen oder Blätter wie "Fossilien" ausgewertet werden können.

**M o n o t e r p e n e** treten hauptsächlich in höheren Pflanzen und Algen auf (TISSOT & WELTE 1978). Sie sind relativ flüchtig und instabil (STREIBL & HEROUT 1969) und konnten aufgrund dieser Eigenschaften in den untersuchten Extrakten nicht nachgewiesen werden.

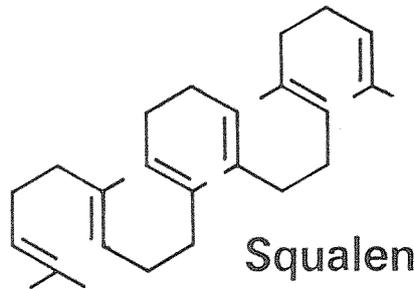
**S e s q u i t e r p e n e** haben innerhalb des Pflanzenreiches universelle Bedeutung (TISSOT & WELTE 1978, HOLLERBACH 1980a). Sie treten als flüchtige Verbindungen in vielen Pflanzengattungen, wenn auch nur in geringen Mengen, auf. Meistens sind sie in Exkreten von Hartlaubgewächsen angereichert (METZNER 1973).

**D i t e r p a n e** sind die häufigsten isoprenoiden Verbindungen in fossilen Sedimenten (STREIBL & HEROUT 1969). Die weitverbreiteten kettenförmigen Diterpane Pristan und Phytan, Abkömmlinge des Phytols, eines Seitenkettenalkohols des Chlorophylls, kommen in nennenswerten Mengen erst ab dem Glanzbraunkohlenstadium vor (HOLLERBACH 1982). An ihrer Stelle treten in den Weichbraunkohlen cyclische Diterpane auf. Cyclische diterpenoide Verbindungen findet man in größeren Anteilen nur im Harz der Koniferen. In rezenten Koniferen sind sie als Olefine, Carbonsäuren und Alkohole vertreten. Sie werden frühdiagenetisch zu Cycloalkenen abgebaut (HOLLERBACH 1980a). Die diterpenoiden Harze der Koniferen besitzen meist Abietan- und Pimaran-Gerüste (SIMONEIT 1977). Diagenetisch kann Pimaran

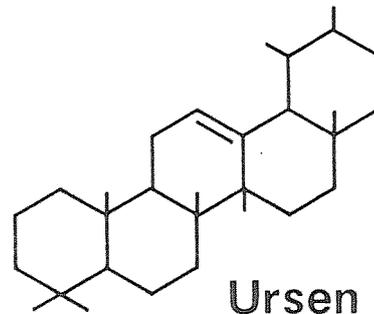
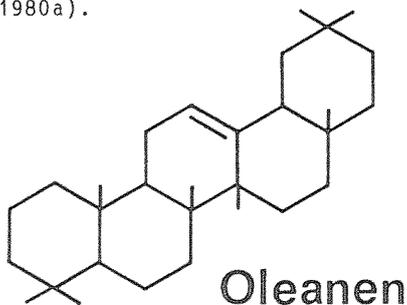
**Abietan****Nor-Pimaran****Pimaran**

unter sauren Bedingungen in Abietan übergehen (WAKEHAM et al. 1980). In den untersuchten Proben konnten neben Pimaran und Abietan auch die entsprechenden Nor-Verbindungen (ein C-Atom weniger) nachgewiesen werden, die durch Decarboxilierung der entsprechenden Carbonsäuren entstanden sind.

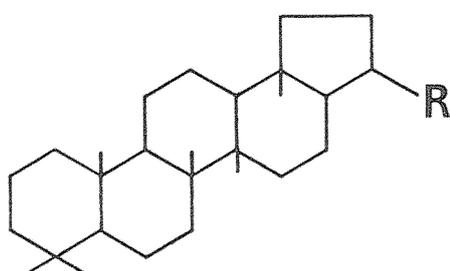
Als Vorläufer für verschiedene t r i t e r p e n o i d e Verbindungen wird ein vielfach ungesättigter Kohlenwasserstoff, das Squalen angesehen (TISSOT & WELTE 1978).



Aus dem Squalen abgeleitete pentacyclische Triterpene mit einer endocyclischen Doppelbindung, die Gerüste vom Oleanen- und Ursen-Typ besitzen, kommen verstärkt in Angiospermen vor (HENDERSON et al. 1968). Den Gymnospermen scheinen Triterpene zu fehlen (HOLLERBACH 1980a).



In allen Proben konnten pentacyclische Triterpene mit einem fünfgliedrigen Ring (Hopan-Typen) nachgewiesen werden. Sie unterscheiden sich durch die Ausbildung ihrer Seitenketten (Rest R). Hopanhomologe findet man in sehr vielen niederen Organismen (HENDERSON et al. 1968, HOLLERBACH 1980a). In relativ hohen Konzentrationen kommen sie in Bakterien (TISSOT & WELTE 1978) und Algen (HOLLERBACH 1980a, TISSOT & WELTE 1978) vor. Homohopan, das in rezenten Organismen nicht zu finden ist, muß ein Produkt frühdiagenetischer Prozesse sein (HOLLERBACH 1980a). Es konnte aber aus Kulturen heterotropher Bakterien isoliert werden (ROHMER & OURISSON 1976) und gilt als Indikator für anaerobe, mikrobielle Aktivität (VAN DORSSELAER et al. 1974, HAGEMANN & HOLLERBACH 1980).



R =	-H	Trisnorhopan
	-CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	Adiantan
	-CH $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3 \end{matrix}$	Hopan
	-C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	Homohopan

## V.6.3.1. Die n-Alkane

Der Anteil der n-Alkane schwankt in den untersuchten Kohlen zwischen 170 und 2600 ppm (waf) (Tab. 10). Er wurde durch Integration der Flächen unter den zugehörigen Peaks im Gaschromatogramm errechnet. In den Grundmassenkohlen sind die Paraffine gegenüber den Gewebegrundmassenkohlen und Gewebekohlen in der Regel deutlich angereichert. Dies kann auf die schon bei der Bitumenanreicherung besprochene, stärkere selektive Zersetzung der Zellwandsubstanzen zurückgeführt werden (vgl. Kap. V.6.1.). Auffallend ist, daß der am stärksten zersetzte und bitumenreichste Lithotyp, die helle Grundmassenkohle aus dem Borkener Revier, einen vergleichsweise niedrigen n-Alkangehalt aufweist.

Lagerstätte Lithotyp	Borken	Ostheim	Hirschberg
Gewebekohle			170
Gewebegrundmassenkohle		840	570
Grundmassenk., dunkel	1800	1000	
Grundmassenk., hell	890	1150	
Wasserkohle	2600		

Tab. 10 n-Alkangehalt ausgesuchter Lithotypen Hessischer Braunkohlen (ppm (waf) )

Kohlenwasserstoffe werden von einer Vielzahl von oxidierenden Bakterien abgebaut (SCHLEGEL 1976). Die bakterielle Zersetzung führt zu einem bevorzugten Verlust von n-Alkanen gegenüber verzweigten und cyclischen Alkanen sowie Aromaten (REED 1977). Offensichtlich war die Biodegradation bei der Bildung der hellen Borkener Grundmassenkohle so stark, daß der Abbau von n-Alkanen den Anreicherungseffekt durch die Zersetzung von Zellwandmaterial überwog.

Die Verteilungsmuster der n-Alkane der untersuchten Lithotypen zeigt Abb. 38. In allen Diagrammen ist ein deutliches Überwiegen der langkettigen ( $C_{23}$  bis  $C_{33}$ ) Paraffine mit einer Bevorzugung der ungeradzahigen über die geradzahigen Kohlenstoffzahlen zu erkennen. Derartige Verteilungsmuster sind typisch für terrigene Sedimente (MEINSCHEN 1969). Demgegenüber weisen marine Sedimente Verteilungsmaxima bei  $n-C_{16}$  oder  $n-C_{18}$  auf (SIMONEIT 1977). Dieser Unterschied ist auf verschiedenartige Ausgangsmaterialien zurückzuführen. Langkettige n-Alkane kommen bevorzugt in Kuticulen, Sporen, Pollen und Harzen höherer Landpflanzen vor (HAGEMANN & HOLLERBACH 1980). Da kein Organismus bekannt ist, der in nennenswerten Mengen n-Alkane mit einer Bevorzugung geradzahiger Ketten synthetisiert, führt SIMONEIT (1977) die  $n-C_{16}$  bzw.  $n-C_{18}$  -Dominanz in marinen Sedimenten auf Fettsäuren mariner Mikroorganismen zurück. Frischwasseralgen besitzen n-Alkanverteilungen, die von  $n-C_{17}$  oder  $n-C_{19}$  dominiert werden (TISSOT & WELTE 1978). Da beide in keiner der untersuchten Proben in nennenswerter Quantität vorkommen, kann man davon ausgehen, daß Algenmaterial in den Hessischen Braunkohlen kaum überliefert ist.

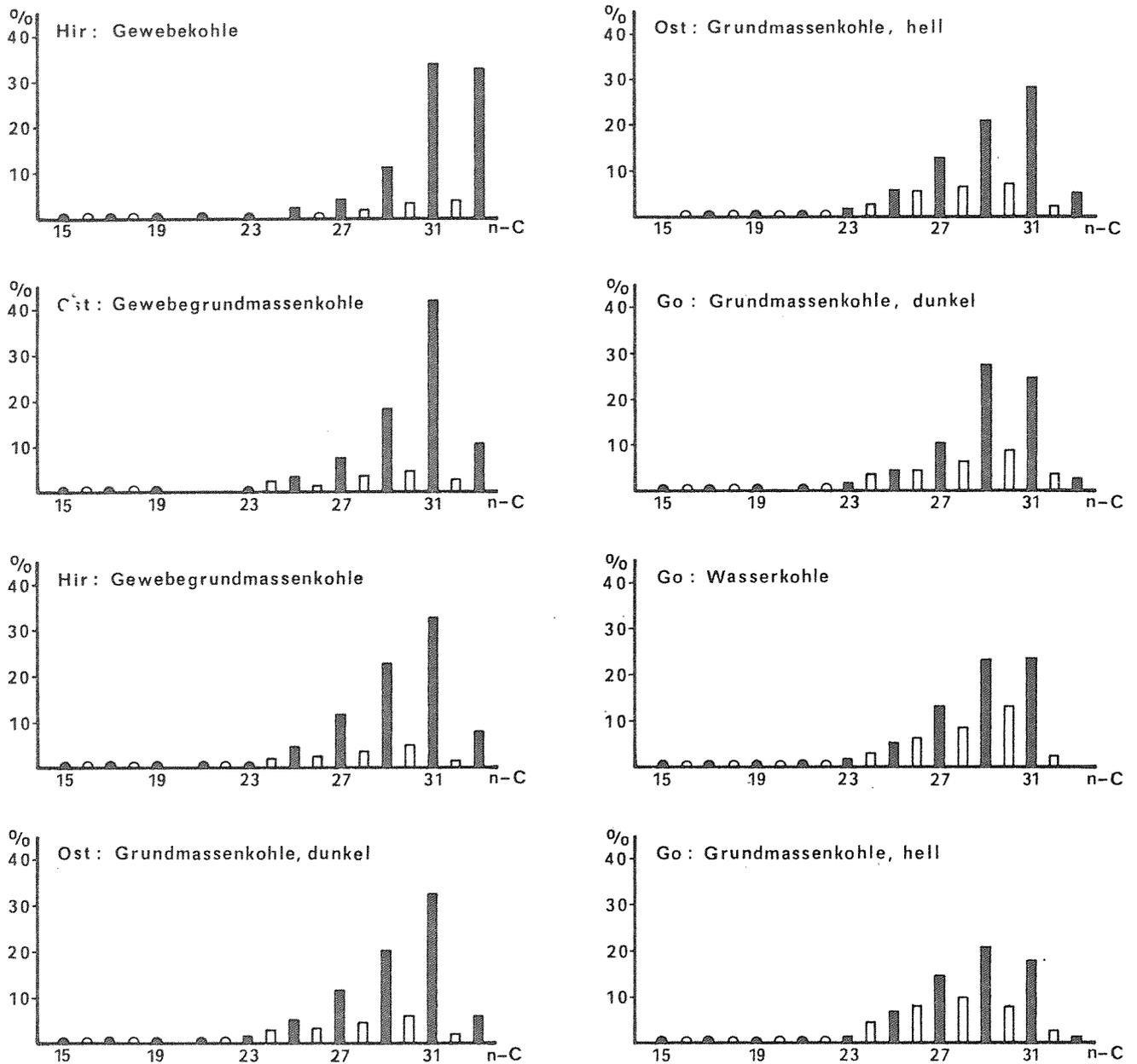


Abb. 38 n-Alkanverteilungsmuster der Dichlormethan-Extrakte verschiedener Lithotypen der Braunkohlen vom Hirschberg (Hir), aus Ostheim (Ost) und Borken (Go)

Obwohl sich alle Verteilungsmuster der untersuchten Proben prinzipiell ähnlich sind, lassen sich doch charakteristische Unterschiede erkennen, die Rückschlüsse auf die Genese der Lithotypen zulassen. Von der Gewebekohle über die Gewebegrundmassenkohlen und dunklen Grundmassenkohlen zu den hellen Grundmassenkohlen verschiebt sich das Verteilungsmaximum von  $n\text{-C}_{31}$  nach  $n\text{-C}_{29}$ . Dies läßt sich unschwer auf die Aktivität aerober Mikroorganismen zurückführen, da die zur Verwertung von aliphatischen Kohlenwasserstoffen befähigte Artenzahl und Aggressivität von Bakterien und Hefen mit zunehmender Kettenlänge der Paraffine steigt (SCHLEGEL 1976).

Parallel zur Abnahme der  $n\text{-C}_{33}$  und  $n\text{-C}_{31}$ -Alkane verläuft eine relative Anreicherung der geradzahigen Kohlenwasserstoffketten. Das Maß für das Verhältnis zwischen geradzahigen und ungeradzahigen Ketten ist der CPI-Wert (Carbon Preference Index), der sich

aus dem Mengenverhältnis der ungeradzahligen zu den geradzahligen n-Alkanen errechnet. Der CPI-Wert dient bei Erdölen und Erdölmuttergesteinen als Reifeparameter. Mit zunehmendem Reifegrad wird die Bevorzugung der ungeradzahligen n-Alkane geringer, und der CPI-Wert nimmt ab. Die für die Hessischen Braunkohlen ermittelten CPI-Werte zeigt Tab. 11.

Lagerstätte Lithotyp	Borken	Ostheim	Hirschberg
Gewebekohle			7,64
Gewebegrundmassenkohle		5,28	4,83
Grundmassenk., dunkel	2,55	3,68	
Grundmassenk., hell	1,84	2,95	
Wasserkohle	2,18		

Tab. 11 CPI<sub>(15 - 33)</sub>-Werte ausgesuchter Lithotypen Hessischer Braunkohlen

Mit abnehmender Gewebeführung und zunehmender Bedeutung des Attrinits und besonders der "stark fluoreszierenden Grundmasse" nimmt der CPI-Wert von den Gewebekohlen in Richtung auf die hellen Grundmassenkohlen stark ab. Es ist bemerkenswert, daß sich die mit der zunehmenden biochemischen Degradation verbundenen Oxidationsvorgänge auf die n-Alkane genauso auswirken wie eine zunehmende Inkohlung. Ähnliche Beobachtungen machte HOLLERBACH (1980a) an einer oxidativ veränderten Oberflächenprobe aus der eozänen Mattbraunkohle von Messel. Er führt dies auf eine lokale Temperaturerhöhung aufgrund der Oxidation zurück. Temperaturerhöhungen infolge mikrobieller Aktivität sind jedem Heuwirtschaft betreibenden Landwirt bekannt. Wird Heu bei schlechten Witterungsverhältnissen zu feucht eingelagert, kommt es zu mikrobiellen Abbauvorgängen, die eine Wärmefreisetzung bewirken. Diese kann so stark sein, daß sie zur Selbstentzündung des Heues führt. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch die beobachtete Rotverschiebung in den Fluoreszenzspektren der Sporinite (vgl. Kap. IV.2.) leicht zu erklären.

#### V.6.3.2. Terpenoide Verbindungen

Auf die Bedeutung der terpenoiden Verbindungen als biologische Markierer oder Chemofossilien wurde bereits einleitend hingewiesen. Die massenspektrometrische Identifizierung dieser Verbindungen erfolgt anhand ihrer Molekülmasse sowie der Masse charakteristischer Molekülbruchstücke. Sie soll am Beispiel des Homohopans (Abb. 39) verdeutlicht werden (nach HOLLERBACH 1980a). Die Ionen der Masse 426 sind auf das vollständige Homohopanmolekül zurückzuführen. Die Abspaltung einer CH<sub>3</sub>-Gruppe führt zu Ionen der Masse 411 (MZ - 15), die Abspaltung der Seitenkette (Rest R) zu Ionen der Masse 369 (MZ - 57). Weitere charakteristische Bruchstückmoleküle entstehen durch Spaltung des zentralen Ringes C, wodurch Ionen der Massen 205 und 191 freigesetzt werden.

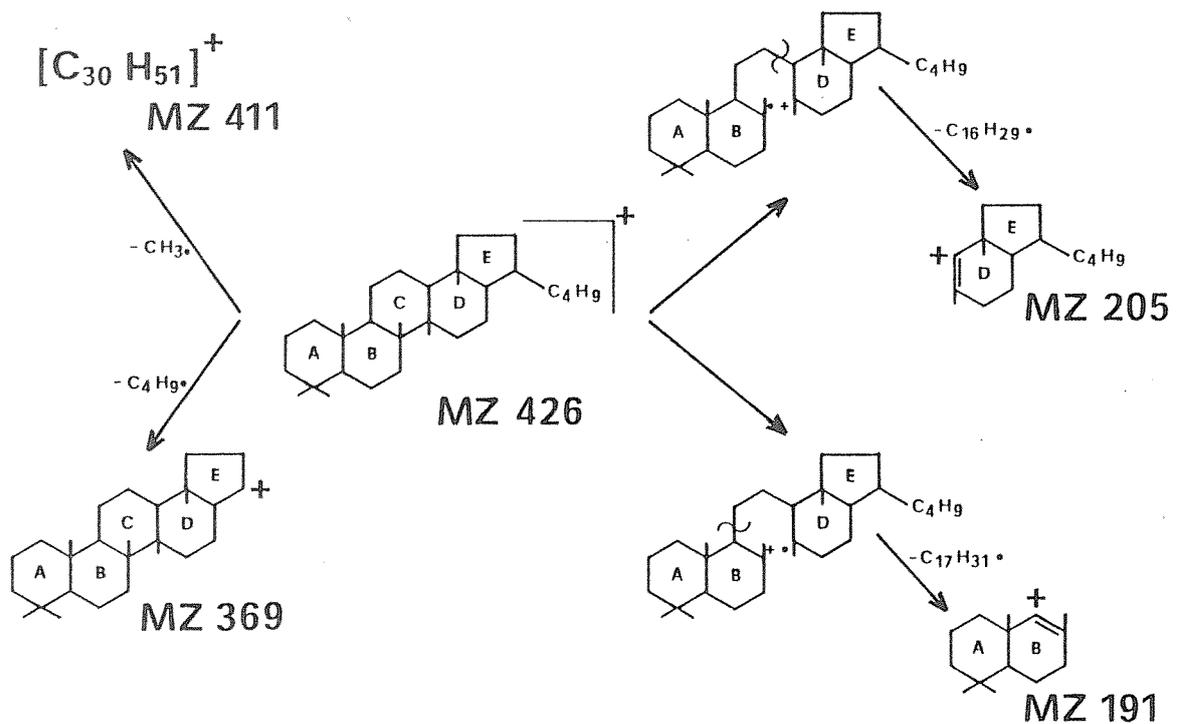
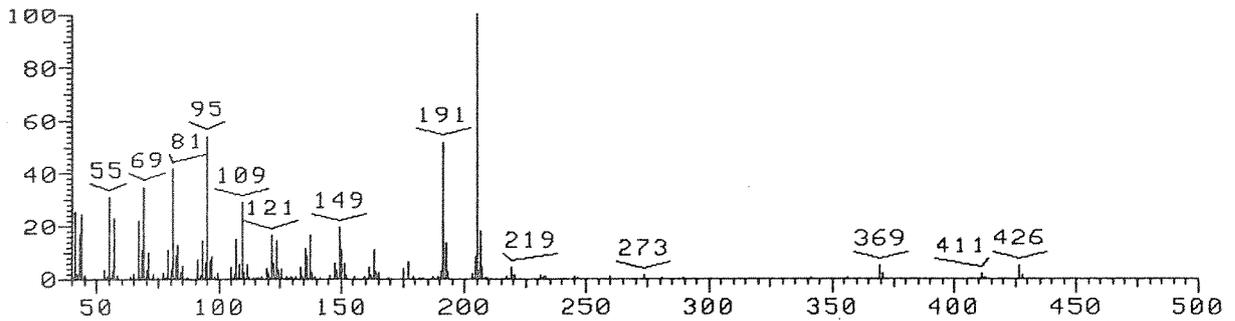
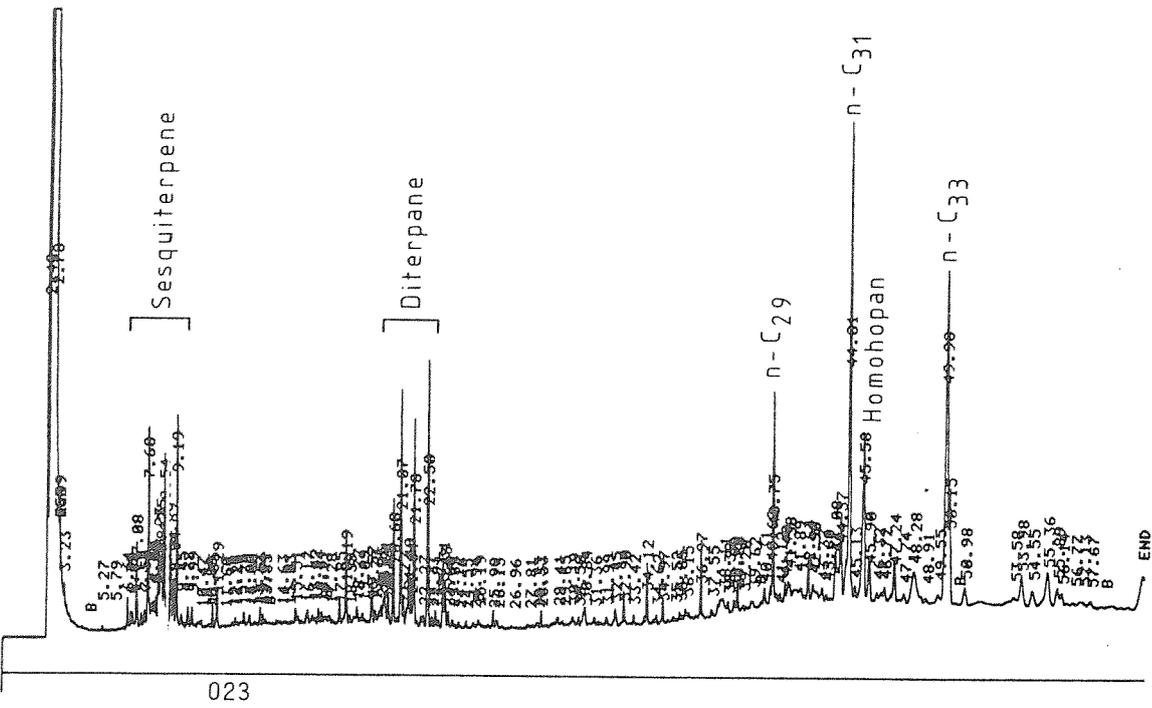
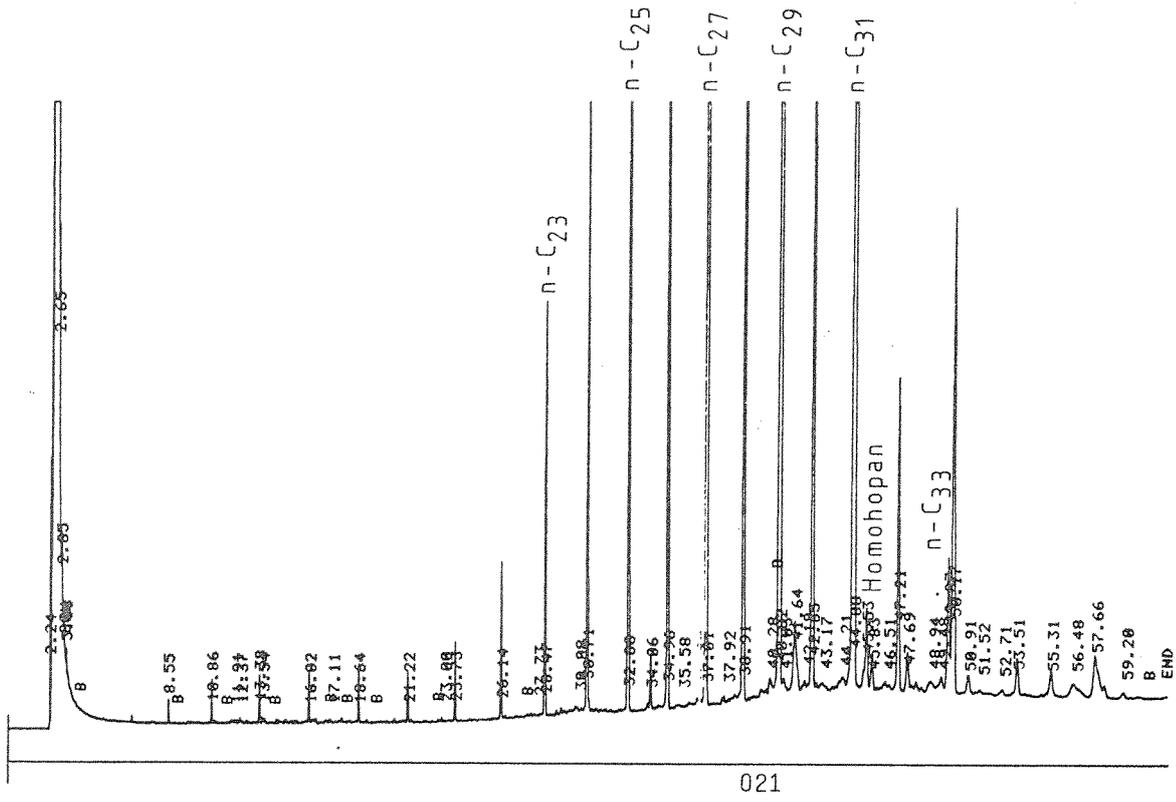


Abb. 39 Massenspektrum (oben) und typische Bruchstückmoleküle des Homohopan

Die Gaschromatogramme der Fraktion der Paraffine/Olefine zeigen zwischen den einzelnen Proben deutliche Unterschiede. Während die Diagramme der stark zersetzten alttertiären Kohlen durch die Peaks der n-Alkane beherrscht werden, treten in den Diagrammen der Hirschberger Kohlen Sesquiterpene und Diterpane stark in den Vordergrund (Abb. 40). Eine mengenmäßige Abschätzung der einzelnen Bestandteile zeigt Tab. 12. Die Dominanz der n-Alkane in den Aufnahmen der älteren Kohlen ist auf das weitgehende Fehlen von terpenoiden Verbindungen zurückzuführen. Hierfür sind im einzelnen folgende Ursachen anzunehmen:

Sesquiterpene, denen im Pflanzenreich eine universelle Bedeutung zukommt, sind a priori in allen Kohlen zu erwarten. Sie sind aber relativ instabil, so daß sie nur unter günstigen Ablagerungsbedingungen erhaltungsfähig sind. Solche herrschten offensichtlich nur bei der Bildung der gewebereichen Hirschberger Kohlen, die während der Torfbildung nur eine schwache oxidative Zersetzungsphase erlebt haben.



Lagerstätte und Lithotyp	n-Alkane (%)	Sesqui- terpene	Di- terpane	Tri- * terpene	Homo- hopane	sonst. Hopane	Steran- Abbaupr.
Go : Wasserkohle	93,3	-	-	0	++	0	0
Go : Grundmassenk., hell	74,3	-	-	-	++	+	0
Go : Grundmassenk., dun.	72,2	-	-	-	++	-	0
Ost: Grundmassenk., hell	73,2	-	-	++	+	+	+
Ost: Grundmassenk., dun.	58,6	0	+	++	+++	+	+
Ost: Gewebegrundmassenk.	59,3	-	+	++	+++	+	0
Hir: Gewebegrundmassenk.	51,4	+	++	+	+++	++	0
Hir: Gewebekohle	20,9	++	+++	+	++	+	+

\* ohne Hopan-Typen, 0 = nur in Spuren vorhanden, + = vorhanden, ++ = häufig  
+++ = sehr häufig

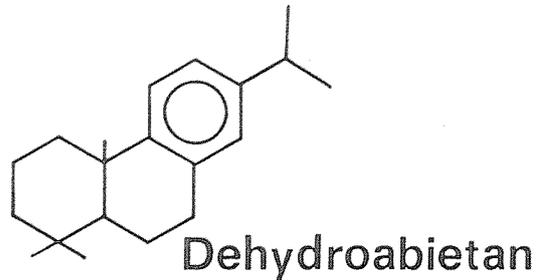
Tab. 12 Zusammensetzung der Fraktion der Paraffine/Olefine ausgesuchter Braunkohle-  
lithotypen aus Borken (Go), Ostheim (Ost) und vom Hirschberg (Hir)

Das Fehlen der Diterpane in der Borkener Kohle findet seine Ursache wahrscheinlich in der nur sehr untergeordneten Rolle der Koniferen in der eozänen Vegetation (MINNIGERODE 1981, MINNIGERODE & RIEGEL 1983). Im Laufe des Jungtertiär nimmt die Bedeutung der Koniferen zu. Im Mittelmiozän (Hirschberger Kohle) machen sie schon einen bedeutenden Anteil der torfbildenden Vegetation aus (BENDER 1981), so daß das verstärkte Auftreten der Diterpane in den resultierenden Kohlen zu erwarten ist. Betrachtet man die Anteile der Diterpane in Bezug auf die Lithotypen der Ostheimer und Hirschberger Kohle, so zeigt sich, daß die Diterpane umso stärker hervortreten je gewebereicher die Kohlen sind. Dies weist auf den primär höheren Anteil der Koniferen, deren Hölzer nur schwer zersetzlich sind, in der Ursprungsvegetation der gewebereichen Lithotypen hin.

In der Ostheimer und Hirschberger Kohle zeigen die Anteile der Triterpene gegenläufige Tendenz zu den Anteilen der Diterpane, was genau in das Bild einer wechselnden Vegetation als beeinflussender Faktor für die Lithotypenbildung paßt. Danach wären hohe Anteile an Triterpenen in der Borkener Kohle zu erwarten, da diese im wesentlichen aus einer Angiospermenvegetation hervorgegangen ist. Sie spielen aber kaum eine Rolle und konnten in einigen Proben gar nicht nachgewiesen werden. Es liegt nahe, die Ursache hierfür in der allgemein starken mikrobiellen Zersetzung der Borkener Kohle zu sehen. Aber Mikroorganismen haben nur wenig Einfluß auf das Vorkommen von Triterpenen, da diese nur wenig angegriffen werden (REED 1977, SEIFERT & MOLDAWAN 1979), wohingegen die n-Alkane bevorzugt verwertet werden (REED 1977, SAXBY 1978, HOLLERBACH 1980a). Da die n-Alkane selbst in den hellen Grundmassenkohlen noch vorhanden sind, scheidet ein mikrobieller Abbau als Ursache für das Fehlen der Triterpene aus.

Triterpene lassen sich aufgrund ihrer reaktionsträgen endocyclischen Doppelbindung leicht aromatisieren (HOLLERBACH 1980a) und wurden in aromatisierter Form schon häufig nachgewiesen (STREIBL & HEROUT 1969, WAKEHAM et al. 1980, CHAFFEE & JOHNS 1983), so daß

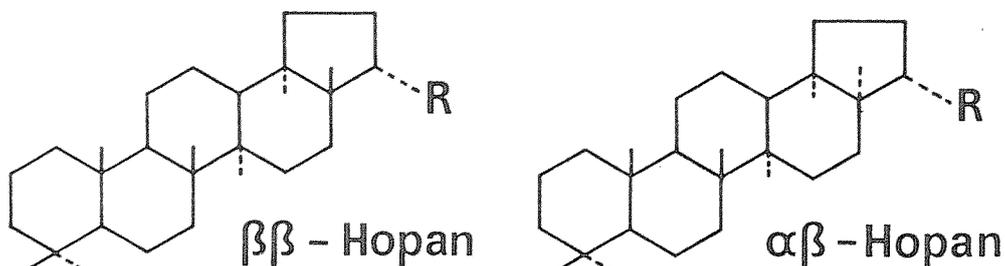
die Ursache für das Fehlen der Triterpene in der Borkener Kohle eine Aromatisierung sein könnte. Nach MEINSCHEN (1969) werden die meisten aromatischen Kohlenwasserstoffe nicht in lebenden Zellen gebildet, sondern gehen aus Sterolen und Isoprenoiden hervor. Auch in den Hessischen Braunkohlen konnten durch die vorliegenden Untersuchungen aromatisierte Steran- und Terpenabkömmlinge nachgewiesen werden. Als Abkömmling von pentacyclischen Triterpenen (WAKEHAM et al. 1980) tritt 3,4,7-Trimethyl-1,2,3,4-tetrahydrochrysen auf. Als aromatisierter Diterpanabkömmling (HOLLERBACH 1980a) konnte Dehydroabietan nachge-



wiesen werden. Dehydroabietan könnte aber auch natürlichen Ursprungs sein, da es rezent in *Thujopsis dolabrata* und *Podocarpus ferrugineus* identifiziert wurde (SIMONEIT 1977).

Homohopan kommt in allen untersuchten Proben in relativ hohen Konzentrationen vor. Dies ist nicht verwunderlich, da alle Kohlen fröhdiagenetisch die reduzierende Torfbildungsphase durchlaufen haben. Bei den gewebereichen Lithotypen scheint diese Phase etwas stärker gewesen zu sein als bei den gewebearmen. Gleiche Ergebnisse werden von HAGEMANN & HOLLERBACH (1980) aus der Rheinischen Braunkohle berichtet. Im Gegensatz zu den Triterpenen wurde Homohopan auch in der Borkener Kohle nicht aromatisiert. Dies wird auf das Fehlen einer endocyclischen Doppelbindung zurückzuführen sein. Auch CHAFFEE & JOHNS (1983) konnten feststellen, daß Kohlenstoffgerüste vom Lupan- und Hopan-Typ schlechter zu aromatisieren sind als die vom Oleanen- und Ursen-Typ.

In allen untersuchten Proben tritt Homohopan in zwei Homologen auf. Sie lassen sich massenspektrometrisch durch eine Dominanz der Molekülbruchstücke mit der Masse 205 (17 $\beta$ H, 21 $\beta$ H -Homohopan) oder 191 (17 $\alpha$ H, 21 $\beta$ H -Homohopan) unterscheiden. Lebende Organismen synthetisieren ausschließlich  $\beta\beta$ (untergeordnet  $\beta\alpha$ ) -Hopangerüste, während  $\alpha\beta$ -Hopangerüste nie in einem Organismus nachgewiesen wurden. Die  $\alpha\beta$ -Typen sind thermodynamisch stabiler und entstehen erst fröhdiagenetisch durch Isomerisation. Hierdurch kann das Verhältnis der beiden isomeren Strukturen als Reifeparameter für organische Substanzen dienen (TISSOT & WELTE 1978).

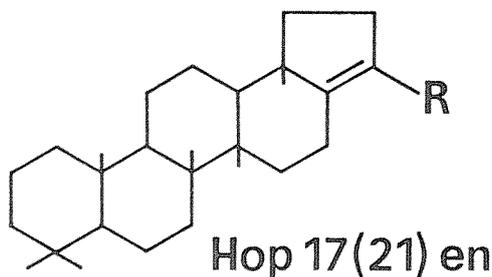


Tab. 13 zeigt das Verhältnis der Hopanisomeren in den untersuchten Kohlen. Obwohl sich keine deutliche Beziehung zwischen den stark streuenden Verhältniszahlen und der Lithotypenausbildung ergibt, ist das Bio-Homohopan in den stärker zersetzten Kohlen tendenziell weniger in Geo-Homohopan umgewandelt als in den gewebereicheren Kohlen. Hierin ist ein weiteres Indiz für die stärker anaerobe Beanspruchung der gewebereicheren Kohlen zu sehen.

Lagerstätte	Borken	Ostheim	Hirschberg
Lithotyp			
Gewebekohle			2,08
Gewebegrundmassenkohle		2,58	4,25
Grundmassenk., dunkel	0,44	5,22	
Grundmassenk., hell	0,39	1,42	
Wasserkohle	0,15		

Tab. 13 Verhältnis von  $\alpha\beta$ -(Geo-)Homohopan zu  $\beta\beta$ -(Bio-)Homohopan in Hessischen Braunkohlen

Neben Homohopan konnten in den Hessischen Braunkohlen auch Hopan, Adiantan und Trisnorhopan nachgewiesen werden. Eine Abhängigkeit zwischen ihrem Auftreten und den Lithotypen ist nicht zu erkennen. In der Gewebekohle vom Hirschberg tritt auch ein ungesättigtes, pentacyclisches Triterpen mit einer Doppelbindung im fünfgliedrigen Ring, das Hop 17(21) en, auf. Von den Steranen sind meist nur die aromatisierten Abbauprodukte



erhalten. Auch zwischen ihrem Auftreten und der Lithotypenausbildung ist kein Zusammenhang zu erkennen.

Unter den hellen Grundmassenkohlen nimmt die Wasserkohle eine Sonderstellung ein. Sie ist durch einen vergleichsweise sehr hohen Anteil an Paraffinen/Olefinen gekennzeichnet, der nahezu ausschließlich aus n-Alkanen besteht. Bitumenreichtum und der hohe Anteil an Paraffinen/Olefinen belegen eine starke oxidative Beanspruchung. Der hohe Paraffingehalt zeigt aber, daß die mikrobielle Überarbeitung nicht so stark war wie in den "normalen" hellen Grundmassenkohlen des Borkener Flözes.

Die kombinierten gaschromatographisch-massenspektrometrischen Untersuchungen haben gezeigt, daß für die unterschiedliche Ausbildung der Lithotypen und für die Bildung der

"stark fluoreszierenden Grundmasse" im wesentlichen die Intensität der Zersetzungsprozesse in der aeroben Torfbildungsphase verantwortlich ist. Zu entsprechenden Ergebnissen kommen HAGEMANN & HOLLERBACH (1980) für die Rheinische Braunkohle. Ab dem mittleren Miozän macht sich aber sicher auch der wachsende Anteil der Koniferen an der torfbildenden Vegetation bemerkbar. Dabei wirken eine verringerte Zersetzungsaktivität aerober Mikroorganismen und der größere Widerstand der Koniferenhölzer gegen mikrobiellen Angriff in die gleiche Richtung und führen zu gewebe- und xylitreichen Lithotypen.

## VI. BEZIEHUNGEN ZWISCHEN PETROGRAPHIE UND PALYNOLOGIE

Auf die Beziehungen zwischen der petrographischen Ausbildung von Braunkohlelithotypen und ihrer Sporen- und Pollenführung soll an dieser Stelle nicht detailliert eingegangen werden. Diesbezüglich wird auf die entsprechenden Arbeiten hingewiesen\*. Wichtig im Rahmen der Problemstellung dieser Arbeit ist, inwieweit die torfbildende Vegetation als Ursache für den unterschiedlichen Zersetzungsgrad der pflanzlichen Substanz, der die Unterschiede in den Braunkohlelithotypen hervorruft, in Frage kommt.

Durch die gaschromatographisch-massenspektrometrischen Untersuchungen (Kap. V.6.) konnte gezeigt werden, daß die Kohlen der Hessischen Senke aus höheren Landpflanzen hervorgegangen sind. Im Hinblick auf die Zersetzungsresistenz reicht es aus, zwischen Koniferen und Angiospermen zu unterscheiden. Die Hölzer von Koniferen und Angiospermen sind zwar in ihrer chemischen Zusammensetzung kaum voneinander zu unterscheiden (HUC 1980: Fig. 142), aber eine Imprägnation mit Gerbstoffen und Harzen (TEICHMÜLLER 1950) verleiht den Koniferenhölzern eine größere Zersetzungsresistenz (TEICHMÜLLER 1950, v.d.BRELIE & WOLF 1981). Wachsende Anteile der Koniferen an der torfbildenden Vegetation führen demnach bei sonst gleichbleibenden Bedingungen zu gewebereichereren Lithotypen. Als Beleg hierfür sind die Xylite anzusehen, die nahezu ausschließlich aus Koniferenhölzern bestehen.

In der Borkener Kohle beträgt der durchschnittliche Anteil der Koniferenpollen am gesamten Pollen- und Sporenspektrum weniger als 2% (MINNIGERODE 1981), im Flöz III vom Hirschberg etwa 25% (BENDER 1981) und im Dörentruper Flöz 47% (MINNIGERODE & KLEIN-REESINK 1984). Diese Werte sind streng mit den Anteilen an Xylitischen Kohlen korreliert ( $R = 1,0$ ), die in Borken fehlen, am Hirschberg 31% und in Dörentrup 64% des Flözes ausmachen. Ein Zusammenhang zwischen Petrographie und Palynologie zeigt sich auch, wenn man das Verhältnis der Angiospermenpollen zu den Koniferenpollen (VA/K) gegen den Zersetzungsgrad der Kohlen (Detritusgehalt %; vgl. Kap. III.7.) aufträgt (Abb. 41).

---

\* Borken : PFLUG 1957, WOLLENHAUPT 1980, MINNIGERODE 1981, MINNIGERODE & RIEGEL 1983  
Hirschberg : BENDER 1981  
Dörentrup : MINNIGERODE & KLEIN-REESINK 1984

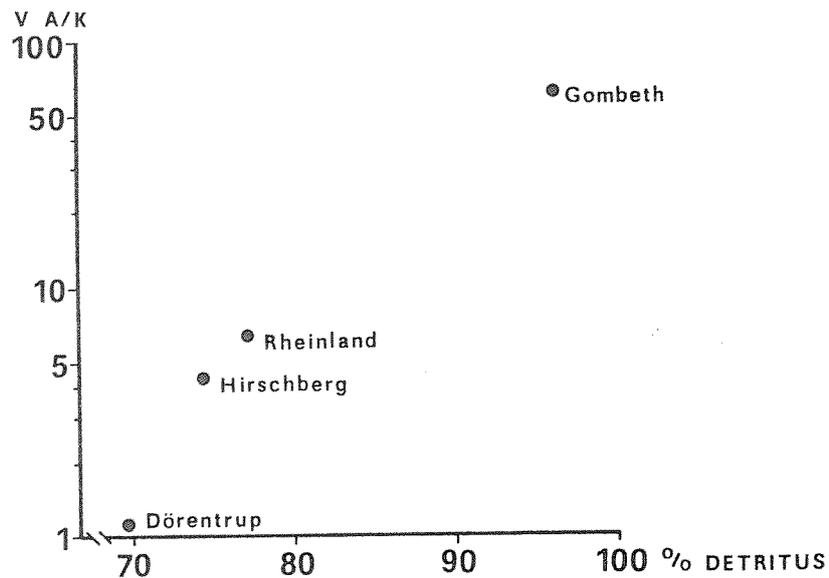


Abb. 41 Beziehung zwischen dem Verhältnis der Angiospermen- zu den Koniferenpollen (VA/K) und dem Zersetzungsgrad (Gehalt an detritischen Mazeralen) in verschiedenen Braunkohlevorkommen. Rheinland nach v.d.BRELIE & WOLF (1981)

Betrachtet man die einzelnen Lagerstätten aber detaillierter, so muß die zunächst eng erscheinende Beziehung zwischen Vegetationszusammensetzung und Lithotypenbildung aber doch relativiert werden. Dies zeigt sich deutlich, wenn man das Angiospermen-Koniferen-Verhältnis in Blockdiagrammen gegen die Lithotypen aufträgt (Abb. 42). In den Braunkohlen von Borken, Hirschberg und Dörentrup ergeben sich für die einzelnen Lithotypen stark streuende A/K-Verhältnisse, die sich in weiten Bereichen überschneiden. Dies wird auch im Diagramm für die Rheinische Braunkohle deutlich (nach Daten von v.d.BRELIE & WOLF 1981). Hieraus ist vor dem Hintergrund der Ergebnisse der organisch-geochemischen Untersuchungen zu entnehmen, daß vor allem die Ablagerungs- und Diagenesebedingungen für die Lithotypenbildung entscheidend sind. Auch v.d.BRELIE & WOLF (1981b) kommen für die Braunkohlen aus der Bohrung Desdorf 287/67 zu dem Ergebnis, daß der petrographische Charakter einer Kohle nicht durch die Menge des als schwer zerstörbar geltenden Sequoiaholzes bestimmt wird, sondern von den allgemeinen Umweltbedingungen, vor allem vom Stand des Grundwassers. Die scheinbar sehr enge Beziehung zwischen Lithotypen und A/K-Verhältnis im 2. Niederlausitzer Flöz ist dadurch zu erklären, daß SONTAG (1965) für die Erzeugung des Blockdiagrammes nur Mittelwerte für ganze Profile oder größere Profilschnitte verwandte, wodurch eine primär starke Streuung der Einzelwerte eliminiert werden kann.

Innerhalb der einzelnen Lagerstätten ergeben sich für das Nebengestein und die Mineralkohlen die niedrigsten A/K-Verhältnisse. Hierin ist ein Hinweis darauf zu sehen, daß besonders der Anteil der Koniferenpollen im Sediment allochthonen Ursprungs sein kann. Dies wirkt sich zwar nicht auf die Pollenvergesellschaftung der Lagerstätte als ganzes aus, kann aber zu Unregelmäßigkeiten innerhalb einzelner Moorbereiche (Lithotypen) führen und einen Teil der beobachteten starken Streuung der A/K-Verhältnisse bewirken.

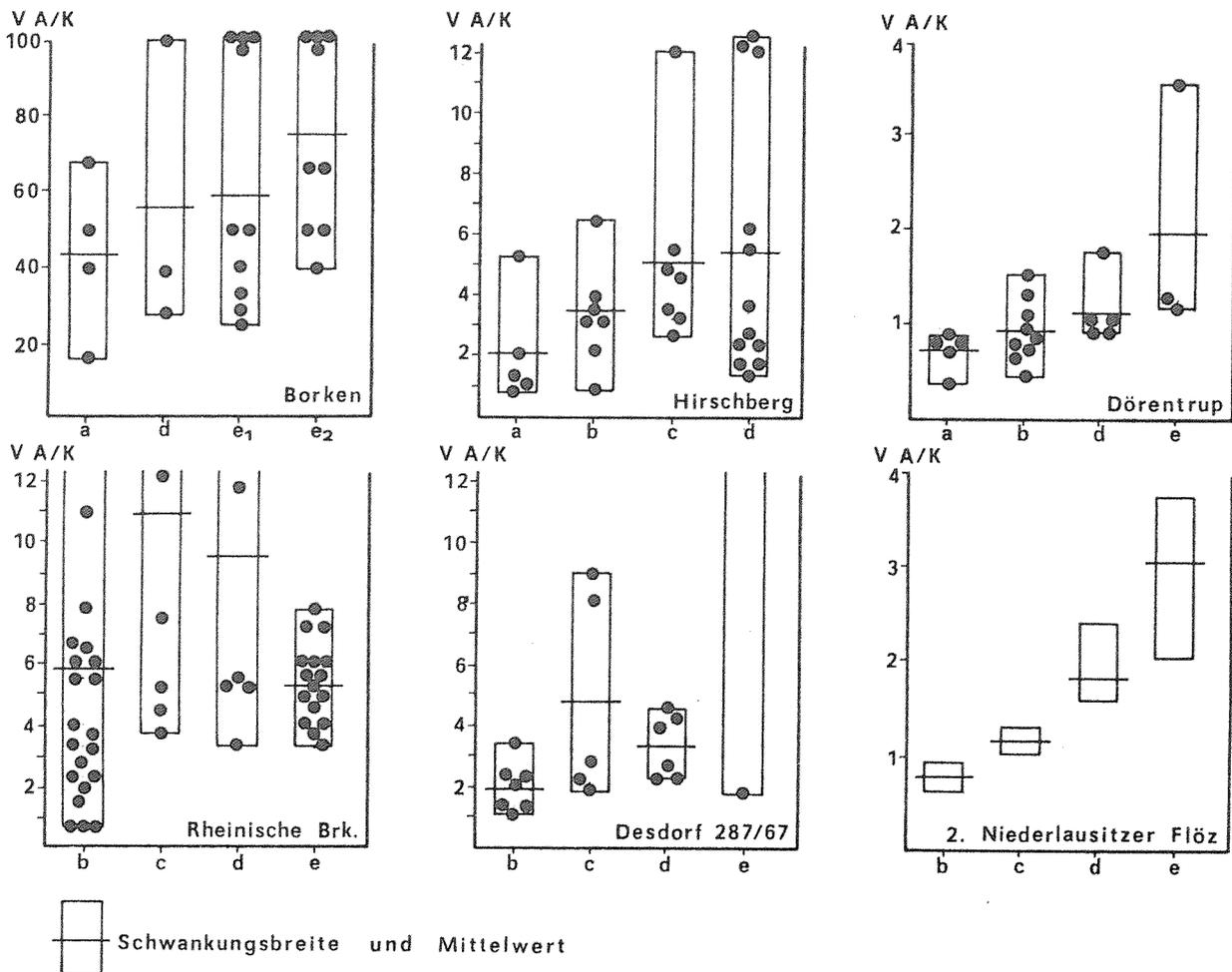


Abb. 42 Beziehung zwischen Angiospermen/Koniferen-Verhältnis (VA/K) und Petrographie in verschiedenen Kohlevorkommen. a = Nebengestein und Mineralkohlen  
 b = Xylitische Kohlen, c = Gewebekohlen, d = Gewebegrundmassenkohlen  
 e = Grundmassenkohlen 1: hell 2: dunkel  
 Rheinische Braunkohle nach v.d.BRELIE & WOLF 1981; Desdorf 287/67 nach v.d. BRELIE & WOLF 1981b; 2. Niederlausitzer Flöz nach SONTAG 1965

RIEGEL (1965) konnte am Beispiel der Florida-Everglades zeigen, daß der allochtone Pollenniederschlag einerseits durch den Filtereffekt einer dichten Bruchwalddecke zurückgedrängt werden kann, andererseits in Bereichen offener Wasserflächen angereichert wird. Eine weitere Ungenauigkeit bei der Gleichsetzung von Pollenniederschlag und lokaler Vegetationsdecke kann aus einer primär engen Verzahnung verschiedener Faziesbereiche resultieren, die besonders für die kleinräumigen Braunkohlevorkommen der Hessischen Senke angenommen werden (BENDER 1981, MINNIGERODE & RIEGEL 1983).

Die aufgezeigten Beziehungen zwischen Petrographie und Palynologie bestätigen die Ergebnisse der gaschromatographisch-massenspektrometrischen Untersuchungen. Die grundlegend verschiedenen Methoden der Palynologie und der organischen Geochemie zeigen unabhängig voneinander, daß die torfbildende Vegetation die Petrographie von Braunkohlen beeinflusst, daß sie aber für die Ausbildung einzelner Lithotypen nicht entscheidend ist.

## VII. GENETISCH - FAZIELLE SCHLUSSFOLGERUNGEN

Seit gegen Ende des letzten Jahrhunderts die Vorstellung von einer allochthonen Flözentstehung aufgegeben wurde, hat sich die Diskussion über die Genese der Braunkohlen immer wieder am Problem der Entstehung des Wechsels heller und dunkler, detritischer und gewebereicher Lithotypen entzündet. Auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse und Ansichten früherer Autoren (zum Beispiel: GOTHAN 1924; JACOB 1956; THOMSON 1950, 1952; TEICHMÜLLER 1950, 1958; TEICHMÜLLER & THOMSON 1958; PFLUG 1957; SCHNEIDER 1978) kann an dieser Stelle verzichtet werden. Eine gute Übersicht liefern die Arbeiten von MILDE-DARMER (1964), JACOB (1966) und v.d.BRELIE & WOLF (1981). Die bis heute strittigen Punkte lassen sich im wesentlichen auf zwei Fragen reduzieren:

- 1) Wird die Schichtung der Braunkohlenflöze durch den Wechsel verschiedener Pflanzenvergesellschaftungen hervorgerufen, oder spiegeln sich in den verschiedenen Lithotypen wechselnde Vertorfungsbedingungen wieder?
- 2) Sind die hellen, stark detritischen Lithotypen in einem feuchteren oder in einem trockeneren Bildungsmilieu entstanden als die dunklen Lithotypen?

Obwohl bis heute unterschiedliche und zum Teil konträre Ansichten zu diesen Fragen vertreten werden, weisen die bisherigen Genesetheorien doch gemeinsame Züge auf, aus denen sich die Notwendigkeit und der methodische Ansatz der vorliegenden Arbeit ableiten lassen. In der Regel stützen sie sich auf die Untersuchung einzelner Lagerstätten mit speziellen, durch die geologischen und klimatischen Umweltverhältnisse geprägten Entstehungsbedingungen; im Extremfall sogar auf die Untersuchung spezieller Lithotypen. Je nach Fachrichtung der Autoren werden petrographische, paläobotanische, physikochemische oder organisch-geochemische Aspekte hervorgehoben. Im Gegensatz dazu werden in der vorliegenden Arbeit mehrere, unter jeweils verschiedenen Rahmenbedingungen entstandene Lagerstätten untersucht. Die genetischen Schlußfolgerungen beschränken sich nicht nur auf einzelne Aspekte, sondern stützen sich auf die Ergebnisse unterschiedlichster Methoden, deren Kombination ein komplexes Bild vom jetzigen Zustand der Braunkohlenflöze liefert. Außerdem wird versucht, die Verhältnisse in rezenten Mooren auf die Braunkohlen zu übertragen, um dadurch zu erreichen, daß der vorgelegten Genesetheorie nicht vage Hypothesen, sondern in der Natur ablaufende Vorgänge zugrunde liegen. Diese Vorgehensweise wurde dadurch ermöglicht, daß a) die Kenntnisse über die Verhältnisse in rezenten Mooren durch die Arbeiten von COHEN (1973), COHEN & SPACKMAN (1977, 1980) sowie SPACKMAN, RIEGEL & DOLSEN (1969) in neuerer Zeit erheblich erweitert wurden, und b) der Ablauf des Humifizierungsprozesses durch den Kenntniszuwachs der organischen Chemie weitgehend geklärt werden konnte.

Bevor nun die beiden oben herausgestellten Fragen anhand der eigenen Ergebnisse und vor dem Hintergrund der Ansichten älterer Autoren diskutiert werden, sollen zunächst zusammenfassende Bemerkungen über Torfe und Vertorfungsbedingungen in rezenten Mooren und über den Ablauf der Humifizierung vorangestellt werden.

VII.1. MOORTYPEN, VERTORFUNGSBEDINGUNGEN UND  
TORFE IN REZENTEN MOOREN, UNTER BESONDE-  
RER BERÜCKSICHTIGUNG DER EVERGLADES

COHEN & SPACKMAN (1977) teilen die Torfe der Florida-Everglades in Bildungen des marinen bis brackischen sowie des Süßwasserbereiches ein. Da in den untersuchten Hessischen Braunkohlen keine Anzeichen für eine marine Beeinflussung vorhanden sind, beschränken sich die folgenden Erläuterungen auf die Süßwasserbildungen.

Die verschiedenen Moortypen sind durch unterschiedliche Pflanzenvereine gekennzeichnet. Die ihnen zuzuordnenden Torfe werden nach den jeweils dominierenden Florenelementen benannt. COHEN & SPACKMAN (1977) unterscheiden auf diese Weise fünf wichtige Torftypen:

- a) *Myrica-Persea-Salix* Torf
- b) *Mariscus*-Süßwasserfarn-*Myrica* Torf
- c) *Mariscus* Torf
- d) *Mariscus*-Seerosen Torf
- e) Seerosen Torf

Die *Myrica-Persea-Salix* Vergesellschaftungen besiedeln inselförmige Schwellenbereiche (hammocks). Die Torfoberfläche liegt dort um einige Zentimeter bis Dezimeter höher als in den umgebenden, offenen Moorbereichen. Dies bewirkt, daß die Oberfläche während der Trockenperioden über längere Zeit anhaltend austrocknet, und der Torf stark aeroben Bedingungen ausgesetzt ist. Er wird dann durch wühlende Organismen und Mikroben zersetzt. Hieraus resultiert im Torf ein relativ hohes Verhältnis von Detritus (matrix) zu strukturierten Geweberesten (framework). Trotzdem geht der Torf zu einem vergleichsweise hohem Anteil aus oberirdischen Pflanzenorganen (Blätter, Rinde, Holz) hervor.

*Mariscus*-Süßwasserfarn-*Myrica* Vergesellschaftungen treten entweder in einem Gürtel um die *Myrica-Persea-Salix* Schwellenbereiche oder eigenständig auf etwas flacheren Schwellenbereichen auf. Ihr Milieu ist etwas feuchter als das der *Myrica-Persea-Salix* Vergesellschaftungen; trockene Perioden und stark aerobe Bedingungen sind weniger extrem und anhaltend. Der Torf weist einen höheren Anteil an strukturierten Geweberesten auf, die zum überwiegenden Teil aus unterirdischen Pflanzenorganen (Wurzeln, Wurzelfasern, Rhizome) hervorgehen. Im Moorprofil unterlagert er (soweit bisher bekannt) die *Myrica-Persea-Salix* Torfe.

*Mariscus* Bestände bilden den häufigsten Vegetationstyp in den Florida-Everglades (Riedmoor). *Mariscus* tritt oft in Vergesellschaftung mit Wasserpflanzen wie *Sagittaria lancifolia* und *Panicum hemitomum* auf. Die Bildungsbedingungen der *Mariscus* Torfe sind feuchter als die der "hammock" Torfe; die Torfe demzufolge weniger zersetzt. Sie gehen normalerweise fast ausschließlich aus den unterirdischen Pflanzenorganen hervor. Der Anteil an Geweberesten (framework) beträgt etwa 40%. *Mariscus* Torfe, die in Moorbereichen entstehen, die nicht trockenfallen, enthalten demgegenüber Gewebereste, die zu etwa gleichen Teilen aus oberirdischen und unterirdischen Organen hervorgingen. Ihr Gewebeanteil beträgt durchschnittlich 65%.

Der Übergangsbereich zwischen den Riedmooren und dem Seerosengürtel wird von *Mariscus* und Seerosen besiedelt. Dieses Milieu fällt nur noch relativ kurzzeitig trocken. Die Dauer der Trockenperioden reicht aber aus, daß der größte Teil der oberirdischen Pflanzenorgane zersetzt wird. Die im Torf erhaltenen Gewebereste gehen fast ausschließlich aus Wurzeln und Rhizomen hervor.

In den fast ständig vom Wasser bedeckten Moorbereichen ist das dominierende Florenelement die Seerose. Die Torfe bestehen zu fast 50% aus strukturierten Überresten der unterirdischen Pflanzenorgane. Trotz der Seltenheit und Kürze von Trockenperioden werden die oberirdischen Pflanzenteile offensichtlich sehr rasch zersetzt. Eine Erklärung hierfür können COHEN & SPACKMAN (1977) nicht geben. Sie gehen allerdings davon aus, daß die Zersetzung im wesentlichen während der Trockenperioden durch "Wühlorganismen" und Pilze bewirkt wird. Beide kommen in den wasserbedeckten Arealen kaum vor. Lignin-freie Gewebe, wie die der Seerosen, können aber sogar von anaeroben Bakterien abgebaut werden (vgl. Kap. V.6.1.).

Bei den vorstehenden Ausführungen wurde bewußt auf die Beschreibung der verschiedenen Zersetzungsstadien der pflanzlichen Gewebe verzichtet. Verschiedene Pflanzenorgane, wie auch verschiedene Gewebe ein und desselben Pflanzenorgans werden unterschiedlich schnell umgebildet (COHEN 1973, WALTZ 1973, COHEN & SPACKMAN 1980). Da aber in den Braunkohlen nur die jeweiligen Endstadien des Zersetzungsprozesses erhalten sind, und die Flöze aus zum Teil ganz anderen Pflanzenvergesellschaftungen hervorgegangen sind, als die in heutigen Mooren existierenden, lassen sich die Erkenntnisse nur mit Einschränkungen auf das fossile Material übertragen. Ein wesentliches Kennzeichen rezenter Torfe ist aber das Verhältnis von strukturierten Geweberesten (framework) zu Detritus (matrix). Dieser Parameter ist auch bei der Klassifikation von Braunkohlelithotypen das entscheidende Kriterium (vgl. Kap. III.1.1.). Den durchschnittlichen Matrixanteil der Torftypen in den Florida-Everglades zeigt Abb. 43. Es wird deutlich, daß die Matrixanteile umso stärker ansteigen, je häufiger und länger die Trockenphasen im Bildungsmilieu sind.

Leider fehlen in den Arbeiten von COHEN und SPACKMAN weitgehend Angaben über die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Torfe in den Everglades. Einzelne Aspekte sind aber dennoch aus Untersuchungen in anderen rezenten Mooren, sowie aus experimentellen Nachweisen bekannt.

- Torfe, die im Bereich von stagnierenden Wässern gebildet werden, sind durch das Auftreten einer huminsäurereichen, "doppleritischen" Substanz gekennzeichnet (POTONIE 1908, TEICHMÜLLER 1950, GROSSE-BRAUCKMAN 1962, GÖTTLICH 1980; vgl. KLEIN-REESINK & RIEGEL 1983).
- Verwitterung (aerobe Zersetzung) von Torfen führt zu einer Anreicherung von Bitumen (Fetten und Wachsen) in den "Resttorfen" (FRANCIS 1961, JACOB 1968). Diese Anreicherung kann auch bei der aeroben Zersetzung von Braunkohlen beobachtet werden (GOTHAN 1924, BREDDIN 1958).

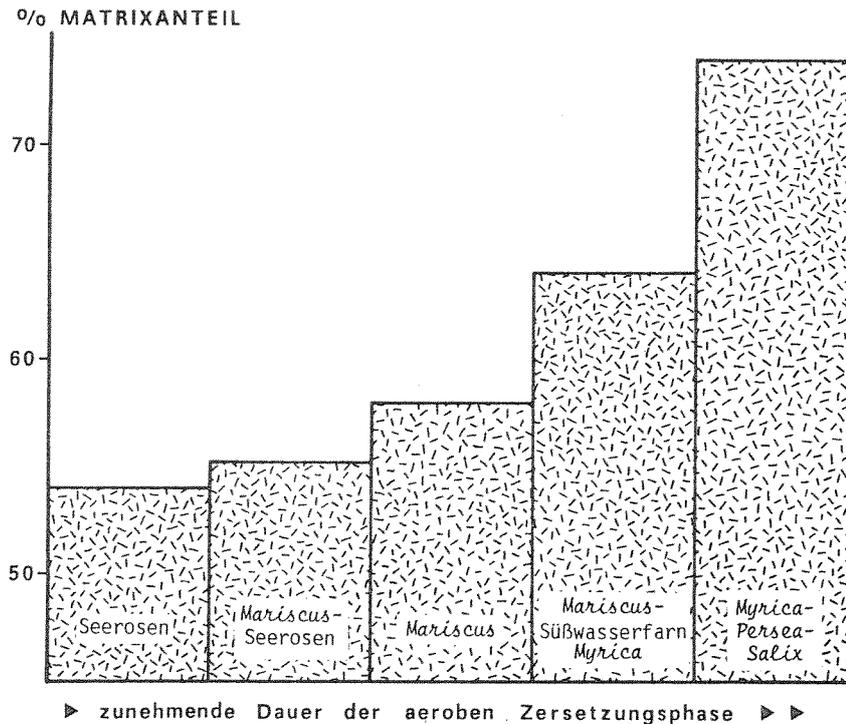


Abb. 43 Der Detritusgehalt (matrix) verschiedener Torftypen aus den Florida Everglades in Abhängigkeit von der Dauer der aeroben Zersetzungsphase (nach COHEN & SPACKMAN 1977)

- In Moorbereichen unterhalb und im Niveau des Grundwasserspiegels (Niedermoor) bilden sich aschereichere Torfe als in Moorbereichen oberhalb des Grundwasserspiegels (Hochmoor) (JACOB 1966, NAUCKE 1980).
- SPRINGER & LEHNER (1952, zit. in JACOB 1956) konnten durch Gefäßversuche nachweisen, daß sich beim Abbau von Pflanzenresten zunächst dunkel gefärbte Huminstoffe bilden. Unter aeroben Bedingungen tritt schon nach einjähriger Rotte ein Abbau der Huminstoffe ein. Unter anaeroben Bedingungen werden aber selbst nach acht Jahren noch dunkle Huminstoffe gebildet.

## VII.2. DER ABLAUF DER HUMIFIZIERUNG

Huminstoffe, die den weitaus größten Teil der Torfe und Braunkohlen ausmachen, verdanken ihre Entstehung vielfältigen Abbau- und Aufbauprozessen (SCHEFFER 1941). Das Ausgangsmaterial in Torfmooren liefern im wesentlichen die höheren Landpflanzen, die aus Zellulose, Lignin, Proteinen und Lipiden bestehen.

Die klassische Theorie der Entstehung von Huminstoffen besagt, daß die Huminstoffe Oxidationsprodukte des Lignins sind (KREULEN 1962, STEVENSON & BUTLER 1969). Sie ging davon aus, daß Proteine und Zellulose so rasch zersetzt werden, daß sie nicht mehr in

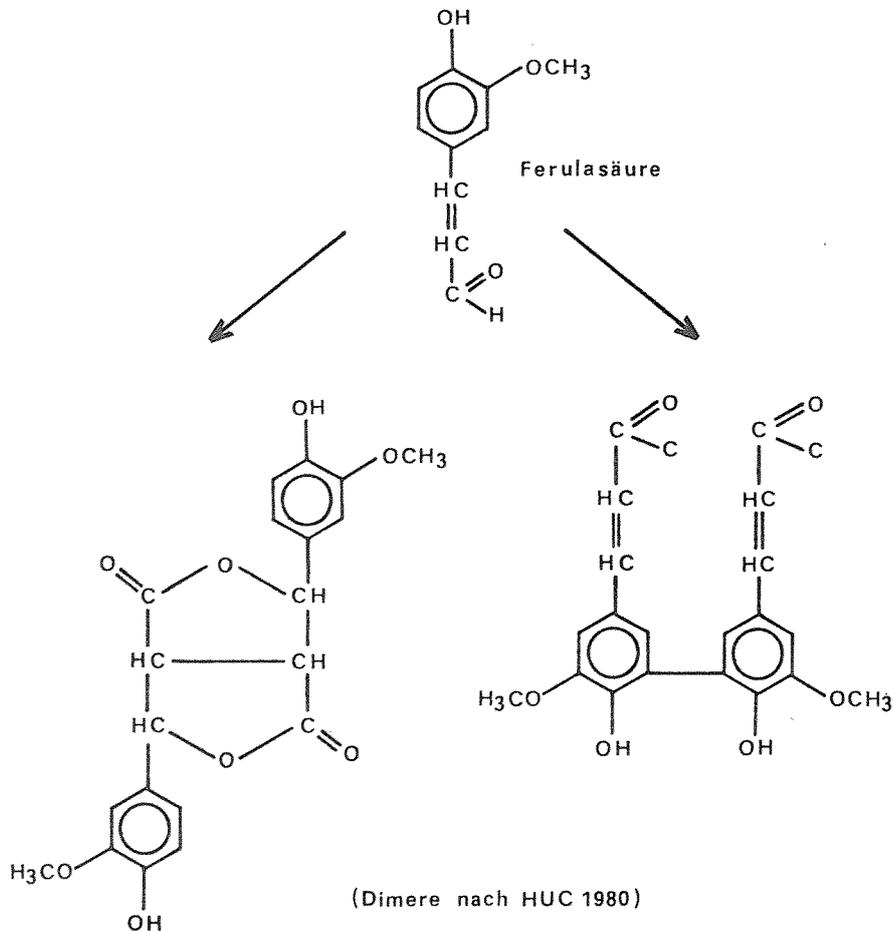
die Humussubstanz eingehen. Es stellte sich aber heraus, daß neben Lignin auch Kohlehydrate, Aminosäuren, Tannine und andere Stoffe am Aufbau des Humus beteiligt sind (FRANCIS 1961, LANGE 1979). Hieraus resultierte eine neue Theorie der Huminstoffbildung, die sich in zwei Phasen gliedert (STEVENSON & BUTLER 1969, HUC 1980):

1) Abbau aller Pflanzenbestandteile einschließlich Lignin bis zu einfachen Monomeren

2) Polymerisation der Monomere zu Polymeren mit hohen Molekulargewichten

Die wichtigsten, beim Abbau der Pflanzenbestandteile entstehenden Monomere sind Phenole, Aminosäuren, Zucker und Carbonsäuren (HUC 1980).

Lignin gilt auch heute noch als Hauptquelle der Huminsäuren (FLAIG 1964, SCHLEGEL 1976, ERTEL et al. 1984). Seine Abbauprodukte, die Phenole, gehen demnach in besonderem Maße in die Huminstoffe ein (HUC 1980). Phenole können auf vielfältige Weise miteinander reagieren (FLAIG 1964). Dies kann am Beispiel der Ferulasäure, einem Spaltstück des Lignins (FLAIG 1969), verdeutlicht werden.

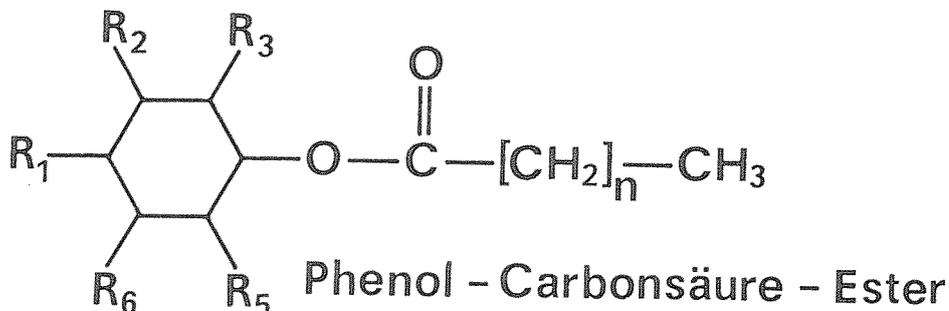


Die zunächst gebildeten Dimere sind in der Lage weiter zu polymerisieren. Die Phenole entstammen nicht nur dem Lignin; sie können auch mikrobiell synthetisiert worden sein (HUC 1980).

Stickstoffhaltige Polymerisate können durch Kondensationsreaktionen von Aminosäuren mit Phenolen oder Zuckern entstehen (FLAIG 1969, HUC 1980). Die an diesen Reaktionen beteiligten Aminosäuren entstammen den Proteinen von Mikroorganismen. Die ursprünglichen,

pflanzlichen Proteine werden im mineralarmen Milieu eines Torfmoores sehr rasch abgebaut, da die Mikroorganismen den Stickstoff, den sie zum Aufbau art eigener Proteine benötigen, nahezu ausschließlich aus den Proteinen der Pflanzen beziehen (KREULEN 1962, FRANCIS 1961, FLAIG 1969). Der den Mikroorganismen zur Verfügung stehende Stickstoff ist ein begrenzender Faktor für den mikrobiellen Abbau aller Pflanzenstoffe (FLAIG 1969).

Wasserstoffreiche Huminstoffe können durch den Einbau von Carbonsäuren in die Polymerisate entstehen. Carbonsäuren sind in der Lage, mit Phenolen Esterbindungen einzugehen (TISSOT & WELTE 1978, HUC 1980).



Carbonsäuren sind einer der wesentlichen Bestandteile der bakteriellen Fette (SCHLEGEL 1976). Außerdem entstehen sie in erheblichen Maße bei der bakteriellen Zellulosevergärung (RAMANN 1911, SCHLEGEL 1976); vgl. Kap. V.6.1.).

### VII.3. DIE URSACHEN FÜR DEN LITHOTYPENWECHSEL (SCHICHTUNG) IN BRAUNKOHLEFLÖZEN

Einer der wesentlichen Streitpunkte zwischen den Autoren, die sich mit der Braunkohlen-genese befaßt haben, ist die Frage nach der Ursache der Schichtung der Flöze. Etwas pauschalisiert kann man zwei extreme Standpunkte unterscheiden. Die eine Autorengruppe geht davon aus, daß sich im Wechsel der Lithotypen wechselnde Verstorungsbedingungen (aerob - anaerob, trocken - naß) widerspiegeln. Einer der namhaftesten Vertreter dieser Theorie ist GOTHAN (1924). Seine Ansicht wird in differenzierter Form in neuerer Zeit von JACOB (1966), HILTMANN (1976) sowie v.d.BRELIE & WOLF (1981, 1981b) vertreten. GOTHANs Theorie war bis zu Beginn der fünfziger Jahre allgemein anerkannt, fand dann aber einen bedeutenden Widersacher in THOMSON (1950, 1952). Zwar liegt der krassste Gegensatz zwischen den beiden Theorien in der Beurteilung der Feuchtigkeitsverhältnisse bei der Bildung von hellen Schichten, aber entgegen GOTHAN vertritt THOMSON auch die Ansicht, daß sich in der Schichtung der Flöze der Wechsel verschiedener Pflanzenvereine spiegelt. Mit kohlen-petrographischen Argumenten wird seine Theorie insbesondere von TEICHMÜLLER (1958, TEICHMÜLLER & THOMSON 1958) untermauert. Im Hinblick auf die Hessischen Braunkohlen ist als Vertreter der Ansichten THOMSONs vor allem PFLUG (1957) zu erwähnen.

Prüft man die hier angesprochene Frage an den Verhältnissen in rezenten Mooren, so muß man im wesentlichen der Ansicht GOTHANs zustimmen. Der wichtigste, kennzeichnende

Parameter der Braunkohlelithotypen, das Verhältnis von strukturierten Geweberesten zu Grundmasseanteilen, wird in den Torfen der Everglades durch die Vertorfungs- (Zersetzungs-) bedingungen bestimmt. Der matrixreichste Torf bildet sich in den Moorbereichen, in denen die Torfoberfläche den am stärksten aeroben Zersetzungsbedingungen ausgesetzt ist. Dies ist umso bemerkenswerter, als diese Torfe aus dem zersetzungsresistentesten Ausgangsmaterial (holzreiche *Myrica-Persea-Salix* Vergesellschaftungen) hervorgehen. Umgekehrt bilden sich aus den vergleichsweise sehr leicht zersetzlichen Überresten der Seerosen unter stärker anaerob geprägten Bedingungen sehr gewebereiche Torfe (vgl. Kap. VII.1.). Die Bedeutung der Aerobieverhältnisse zeigt sich auch am Zersetzungsgrad von Torfen, die unter verschiedenen Bedingungen aus dem gleichen Ausgangsmaterial (*Mariscus*) hervorgegangen sind. Unter anaeroben Bedingungen sind sie ungleich gewebereicher als unter aeroben. Ein untergeordneter Einfluß der Zersetzungsresistenz des Ausgangsmaterials zeigt sich an der Art der erhaltenen Gewebereste. Lediglich bei dem holzreichsten Ausgangsmaterial (*Myrica-Persea-Salix*) gehen in nennenswertem Maße strukturierte Reste oberirdischer Pflanzenorgane in den Torf ein. Ein vergleichbarer Einfluß ist auch in Braunkohlen erkennbar, denn größere Holzreste (Xylite) gehen nahezu ausschließlich aus zersetzungsresistenten Koniferenhölzern hervor.

Die Beschreibungen vom mikroskopischen Erscheinungsbild der Everglades-Torfe beruhen ausschließlich auf Durchlichtbeobachtungen. Sie sind deshalb in vielen Fällen kaum auf die in der Kohlenpetrographie üblichen Auflichtbeschreibungen übertragbar. COHEN & SPACKMAN (1980) zeigen aber am Beispiel von *Nymphaea*-Wurzelgewebe, daß es bei der Vertorfung zwei grundlegend verschiedene Möglichkeiten zur Umbildung gibt (Abb. 44). Die eine führt zur Bildung von Zellwandbruchstücken, die sich in den Braunkohlen als grobkörniger Attrinit wiederfinden (siehe Taf. 3, Fig. 2). Die zweite Art der Umbildung führt über die Füllung der Zellumina zur nahezu vollständigen Homogenisierung der Gewebe. Auch derartig homogenisierte Gewebe sind in den Braunkohlen wiederzufinden (Ulminit). Da in rezenten Mooren die Homogenisierung (Vergelung) an Bereiche mit hohen, stagnierenden Wasserständen gebunden ist, erscheint es wahrscheinlich, daß die Redoxverhältnisse bestimmen, auf welche Weise Gewebereste umgebildet werden. Aus gleichartigen Pflanzenresten kann sich demnach unter aeroben Vertorfungsbedingungen Attrinit und unter anaeroben Vertorfungsbedingungen Ulminit bilden. Hierin liegt die Erklärung für den Humotelinitreichtum der stark vergelten Braunkohlelithotypen.

Die Bedeutung der Vertorfungsbedingungen (Aerobie) kann nicht nur durch den Vergleich der Petrographie der Braunkohlen mit der Petrographie und den Bildungsbedingungen rezenter Torfe belegt werden, sondern auch durch die mikrophotometrischen, physikochemischen und organisch-geochemischen Kennzeichen der Braunkohlelithotypen.

- Die mikrophotometrisch (Rotverschiebung der Fluoreszenzspektren von Sporiniten) und chemisch (Erhöhung des C-Gehaltes, Änderung der n-Alkan Verteilungsmuster) belegte Erhöhung des Inkohlungsgrades mit zunehmendem Destruktionsgrad der Lithotypen beruht auf einer verstärkten, aeroben mikrobiellen Beanspruchung (Kap. IV.2. und V.6.3.1.).

- Für die Entstehung der hohen Bitumengehalte in den stark detritischen hellen Lithotypen sind aerobe Zersetzungsbedingungen notwendig (Kap. V.6.1. und V.6.2.).
- Die Erniedrigung des Huminsäuregehaltes in Richtung auf die am stärksten zersetzten Lithotypen ist nach den Ergebnissen der Untersuchungen von SPRINGER & LEHNER (1952) auf aerobe Zersetzungsbedingungen zurückzuführen. Anaerobie erklärt demgegenüber die hohen Huminsäuregehalte der schwarzen Lithotypen (Kap. V.2.2.).

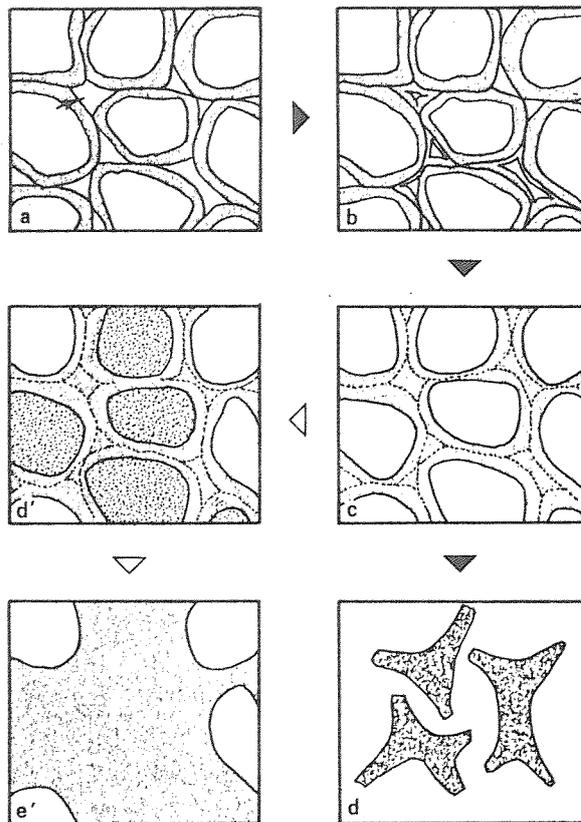


Abb. 44 Wurzelgewebe (a) und die Möglichkeiten seiner Umbildung bei der Verrottung (nach COHEN & SPACKMAN 1980: Text-fig. 2)

a-c : zunächst werden die Interzellularräume ausgefüllt

c-d : die erste Art der Umbildung führt zur Entstehung von Zellwand-Bruchstücken

c-e' : die zweite Art führt über die Füllung der Zellumina zur Homogenisierung des Gewebes

Die Bildung der "stark fluoreszierenden Grundmasse" läßt sich (wahrscheinlich aufgrund der bisher doch noch recht lückenhaften Kenntnisse über rezente Moore) durch direkte Rezentvergleiche nicht belegen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen aber, vor dem Hintergrund der obigen Erläuterungen, keine andere Deutung zu, als daß für ihre Entstehung eine extrem intensive, aerobe mikrobielle Zersetzung verant-

wortlich ist. Petrographisch und chemisch weist die "stark fluoreszierende Grundmasse" einige gemeinsame Merkmale mit dem von TEICHMÜLLER (1974a, b) beschriebenen Mazeral Bituminit auf. Die Beschreibung des Bituminit trifft aber exakt nur auf den am stärksten fluoreszierenden und am schwächsten reflektierenden Anteil zu, so daß die "stark fluoreszierende Grundmasse" nicht mit Bituminit im Sinne TEICHMÜLLERs gleichgesetzt werden darf. Kennzeichnende chemische Merkmale der "stark fluoreszierenden Grundmasse" sind Bitumen- und Wasserstoffreichtum. Bitumenreiche Sedimente können grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen entstehen.

Unter anaeroben Ablagerungsbedingungen bleibt primär bitumenreiches Material, wie Algenkörper, erhalten. Figurierte Algen (Alginite) konnten in den untersuchten Braunkohlen aber nur in stark vergelbten und gewebereichen Lithotypen nachgewiesen werden, in keinem einzigen Fall jedoch in hellen Lithotypen. Auch durch organisch-geochemische Methoden konnte keine Beteiligung von Algen am Aufbau der hellen Kohlen nachgewiesen werden (vgl. Kap. V.6.3.1.). Nach JACOB (1968) unterscheiden sich die Bitumenextrakte aus hellen Kohlen und aus dunklen, doppleritischen Kohlen auch deutlich in ihrer chemischen Beschaffenheit. Die Extrakte aus doppleritischen Kohlen ähneln weit mehr den Extrakten aus Ölschiefern, deren organischer Anteil aus einem algenreichen Material unter reduzierenden Bedingungen entstanden ist, als die Extrakte aus hellen Kohlen.

Die zweite Möglichkeit einer Bitumenanreicherung in Torfen resultiert aus einer starken, aeroben Zersetzung. Sie beruht auf einer selektiven Anreicherung der relativ schwer zersetzbaren pflanzlichen Harze und Wachse (FRANCIS 1961, Jacob 1968), und (in weitaus größerem Maße) auf den Einbau von Carbonsäuren in die Humussubstanz (siehe Kap. V.6.1. und VII.2.). Eine Beteiligung von Carbonsäuren am Aufbau der "stark fluoreszierenden Grundmasse" erscheint schon aufgrund der infrarotspektroskopischen Untersuchungen als sehr wahrscheinlich. Durch die Untersuchungen von KRÖGER (1966) konnten Carbonsäuren als Hauptbestandteile des Wachses von Braunkohlebitumen, das zum größten Teil an die "stark fluoreszierende Grundmasse" gebunden ist (Kap. V.3.), nachgewiesen werden. Die Carbonsäuren können nur von Mikroorganismen, die am Vertorfungsprozess beteiligt sind, stammen. Sie sind einer der wesentlichen Bestandteile bakterieller Fette (SCHLEGEL 1976) und entstehen als Stoffwechselprodukt bei der fermentativen Zellulosevergärung (RAMANN 1911, SCHLEGEL 1976; vgl. Kap. V.6.1.). Die außergewöhnliche Intensität der mikrobiellen Zersetzungsprozesse bei der Bildung der "stark fluoreszierenden Grundmasse" kann mikrophotometrisch und chemisch belegt werden. Die Lithotypen, in denen diese Grundmasse der Hauptbestandteil ist, weisen von allen untersuchten Kohlen den höchsten biochemischen Inkohlungsgrad auf (siehe Kap. IV.2. und V.6.3.1.).

Die noch von KLEIN-REESINK, RIEGEL & SCHAUB (1982) in Betracht gezogene Beteiligung von Algen bei der Entstehung der "stark fluoreszierenden Grundmasse" ist somit nicht erforderlich. Sie erscheint aufgrund der Verhältnisse in den Everglades sogar als unwahrscheinlich. Hier werden selbst im Bereich des Seerosengürtels, wo Trockenperioden weitgehend fehlen, die auf die Torfoberfläche sedimentierten Pflanzenteile vollständig

abgebaut (COHEN & SPACKMAN 1977). Ebenso müßte unter aeroben Ablagerungsbedingungen, wie sie für die hellen Grundmassenkohlen nachgewiesen wurden, sedimentiertes Algenmaterial abgebaut werden.

#### VII.4. DIE FEUCHTIGKEITSVERHÄLTNISSE BEI DER BILDUNG STARK DETRITISCHER, BITUMENREI- CHER (HELLER) LITHOTYPEN

Neben der Frage nach der Ursache der Schichtung von Braunkohlenflözen sind bis heute die Feuchtigkeitsverhältnisse bei der Bildung stark detritischer, heller Lithotypen heftig umstritten. Der bekannteste Vertreter der Trockentorftheorie ist GOTHAN (1924). Seiner Ansicht schließen sich prinzipiell v.d.BRELIE & WOLF (1981) an. TEICHMÜLLER & THOMSON (1958) sowie JACOB (1966) sind der Meinung, daß die hellen Lithotypen unter nassen Bedingungen entstanden sind. GOTHAN begründet seine Vorstellungen mit dem hohen Zersetzungsgrad der Kohlen der hellen Schichten, der seiner Meinung nach auf eine intensive, aerobe Degradation in einem trockenen Milieu zurückgeht. TEICHMÜLLER und THOMSON vergleichen die hellen Lithotypen mit den Riedmoortorfen der Everglades und schließen aus den übereinstimmenden Merkmalen, daß die hellen Schichten Bildungen offener, halb-limnischer Moorvereine sind.

Die stark detritischen, hellen Lithotypen der untersuchten Lagerstätten zeigen Merkmale, die zum Teil die eine und zum Teil die andere Ansicht unterstützen. Die Merkmale für eine intensive, aerobe Zersetzung wurden schon in Kap. VII.3. diskutiert. Hinweise auf nasse Entstehungsbedingungen geben die zum Teil beträchtlichen Aschegehalte der hellen Lithotypen (Kap. V.1.1.), sowie der Übergang von hellen Lithotypen in die hangenden Tone und das Auftreten von karbonatischen Kohlen im Borkener Flöz. Die Genese karbonathaltiger Torfe wird von SPACKMAN, RIEGEL & DOLSEN (1969) aus den Florida-Everglades beschrieben. Die Kalkabscheidung ist dort an die Bildung von Algenmatten bei hohen Wasserständen gebunden.

Der scheinbare Widerspruch zwischen den angeführten Merkmalen und zwischen den Theorien von GOTHAN (1924) und TEICHMÜLLER & THOMSON (1958) löst sich auf, wenn man die Verhältnisse in den Florida-Everglades auf die Genese der Braunkohlen überträgt. Dort lösen sich Perioden relativ hoher Wasserstände mit Perioden ab, in denen die Torfoberfläche teilweise trocken fällt. Dies führt dazu, daß sich innerhalb einer Torfschicht die Merkmale einer intensiven aeroben Zersetzung (während der Trockenphasen) mit den Merkmalen nasser Entstehungsbedingungen (während der niederschlagsreichen Perioden) vereinen. Ein solcher Wechsel zwischen feucht und trocken wirkt fördernd auf mikrobiell gesteuerte Abbauvorgänge (SCHEFFER & SCHACHTSCHNABEL 1976) und damit fördernd auf die Destruktion des Torfes. Wechselnde hydrologische Bedingungen sind keine spezielle Erscheinung der Everglades; sie sind auch aus anderen großen Sumpf- und Mooregebieten, wie etwa dem Sudd am Oberlauf des Weißen Nils (Sudan), bekannt. Sie dürften ein typisches Kennzeichen wechselfeuchter Klimate sein.

VII.5. DIE GENESE DER BRAUNKOHLE-LITHOTYPEN UND  
- "FLÖZ TYPEN"

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen sich im Hinblick auf die Genese der Braunkohlelithotypen wie folgt zusammenfassen.

Stark vergelte, gewebereiche (meist schwarze) Lithotypen entstehen unter *anaeroben* Zersetzungsbedingungen bei relativ hohen, stagnierenden Wasserständen. Zum Teil stellen sie Riedmoorbildungen dar, wie sie von SCHNEIDER (1969a, b) cuticularanalytisch im 2. Niederlausitzer Flöz und von GREGOR & KLEIN-REESINK (1984) karpologisch im Ostheimer Flöz nachgewiesen wurden. V.d.BRELIE & WOLF (1981) gehen davon aus, daß in Riedmooren immer vergelte Lithotypen entstehen. Sie versuchen hiermit die "Riedmoortheorie" TEICHMÜLLER & THOMSONS (1958) zu widerlegen. Das rezente Beispiel aus den Florida-Everglades belegt aber, daß in Riedmooren durchaus stark detritische Torfe gebildet werden können.

Stark detritische, bitumenreiche (helle) Lithotypen sind das Produkt einer intensiven *aeroben* Zersetzung. Die Wasserstände können bei ihrer Bildung zeitweise recht hoch gewesen sein. Die günstigsten Entstehungsbedingungen sind bei einem häufigen Wechsel zwischen nassen und trockenen Phasen gegeben. Der Hauptbestandteil der typischen hellen Lithotypen in den untersuchten Kohlen ist die "stark fluoreszierende Grundmasse". Sie entsteht als Produkt intensiver mikrobieller Aktivität. Das Ausgangsmaterial kann vielfältig sein. Bei entsprechenden Bedingungen entsteht sie sogar aus Koniferenhölzern (Xyliten; siehe Kap. III.5., IV.1. und V.1. bis V.3.).

Die Entstehungsbedingungen der intermediären (dunklen) Lithotypen sind zwischen denen der stark vergelten und denen der bitumenreichen, hellen Lithotypen anzusiedeln.

Die für das Borkener und Teile des Ostheimer Hauptflözes typische Aufeinanderfolge von Lithotypen findet durch diese Genesevorstellungen eine recht einfache Erklärung. Der Wechsel von gewebereichen, häufig vergelten Lithotypen über Attrinit-betonte, dunkle Lithotypen zu hellen, bitumenreichen Kohlen am Top der Abfolge entsteht durch den Wechsel von anaeroben zu aeroben Bildungsbedingungen. Eine entsprechende Abfolge ist auch im Torfprofil der Everglades angedeutet. Auf relativ gewebereiche *Mariscus*-Süßwasserfarn-*Myrica* Torfe folgen im Profil die unter stärker aeroben Bedingungen entstandenen, vergleichsweise Detritus-reichen *Myrica-Persea-Salix* Torfe (COHEN & SPACKMAN 1977).

Der Vergleich mit den Verhältnissen in den Everglades ermöglicht, wie oben gezeigt, die Genese unterschiedlicher Lithotypen zu erklären. Aus diesem Vergleich können aber die Ursachen für die grundlegend unterschiedliche Ausbildung alt- und jungtertiärer Braunkohlenflöze (siehe Kap. III.7.) nicht direkt abgeleitet werden. Eine Übertragung der Bedeutung der Redoxverhältnisse würde nämlich zu dem Schluß führen, daß die Vertorfungsbedingungen in allen alttertiären Mooren aerober waren als in jungtertiären. Verantwortlich für den Zersetzungsgrad der Torfe in den Everglades sind aber nicht, wie es nach

den obigen Ausführungen zunächst vielleicht erscheinen mag, die Redoxverhältnisse an sich. Der Abbau von Pflanzenresten wird in ganz entscheidendem Maße von Mikroben bewirkt. Die Redoxverhältnisse wirken sich dadurch aus, daß sie die Art und Intensität der mikrobiellen Tätigkeit steuern. Neben den Redoxverhältnissen wirkt aber unter anderen auch die Temperatur stark auf die Aktivität von Mikroorganismen ein. Niedrige Temperaturen reduzieren die mikrobielle Aktivität stärker als die Produktion von Pflanzenmaterial (FRANCIS 1961). Das Lebensoptimum der im Moor und im Boden lebenden Mikroben liegt bei 30 bis 40°C, wodurch sich der forcierte Abbau organischer Stoffe bei tropischen Temperaturen erklärt (JACOB 1956, SCHLEGEL 1976). Unter voll aeroben Bedingungen ist in den Tropen eine Erhaltung von organischer Substanz nicht möglich. Selbst unter anaeroben Bedingungen wird sie noch stark abgebaut. Die Beziehungen zwischen Bildung und Abbau von organischer Substanz unter aeroben und anaeroben Verhältnissen in Abhängigkeit von der Temperatur wurden von MACKENZIE et al. (1958) dargestellt (Abb. 45).

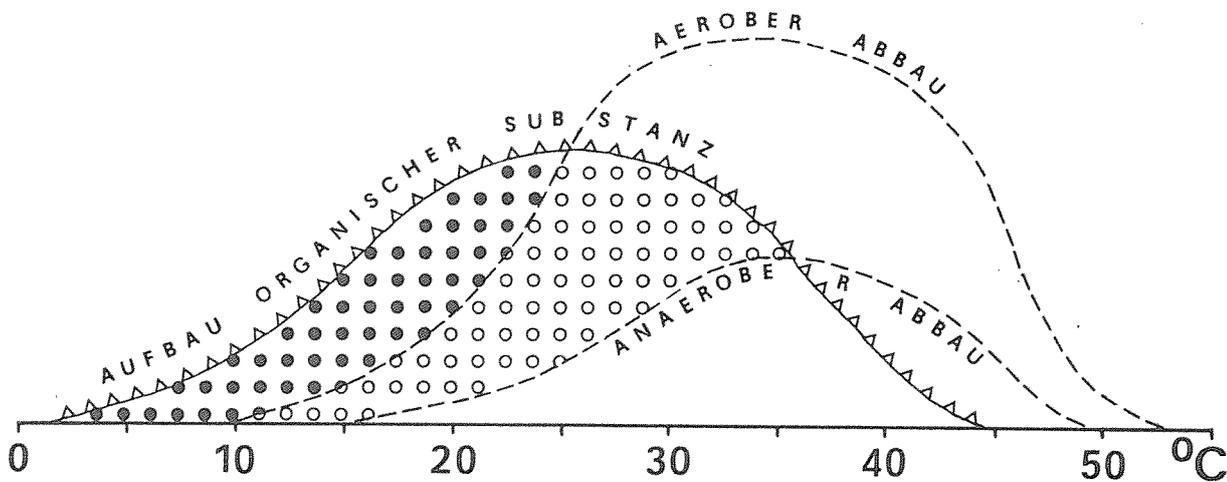


Abb. 45 Bildung und Abbau von organischer Substanz in Abhängigkeit von der Temperatur und den Redoxverhältnissen (nach MACKENZIE et al. 1958)

Im Laufe des Tertiärs kommt es zu einer zunehmenden Klimaverschlechterung, die sich palynologisch zum Beispiel am Rückgang der Palmenwerte in den Pollenspektren ablesen läßt (vgl. MINNIGERODE 1980 und BENDER 1981). Gleichgültig ob sich diese Verschlechterung kontinuierlich oder, wie MAI (1967) annimmt, phasenhaft abspielt, nimmt über größere Zeitabschnitte die mittlere Jahrestemperatur ab. Vergleicht man Kohlen miteinander, die unter sonst gleichbleibenden Bedingungen gebildet wurden, müßten aufgrund der Temperaturabnahme jungtertiäre Kohlen strukturell besser erhalten sein als alttertiäre. Ein Maß für die strukturelle Erhaltung von Kohlen ist ihr Gehalt an detritischen Bestandteilen (Humodetrinit + Liptodetrinit + Inertodetrinit + "stark fluoreszierende Grundmasse"). Die in Tabelle 14 angegebenen Detritusgehalte sind Mittelwerte für ganze Profile oder größere Profilabschnitte. Durch die Mittelwertbildung wurde erreicht, daß die Auswirkungen kleinräumiger oder kurzfristiger Veränderungen in den Redox- und Feuchtigkeitsverhältnissen so weit wie möglich ausgeschaltet wurden. Trägt man den so ermittelten

Lagerstätte	geologisches Alter	Detritus % (gew. arithm. Mittel)	Proben- Anzahl	Jahresmittel- temperatur <sup>1)</sup>
Borken	Mittel/Ober-Eozän <sup>2)</sup>	93,5 <sup>3)</sup>	17	ca. 21 °C
a) Schneppenhain		96,0	30	
b) Gombeth				
Ostheim	Oligozän/Miozän <sup>4)</sup>	83,5	34	ca. 19 °C
Rheinland	Mittel-Miozän	77,0 <sup>5)</sup>	51	18 - 17 °C
Vizthum/Oberpfalz	oberes Mittel-Miozän <sup>6)</sup>	74,5	20	ca. 17 °C
Hirschberg Fl. III	oberes Mittel-Miozän <sup>7)</sup>	74,1	28	ca. 17 °C
Dörentrup/Lippe	Miozän/Pliozän <sup>8)</sup>	69,5	18	ca. 16 °C
Schieferkohlen	Pleistozän <sup>9)</sup> (Interglaziale)	41,5 <sup>9)</sup>	14	11 - 9 °C
a) Gondiswill		44,5 <sup>9)</sup>	11	
b) Pfefferbichel				

- 1) nach SCHWARZBACH 1974    2) nach MINNIGERODE 1981    3) nach WOLLENHAUPT 1980  
4) nach STECKHAN 1952; PFLUG 1957; RITZKOWSKI 1965    5) nach v.d.BRELIE & WOLF 1981  
6) nach GREGOR 1980; THIELE-PFEIFER 1980    7) nach BENDER 1981  
8) MINNIGERODE mündl. Mitteilung    9) nach KOCH 1966

Tab. 14 Detritusanteile (gewogenes arithmetisches Mittel der Gehalte an Humodetrinit + Liptodetrinit + Inertodetrinit + "stark fluoreszierende Grundmasse") von Braunkohlen verschieden alter Lagerstätten, sowie die für ihre Bildungszeit angenommenen Jahresmitteltemperaturen

Destruktionsgrad gegen die für die für die Bildungszeit der jeweiligen Lagerstätten angenommenen mittleren Jahrestemperaturen auf, ergibt sich eine nahezu lineare Beziehung (Abb. 46). Auch die von v.d.BRELIE & WOLF (1981) an einem größeren Profilabschnitt aus der Rheinischen Braunkohle und von KOCH (1966) an Schieferkohlen aus dem Alpenvorland ermittelten Werte fügen sich in dieses Schema ein. Somit ist der wesentliche Einfluß der durch die T e m p e r a t u r gesteuerten mikrobiellen Aktivität auf den Destruktionsgrad von Braunkohlen und, wie das Beispiel des Attrinit zeigt, auch auf die Ausbildung einzelner Mazerale kaum zu bestreiten.

Letztendlich spiegelt sich also in der petrographischen Ausbildung von Weichbraunkohlen die Art und Intensität der mikrobiellen Zersetzungsvorgänge wider. Die beiden wesentlichen Faktoren, die diese Vorgänge steuern, sind die Redox- und die Klima- (Temperatur-) verhältnisse. Der Einfluß der Redoxverhältnisse konnte durch den Vergleich mit den Vertorfungsbedingungen und -prozessen in den Florida-Everglades nahegelegt und durch zahlreiche physikochemische Kenngrößen der Braunkohlelithotypen belegt werden. Der wesentliche Einfluß der Klima- (Temperatur-) verhältnisse war erst durch die vergleichende Betrachtung von mehreren, unter jeweils verschiedenen Umweltbedingungen entstandenen

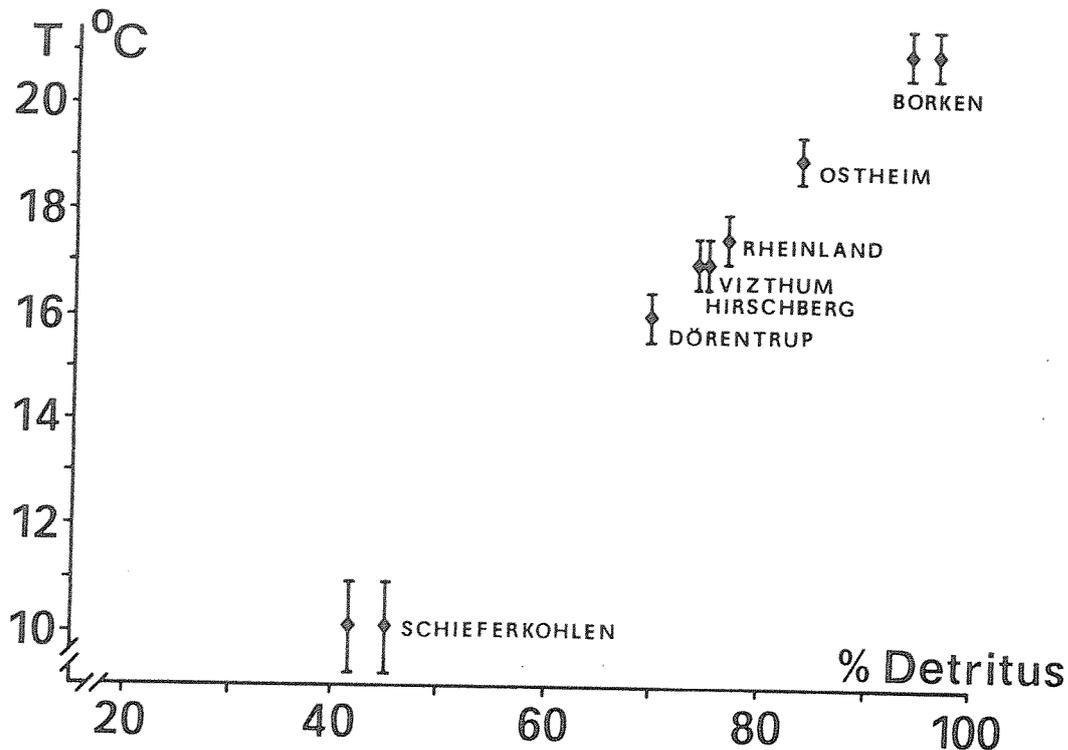


Abb. 46 Abhängigkeit des Zersetzungsgrades (Detritusgehalt) verschieden alter Kohlen von der mittleren Jahrestemperatur zu ihrer Bildungszeit.  
(Jahresmitteltemperatur sowie Angaben über die Rheinische Braunkohle und die Schieferkohlen nach den in Tab. 14 zitierten Autoren)

Lagerstätten nachweisbar. Die Redoxverhältnisse bestimmen weitgehend die unterschiedliche Ausbildung der Lithotypen innerhalb einer Lagerstätte, die Klima- (Temperatur-) verhältnisse die unterschiedliche Ausbildung der Lithotypen verschiedener Lagerstätten. Modifizierend auf dieses einfache Beziehungsgefüge wirken sich sicher auch der pH-Wert und die Art der angelieferten organischen Substanz aus. Pilze bevorzugen ein schwach saures, Bakterien ein schwach alkalisches Milieu (JACOB 1956, SCHLEGEL 1976). Beide sind gegen geringe pH-Wertschwankungen relativ unempfindlich (SCHLEGEL 1976). Extrem niedrige pH-Werte können aber die mikrobielle Aktivität entscheidend hemmen. Der Einfluß der angelieferten organischen Substanz beruht auf der unterschiedlichen Zersetzungsresistenz der Gewebe verschiedener Pflanzenorgane und Pflanzenarten. Am Beispiel der Everglades konnte aber gezeigt werden, daß der Einfluß der Zersetzungsresistenz nur gering ist. Auch an den untersuchten fossilen Beispielen konnte nachgewiesen werden, daß aus einer koniferenreichen Vegetation, die ein relativ zersetzungsresistentes Ausgangsmaterial liefert, nicht unbedingt gewebereiche Lithotypen hervorgehen. Dies wurde unabhängig voneinander durch die Ergebnisse palynologischer (Kap. VI.) und organisch-geochemischer (Kap. V.6.) Untersuchungen belegt.

Damit soll aber nicht gesagt werden, daß der Paläobotanik und hier besonders der Palynologie für die Erforschung fossiler Moore keine Bedeutung beizumessen ist. Die vor-

liegende Arbeit hat vielmehr gezeigt, daß mit petrographischen Methoden zwar die Vertorfungsbedingungen erfaßbar sind, daß die Kohlenpetrographie aber nicht in der Lage ist, die das Moor besiedelnden Pflanzenvergesellschaftungen zu rekonstruieren. Beziehungen zwischen Petrographie und Palynologie ergeben sich nahezu zwangsläufig, denn die Vertorfungsbedingungen entsprechen sicher in den meisten Fällen auch den unterschiedlichen Standortbedingungen für die einzelnen Glieder in der Sukzessionsreihe der torfbildenden Vegetation. Zudem haben sich grundlegende Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung, die an die langfristige klimatische Entwicklung gebunden sind, auf die Petrographie der Kohlen ausgewirkt. Xylitische Kohlen treten erst ab der Zeit auf, in der die Koniferen eine größere Bedeutung erlangen (Wende Oligozän/Miozän; Ostheimer Hauptflöz). Mit wachsender Bedeutung der Koniferen nimmt auch der Anteil der Xylitischen Kohlen am Aufbau der Flöze zu (vgl. Kap. VI. und Abb. 16).

Im Laufe des Tertiärs wirken der steigende Anteil der Koniferen und die sich verringernde mikrobielle Zersetzungsaktivität in die gleiche Richtung. Die Kohlen werden allgemein gewebereicher. Der Anteil der Grundmassenkohlen geht systematisch zurück (Abb. 16). Im Mikrobild verlieren die Produkte intensiver mikrobieller Zersetzung, wie der Attrinit und insbesondere die "stark fluoreszierende Grundmasse", zunehmend an Bedeutung (siehe Kap. III und Abb. 46). Gegenläufig wird die strukturelle Erhaltung der Kohlen besser; der Anteil und die Größe der Gewebereste (Humotelinit) nehmen zu.

## L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- ALDAG, R.; BECKER, K.W.; FREDE, H.G.; HUGENROTH, P.; KLAGES, F.W.; MEYER, B. & WILDHAGEN, H. (1976): Bodenkunde - Grundlagen und Aspekte. - Ms., 317 S., Inst. Bodenkde Univ. Göttingen, unveröff., Göttingen
- ALTSCHULER, Z.S.; SCHNEPFE, M.M.; SILBER, C.C. & SIMON, F.O. (1983): Sulfur Diagenesis in Everglades Peat and Origin of Pyrite in Coal. - Science, 221, 4607: 221 - 227, Washington D.C.
- BENDER, H. (1981): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der Hessischen Senke, E: Teil II, Palynologische und makropetrographische Untersuchungen der Flöze 2 und 3 der Braunkohle am Hirschberg bei Großalmerode (Bl. Nr. 4725). - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 67 - 173, unveröff., Göttingen
- BÖNISCH, R. (1983): Zur Gliederung der faziellen Abfolgen und Zwischenmittel im 2. Lausitzer Flözhorizont. - Z. angew. Geol., 29, 9: 434 - 441, Berlin
- BOSTICK, N.H. (1973): Time as a factor in thermal metamorphism of phytoclasts (coaly particles). - C.R. 7. Congr. Stratigraph. Carbonifere, Krefeld 1971, 2: 183 - 192, Krefeld
- BREDDIN, H. (1958): Die unterirdische Oxydation der Braunkohle im Kölner Revier während der Pleistozänzeit. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 2: 683 - 720, Krefeld
- BRELIE, G.v.d. (1967): Quantitative Sporeunersuchungen zur Gliederung des Neogens in Mitteleuropa. - Rev. Palaeobotan. Palynol., 2: 147 - 162, Amsterdam
- BRELIE, G.v.d. & WOLF, M. (1981): Zur Petrographie und Palynologie heller und dunkler Schichten im rheinischen Hauptbraunkohlenflöz. - Fortschr. Geol. Rheinld. West., 29: 95 - 163, Krefeld
- BRELIE, G.v.d. & WOLF, M. (1981b): "Sequoia" und Sciadopitys in den Braunkohlenmooren der Niederrheinischen Bucht. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 29: 177 - 191, Krefeld
- BROSIUS, M. & GRAMANN, F. (1959): Das ältere Tertiär von Großalmerode (Hessische Senke). - Z. dt. geol. Ges., 111, 2: 543 - 558, Hannover
- BÜHMANN, D. & RITZKOWSKI, S. (1977): Aufschluß 2, Tagebau Gombeth. in: RITZKOWSKI & RÖSING: Tertiär Nordhessens, Exkursionsführer II: 70 - 75, Geotagung '77, Göttingen
- BURGER, K. (1982): Kohlentonsteine als Zeitmarken, ihre Verbreitung und ihre Bedeutung für die Exploration und Exploitation von Kohlenlagerstätten. - Z. dt. geol. Ges., 133: 201 - 255, Hannover
- BURGHARDT, O. (1966): Die Tonminerale des Brandschiefers (Carbargilit) und ihre Genese. Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 13, 2: 981 - 996, Krefeld
- BUTIN, H. & ZYCHA, H. (1973): Forstpathologie. - 177 S., Stuttgart (Thieme)
- CHAFFEE, A.L. & JOHNS, R.B. (1983): Polycyclic aromatic hydrocarbons in Australian coals I. Angularly fused pentacyclic tri- and tetraaromatic components of Victorian brown coal. - Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 2141 - 2155, Oxford
- COHEN, A.D. (1973): Petrology of some Holocene peat sediments from the Okefenokee swamp-marsh complex of Southern Georgia. - Geol. Soc. Amer., Bull., 84: 3867 - 3878, Boulder/Colorado

- COHEN, A.D. & SPACKMAN, W. (1977): Phytogenetic organic sediments and sedimentary environments in the Everglades-mangrove complex of Florida. Part II; The origin, description and classification of the peats of southern Florida. - *Palaeontographica*, B162: 71 - 114, Stuttgart
- COHEN, A.D. & SPACKMAN, W. (1980): Phytogenetic organic sediments and sedimentary environments in the Everglades-mangrove complex of Florida. Part III; The alteration of plant material in peats and the origin of coal macerals. - *Palaeontographica*, B172: 125 - 149, Stuttgart
- DURAND, B. (1980): Sedimentary organic matter and Kerogen. Definition and quantitative importance of Kerogen. in: DURAND, B. (Edt.), *Kerogen*: 13 - 34, Paris (Editions Technip)
- DURAND, B. & MONIN, J.C. (1980): Elemental analysis of Kerogens (C,H,O,N,S,Fe). in: DURAND, B. (Edt.), *Kerogen*: 113 - 142, Paris (Editions Technip)
- ERTEL, J.R.; HEDGES, J.I. & PERDUE, E.M. (1984): Lignin signature of aquatic humic substances. - *Science*, 223, 4635: 485 - 487, Washington D.C.
- FABRICIUS, F. (1961): Die Strukturen des "Rogenpyrits" (Kössener Schichten, Rät) als Beitrag zum Problem der "vererzten Bakterien". - *Geol. Rdsch.*, 51: 647 - 657, Stuttgart
- FLAIG, W. (1964): Effect of microorganisms in the transformation of lignin to humic substances. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28: 1523 - 1535, Oxford
- FLAIG, W. (1969): Über den Ursprung des Stickstoffs in den Kohlen. in: SCHENCK, P.A. & HAVENAAR, I. (Edt.), *Advances in Organic Geochemistry 1968*: 485 - 498, Oxford (Pergamon Press)
- FRANCIS, W. (1961): *Coal its formation and composition*. - 2nd Ed., 806 S., London (Arnold)
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): *Sediment-Petrologie, Teil II - Sedimente und Sedimentgesteine*. - 3.Aufl., 784 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- FÜHRERS, M. (1982): Die basaltische Beeinflußung des Meissner-Flözes. - *Giessener Geol. Schr.*, 36: 1 - 106, Giessen
- GAERTNER, H.R.v. & KROEPELIN, H. (1968): Ein Beitrag zur diagenetischen Entwicklung der organischen Substanz in bituminösen Schiefern am Beispiel der Posidonien-Schiefer. - *Beih. geol. Jb.*, 58: I - XII, Hannover
- GAINES, A.F.; ÖZYILDIZ, G. & WOLF, M. (1981): Infraredspectra of humodetrinite from the Fortuna-Garsdorf mine. - *Fuel*, 1981, 60: 615 - 618, London
- GIJZEL, P.v. (1975): Polychromatic UV-Fluorescence microphotometry of fresh and fossil plant substances, with special reference to the location and identification of dispersed organic material in rocks. in: ALPERN, B. (Edt.), *Colloque Int. Petrogr. matiere org. sed.*: 67 - 91, Paris (C.N.R.S.)
- GIJZEL, P.v. (1979): *Manual of the Techniques and some Geological Applications of Fluorescence Microscopy*. - 55 S., Workshop-Rep., 12<sup>th</sup> Annu. Meeting Amer. Assoc. Stratigraph. Palynol., Dallas
- GÖTTLICH, K.H. (1980): *Moor und Torfkunde*. - 2. Aufl., 338 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- GOTHAN, W. (1924): *Studium über die Bildung der Schwelkohle und des Pyropissits*. - *Braunk.*, 23: 725 - 733, 771 - 775, Halle/S.
- GREGOR, H.J. (1980): Die miozänen Frucht- und Samen-Floren der Oberpfälzer Braunkohle. II Funde aus den Kohlen und tonigen Zwischenmitteln. - *Palaeontographica*, B, 174: 1 - 3, 9 - 103, Stuttgart

- GREGOR, H.J. & KLEIN-REESINK, J. (1984): Ein Massenvorkommen von Caricoidea jugata (NIKITIN) MAI im Tagebau Ostheim der PREAG Borken. - Dokumenta naturae (im Druck)
- GROSSE-BRAUCKMAN, G. (1962): Zur Terminologie organischer Sedimente. - Geol. Jb. 79: 117 - 144, Hannover
- HAGEMANN, H.W. (1978): Macropetrographic classification of brown coal. Proposal presented to members of the ICCP (Essen meeting) April 1978. zit. in HAGEMANN & HOLLERBACH 1980 s.u.
- HAGEMANN & HOLLERBACH (1980): Relationship between the macropetrographic and organic geochemical composition of lignites. in: DOUGLAS, A.G. & MAXWELL, J.R. (Edt.), Advances in Organic Geochemistry 1979: 631 - 638, Oxford (Pergamon Press)
- HENDERSON, W.; WOLLRAB, V. & EGLINTON, G. (1969): Identification of steranes and triterpanes from a geological source by capillary gas liquid chromatography and mass spectrometry. in: SCHENCK, P.A. & HAVENAAR, I., Advances in Organic Geochemistry 1968: 181 - 207, Oxford (Pergamon Press)
- HERRMANN, A.G. (1975): Praktikum der Gesteinsanalyse - chemisch instrumentelle Methoden zur Bestimmung der Hauptkomponenten. - 204 S., Berlin (Springer)
- HERRMANN, A.G. & KNAKE, D. (1973): Coulometrische Verfahren zur Bestimmung von Gesamt-, Karbonat- und Nichtkarbonat-Kohlenstoff in magmatischen, metamorphen und sedimentären Gesteinen. - Z. Anal. Chem., 266: 196 - 201, Wiesbaden
- HILTMANN, W. (1976): Pollenanalytische Untersuchungen im Rheinischen Hauptbraunkohlenflöz der Tagebaue Frechen und Fortuna unter besonderer Berücksichtigung der makropetrographischen Ausbildung der Kohle. - Diss., TH Aachen, 162 S., unveröff., Aachen
- HOLLERBACH, A. (1975/76): Organisch-geochemisches Praktikum. - Ms. 25 S., TH Aachen, unveröff., Aachen
- HOLLERBACH, A. (1976): Vorkommen und Bedeutung von Chemofossilien in Erdölen und Sedimenten. - Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie, Compendium, 76/77: 1 - 21, Leinfelden
- HOLLERBACH, A. (1978): Early diagenetic alterations of biogenetic organic compounds. - Naturwiss., 65: 202 - 204, Berlin
- HOLLERBACH, A. (1980a): Vorkommen und Bedeutung von terpenoiden Chemofossilien in Erdölen und Sedimenten. - Habilitationsschr., Fak. Bergb. Hüttenwes. RWTH Aachen, 198 S., unveröff., Aachen
- HOLLERBACH, A. (1980b): Organische Substanzen biologischen Ursprungs in Erdölen und Kohlen. - Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie, 33: 362 - 367, Hamburg
- HOLLERBACH, A. (1982): Chemische Charakterisierung von Kohlen unterschiedlicher Inkohlung. - Techn. Mitt., 75, 2/3: 94 - 100, Essen
- HOLLERBACH, A. & WELTE, D.H. (1977): Säulenchromatographische Analyse von Rohölen und löslichem organischen Material aus Sedimenten. - 14 S., DGMK-Ber. 123, Hamburg
- HOLLERBACH, A. & WELTE, D.H. (1977b): Über Sterane und Triterpane in Erdölen und ihre phylogenetische Bedeutung. - Naturwiss., 64: 381 - 382, Berlin

- HUC, A.Y. (1980): Origin and formation of organic matter in recent sediments and its relation to kerogen. in: DURAND, B. (Edt.), Kerogen: 445 - 474, Paris (Editions Technip)
- HUDSON, J.D. (1982): Pyrite in ammonite-bearing shales of England and Germany. - Sedimentology, 29,5: 639 - 667, Oxford
- HUTTON, A.C.; KANTSLER, A.J.; COOK, A.C. & McKIRDY, D.M. (1980): Organic matter in oil shales. - APEA Journal, 20: 44 - 65, Sidney
- ICCP (1963): Internationales Lexikon für Kohlenpetrologie. - 2. Ausg., Paris (C.N.R.S.)
- ICCP (1971): Internationales Lexikon für Kohlenpetrologie. Ergänzung zur 2. Ausgabe, Paris (C.N.R.S.)
- ICCP (1975): Internationales Lexikon für Kohlenpetrologie. 2. Ergänzung zur 2. Ausgabe, Paris (C.N.R.S.)
- JACOB, H. (1952): Die Bedeutung der pH-Wert-Messung als brennstoffpetrographische Arbeitsmethode. - Bergakad., 4,1: 21 - 26, Freiberg/Sa.
- JACOB, H. (1956): Die biochemische Inkohlungsphase und das Weichbraunkohlenstadium. - Chem. Erde, 18: 138 - 166, Jena
- JACOB, H. (1960): Lagerstättenkundliche Untersuchungen zur Frage des Braunkohlen-Bitumens. - Geol. Jb., 77: 615 - 644, Hannover
- JACOB, H. (1964): Differenzierungen des biochemischen Inkohlungsgrades von Weichbraunkohlen und Torfen. - C.R. 5. Congr. Strat. Geol. Carbon., Paris 1963: 933 - 942, Paris
- JACOB, H. (1966): Petrologische, physikalische und chemische Untersuchungen zur Frage der Bildung heller Schichten in Braunkohlenflözen. - Braunk., Wärme, Energie, 18,6: 206 - 209, 253 - 259, Düsseldorf
- JACOB, H. (1968): Petrologische Untersuchung an der organischen Substanz des nordwestdeutschen Posidonienschiefers. - Beih. Geol. Jb., 58: 407 - 442, Hannover
- JACOB, H. (1972): Mikroskop-Photometrie der organischen Stoffe von Böden. I. Organopetrographische Nomenklatur und mikroskopphotometrische Methodik. - Bodenkultur, 23,3: 217 - 226, Wien
- JACOB, H. (1973): Mikroskop-Photometrie der organischen Stoffe von Böden. II. Fluoreszenz-Photometrie forst- und landwirtschaftlicher Rotteprodukte. - Bodenkultur, 24,1: 1 - 10, Wien
- JACOB, H. (1980): Die Anwendung der Mikrophotometrie in der Organischen Petrologie. - LEITZ - Mitt. Wiss. Techn., 7,7: 209 - 216, Wetzlar
- KARWEIL, J. (1956): Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie. - Z. dt. geol. Ges., 107: 132 - 139, Hannover
- KAUNERT, P. (1926): Zur Frage der qualitativen und quantitativen Verhältnisse der Huminstoffen in der Braunkohle. - Diss., Bergakad. Freiberg, Halle
- KIRK, T.K. & HIGHLEY, T.L. (1973): Quantitative changes in structural components of conifer woods during decay by white- and brown-rot fungi. - Phytopathology, 63: 1338 - 1342, Worcester/Massachusetts

- KLEIN-REESINK, J. (1980): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der Hessischen Senke, A. Teil II, Petrographische Untersuchung der Braunkohle von Borken (Bez. Kassel). - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 100 - 216, unveröff., Göttingen
- KLEIN-REESINK, J. & MINNIGERODE, C. (1984): Ein Braunkohleprofil aus dem Tertiär von Dörentrup/Kreis Lippe (Ostwestfalen). - Lippische Mitt. Gesch. Landeskd., 52: 311 - 322, Detmold
- KLEIN-REESINK, J. & RIEGEL, W. (1983): Kohlenpetrographische Aspekte der obermiozänen Braunkohle von Viehhausen (Oberpfalz). - E.RUTTE - Festschr., S. 125 - 131, Kelheim/Weltenburg (Weltenburger Akademie)
- KLEIN-REESINK, J.; RIEGEL, W. & SCHAUB, K. (1982): Zur petrographischen Konstitution alt- und jungtertiärer Braunkohlen Niederhessens. - Z. dt. geol. Ges., 133: 309 - 337, Hannover
- KLEIN-REESINK, J.; RIEGEL, W. & SCHULZ, K.H. (1982): Tertiäre Braunkohlen und Kupferschiefer in Niederhessen. - Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 56: 111 - 132, Frankfurt/M.
- KOCH, J. (1966): Petrologische Untersuchungen an jungpleistozänen Schieferkohlen aus dem Alpenvorland der Schweiz und Deutschlands mit Vergleichsuntersuchungen an Torfen. - Diss. TH Aachen, 186 S., unveröff., Aachen
- KREULEN, D.J.W. (1962): Chemie der Kohle. Sechs Abhandlungen über Braunkohlen/Lignite. - Freiburger Forsch.-H., A244, 80 S., Berlin
- KRÖGER, C. (1966): Betrachtungen zum Inkohlungsablauf. - Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie, 19,9: 638 - 645, Hamburg
- KRÖGER, C.; WEITZ, F.W.; BEIER, E. & JANSEN, R. (1958): Über die Gewinnung und Eigenschaften von Bitumen und Huminsäuren aus petrographisch definierten Braunkohlen. - Braunk., Wärme, Energie, 10: 193 - 205, Düsseldorf
- LANGE, H. (Hrsg.) (1979): Agrarchemie. - 368 S., Berlin (VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag)
- LOVE, L.G. (1958): Micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. - Quart. J. Geol. Soc. London, 113: 429 - 440, London
- LOVE, L.G. (1963): Pyrite spheres in sediments. in: JENSEN, M.L. (Edt.), Biogeochemistry of Sulfur Isotopes, Proc. Nat. Sci. Found. Symp., Yale 1962: 121 - 143, Yale
- MACKENZIE, G.; JOSHUA, I.T. & MILLER, W.E. (1958): Geology of the Arkansas Bauxite Region. - Geol. Surv. Professional Pap., 299: 1 - 268, Washington
- MACKOWSKY, M. Th. (1968): Mineral matter in Coal. in: MURCHISON, D. & WESTOLL, T.S. (Edt.), Coal and Coal-bearing Strata: 309 - 321, Edinburgh, London (Oliver & Boyd)
- MÄDLER, K. (1968): Die figurierten organischen Bestandteile der Posidonienschiefer. - Beih. Geol. Jb., 58: 287 - 406, Hannover
- MAI, D.H. (1967): Die Florenzonen, der Florenwechsel und die Vorstellungen über den Klimaablauf im Jungtertiär der Deutschen Demokratischen Republik. - Abh. zentr. geol. Inst., 10: 55 - 81, Berlin
- MEINSCHEN, W.G. (1969): Hydrocarbons - Saturated, Unsaturated and Aromatic. in: EGLINTON, G. & MURPHY, M.T. (Edt.), Organic Geochemistry: 330 - 356, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)

- MESTWERDT, A. (1910): Über Stratigraphie und Lagerungsverhältnisse der Tertiärvorkommen im Fürstentum Lippe. - 3. Jber. Nieders. geol. Ver., S. 179 - 190, Hannover
- MESTWERDT, A. (1916): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und den benachbarten Bundesstaaten, Blatt Lemgo. - Lieferung 197, Berlin (Kgl. preuß. geol. L.-Anst.)
- MESTWERDT, A. (1917): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und den benachbarten Bundesstaaten, Blatt Bösingfeld. - Lieferung 197, Berlin (Kgl. preuß. geol. L.-Anst.)
- METZNER, H. (1973): Biochemie der Pflanzen. - 383 S., Stuttgart (Enke)
- MEYER, B. & WILDER, H. (1981): Bericht über geologische Untersuchungen im Bereich des Dörentruper Tertiärvorkommens (Ostwestfalen). - Ms., Geol. L.-Amt NRW, unveröff., Krefeld
- MILDE-DARMER, K. (1964): Kohlengeologische Komplexuntersuchungen des Berzdorfer und Zittauer Flözes unter besonderer Berücksichtigung flözgenetischer Probleme. - Freiburger Forsch.-H., C154: 1 - 220, Leipzig
- MILLAIS, R. & MURCHISON, D.G. (1969): Properties of the coal macerals: infra-red spectra of alginites. - Fuel, 48: 247 - 258, London
- MINNIGERODE, C. (1981): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der hessischen Senke, D. Teil II, Makropetrographische und palynologische Untersuchungen der Braunkohle von Borken (Bez. Kassel). - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 97 - 201, unveröff., Göttingen
- MINNIGERODE, C. & KLEIN-REESINK, J. (1984): Das Dörentruper Braunkohleflöz als Zeuge eines fossilen Moores - Petrographische und Palynologische Untersuchungen zur Flözgenese. - Geol. Pal. Westf., 2 (im Druck)
- MINNIGERODE, C. & RIEGEL, W. (1983): Makropetrographische und palynologische Untersuchungen der Braunkohle von Borken (Bez. Kassel). - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1983,5: 300 - 320, Stuttgart
- MONTGOMERY, W.J. (1978): Standard Laboratory Test Methods for Coal and Coke. in: KARR, C. (Edt.), Analytical methods for Coal and Coal products, I: 191 - 246, New York, San Francisco, London (Academic Press)
- MOORE, L.R. (1969): Geomicrobiology and Geomicrobiological Attack on Sedimented Organic Matter. in: EGLINTON, G. & MURPHY, M.T.J. (Edt.), Organic Geochemistry: 265 - 303, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- MÜLLER, G. & GASTNER, M. (1971): The "Karbonat- Bombe" - a simple device for the determination of the carbonate content in sediments, soils and other materials. - N. Jb. Miner., Mh., 1971: 466 - 469, Stuttgart
- MÜRRIGER, F. & PFLANZL, G. (1955): Pollenanalytische Datierung einiger hessischer Braunkohlen. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 83: 71 - 89, Wiesbaden
- NAUCKE, W. (1980): Chemie von Moor und Torf. in: GÖTTLICH, K.H. (Hrsg.), Moor- und Torfkunde, 2. Aufl.: 173 - 195, Stuttgart (Schweizerbart)
- OTTENJANN, K. (1981/82): Verbesserungen bei der mikroskopphotometrischen Fluoreszenzmesung an Kohlenmazeralen. - Zeiss - Inform., 26,93: 40 - 46, Oberkochen

- OTTENJANN, K.; TEICHMÜLLER, M. & WOLF, M. (1974): Spektrale Fluoreszenz-Messungen an Sporiniten mit Auflicht-Anregung, eine mikroskopische Methode zur Bestimmung des Inkohlungsgrades gering inkohlter Kohlen. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 24: 1 - 36, Krefeld
- PETER, E. (1951): Über die Erschließung neuer Montanwachs-Vorkommen. - Fette und Seifen, 53: 280 - 283, Berlin
- PFLANZL, G. (1956): Das Alter der Braunkohlen des Meißners, der Flöze 2 und 3 des Hirschberges und eines benachbarten Kohlenlagers bei Laudenbach. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 84: 232 - 244, Wiesbaden
- PFLUG, H.D. (1957): Zur Altersfolge und Faziesgliederung mitteleuropäischer (insbesondere hessischer) Braunkohlen. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 85: 152 - 178, Wiesbaden
- PFLUG, H.D. (1966): Stratigraphische Einordnung weiterer hessischer und außerhessischer Tertiärvorkommen. - N. Jb. Paläont., Mh., 1966: 736 - 744, Stuttgart
- PLEIN, E. (1952): Der Bau des niederhessischen Berglandes im Raum von Großalmerode. - Diss., Univ. Göttingen, unveröff.
- POTONIE, H. (1908): Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. - Abh. kgl. preuß. geol. L.-Amt, N.F., 55,1: 1 - 251, Berlin
- POTONIE, R. (1951): Petrographische Klassifikation der Bitumina. - Geol. Jb., 65: 551 - 572, Hannover
- PRAUSS, M. (1980): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der Hessischen Senke, C. Teil 2, Petrographische Untersuchungen der Flöze 2 und 3 der Braunkohle am Hirschberg bei Großalmerode. - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 59 - 179, unveröff., Göttingen
- RAMANN, E. (1911): Bodenkunde. - 3. Aufl., 619 S., Berlin (Springer)
- REED, W.E. (1977): Molecular composition of weathered petroleum and comparison with its possible source. - Geochim. Cosmochim. Acta, 41: 237 - 249, Oxford
- RIEGEL, W. (1965): Palynology of environments of peat formation in south-western Florida. - Ph.D. thesis, Penn. State Univ., 189 S.
- RIEGEL, W. (1981): Ein Flözprofil aus dem Grubenfeld Rauberweiher. - Documenta naturae, 2: 18 - 24, München
- RITZKOWSKI, S. (1965): Das marine Oligozän im nördlichen Hessen. - Diss., Univ. Marburg, 194 S., unveröff., Marburg/L.
- RITZKOWSKI, S. (1967a): Mitteloligozän, Oberoligozän und die Grenze Rupel/Chatt im nördlichen Hessen. - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., 127: 293 - 336, Stuttgart
- RITZKOWSKI, S. (1967b): Die Feingliederung des Hessischen Melanientons (Unteroligozän, nördliches Hessen). - Geologica et Paläontologica, 1: 97 - 100, Marburg/L.
- RITZKOWSKI, S. (1968): Die Tektonik der Braunkohlenlagerstätte von Borken (Tertiär, nördliches Hessen). - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 96: 273 - 280, Wiesbaden
- RITZKOWSKI, S. & RÖSING, F. (1977): Tertiär Nordhessens. - Exkursionsführer Geotagung 77, II: 63 - 111, Göttingen

- ROHMER, M. & OURISSON, G. (1976a): Structure des bactériohopane-tétrols d'Acetobacter xylinium. - Tetrahedron Letters, 40: 3633 - 3636, Oxford
- ROHMER, M. & OURISSON, G. (1976b): Derivés du Bactériohopane: Variations structurales et repartition. - Tetrahedron Letters, 40: 3637 - 3640, Oxford
- ROHMER, M. & OURISSON, G. (1976c): Methyl-hopanes d'Acetobacter xylinium et d'Acetobacter rancens: une nouvelle famille de composés triterpénique. - Tetrahedron Letters, 40: 3641 - 3644, Oxford
- ROUXHET, P.G.; ROBIN, P.L. & NICAISE, G. (1980): Characterisation of Kerogens and their evolution by infrared-spectroscopy. in: DURAND, B. (Edt.), Kerogen: 163 - 190, Paris (Editions Technip)
- RUTTE, E. (1956/58): Die Geologie von Alling-Kapfelberg (zwischen Kehlheim und Regensburg) und die Wirbeltierfundstätte in der obermiozänen Braunkohle von Viehhausen. - Acta Albertina Ratisbonensia, 22: 36 - 85, Regensburg
- RUTTE, E. (1962): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25000, Blatt Nr. 7037 Kehlheim. - 243 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt)
- SASSENSCHEIDT, A. (1960): Die Bestimmung von Kohlenstoff in Rohmehlen und Zementen. - Zement - Kalk - Gips, 13: 23 - 26, Wiesbaden
- SAXBY, J.D. (1978): Comparison of crude oils and their alteration products. - Geochim. Cosmochim. Acta, 42: 215 - 217, Oxford
- SCHAUB, K. (1981): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der Hessischen Senke, F. Teil II, Petrographische Untersuchungen an der Braunkohle von Ostheim (Bez. Kassel). - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 1 - 109, unveröff., Göttingen
- SCHIEFFER, F. (1941): Agrikulturchemie. - Slg. chem., chem.-techn. Vortr., N.F., 35: 1 - 191, Stuttgart
- SCHIEFFER, F. & SCHACHTSCHNABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. - 394 S., Stuttgart (Enke)
- SCHLEGEL, H.G. (1976): Allgemeine Mikrobiologie. - 4. Aufl., 480 S., Stuttgart (Thieme)
- SCHNEIDER, W. (1969a): Cuticula dispersae aus dem 2. Lausitzer Flöz (Miozän) und ihre fazielle Aussage. - Freib. Forsch.-H., C222: 1 - 75, Leipzig
- SCHNEIDER, W. (1969b): Zur kuticularanalytischen Kennzeichnung technisch bedeutsamer Braunkohlenlithotypen im 2. Lausitzer Flöz. - Freib. Forsch.-H., C242: 29 - 34, Leipzig
- SCHNEIDER, W. (1978): Zu einigen Gesetzmäßigkeiten der faziellen Entwicklung im 2. Lausitzer Flöz. - Z. angew. Geol., 24,3: 125 - 130, Berlin
- SCHNEIDERHÖN, H. (1923): Chalkographische Untersuchung des Mansfelder Kupferschiefers. - N. Jb. Miner., Geol., Paläont., B47: 1 - 38, Stuttgart
- SCHRÖDER, H. (1978): 400 Jahre Braunkohlenbergbau in Hessen. - Braunk., 30,7: 191 - 197, Düsseldorf
- SCHWERDTFEGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. - 486 S., Hamburg, Berlin (Parey)
- SEIFERT, A. & RASCHER, J. (1979): Beitrag zur makropetrographischen Klassifikation von Weichbraunkohlen. Teil 1: Grundlagen zur Aufstellung einer internationalen makropetrographischen Klassifikation für Weichbraunkohlen. - Z. angew. Geol., 25,10: 458 - 465, Berlin

- SEIFERT, W.K. & MOLDAWAN, J.M. (1978): Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42: 77 - 95, Oxford
- SIMONEIT, B.R.T. (1977): Diterpenoid compounds and other lipids in deep-sea sediments and their geochemical significance. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41: 463 - 476, Oxford
- SONTAG, E. (1957): Feinstratigraphische Untersuchungen zur Deutung der Flözgenese im Gebiet der Tagebaue Wirnitz und Schleenhain des Leipzig - Bornaer Braunkohlenreviers. - *Freib. Forsch.-H.*, C37: 89 - 108, Berlin
- SONTAG, E. (1965): Die Pollenanalyse im Dienste der petrographischen Flözaufnahme. I. Teil: Zur Methodik und Lithotypencharakterisierung. - *Z. angew. Geol.*, 11,4: 193 - 198, Berlin
- SONTAG, E. & SÜSS, M. (1976a): Zur makropetrographischen Analyse von Weichbraunkohlen. Teil 1: Erfahrungen und Probleme bei der praktischen Anwendung. - *Z. angew. Geol.*, 22,5: 222 - 226, Berlin
- SONTAG, E. & SÜSS, M. (1976b): Zur makropetrographischen Analyse von Weichbraunkohlen. Teil 2: Empfehlungen eines internationalen Klassifikationssystems für Weichbraunkohlen. - *Z. angew. geol.*, 22,7: 313 - 319, Berlin
- SPACKMAN, W.; RIEGEL, W. & DOLSEN, C.P. (1969): Geological and biological interactions in the swamp-marsh complex of Southern Florida. - *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 114: 1 - 35, Boulder/Colorado
- SPEIGHT, J.G. (1978): Assessment of Structures in Coal by Spectroscopic Techniques. in: KARR, C. (Edt.), *Analytical Methods for Coal and Coal Products*, II: 75 - 101, New York (Academic Press)
- SPIRO, B. & MUKHOPADHAY, P.K. (1983): Effects of degradation on spectral fluorescence of alginite. - *Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie*, 36,7: 297 - 299, Hamburg
- SPRINGER, U. & LEHNER, A. (1952): Stoffabbau und Humusaufbau bei der aeroben und anaeroben Zersetzung landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich wichtiger organischer Stoffe. - *Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkd.*, 58/59: 193 - 231 und 1 - 27, Weinheim/Bergstr., Berlin
- STACH, E.; TAYLOR, G.H.; MACKOWSKY, M.Th.; CHANDRA, D.; TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. (1975): *Stach's textbook of coal petrology*. - 2. Aufl., 428 S., Berlin, Stuttgart (Bornträger)
- STECKHAN, W. (1952): Der Braunkohlenbergbau in Nordhessen. - *Hess. Lagerstättenarch.*, 1: 1 - 212, Wiesbaden
- STEVENSON, F.S. & BUTLER, J.H.A. (1969): Chemistry of Humic Acids and Related Pigments. in: EGLINTON, G. & MURPHY, M.T.S. (Edt.), *Organic Geochemistry*: 534 - 557, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- STILLE, H. (1915): Die Braunkohlenvorkommen in Westfalen und Lippe-Detmold. - in: KLEIN, G. (Hrsg.), *Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau*: 127 - 129, Halle/Saale (Knapp)
- STREIBL, M. & HEROUT, V. (1969): Terpenoids - especially oxygenated mono-, sesqui-, di- and triterpenes. - in: EGLINTON, G. & MURPHY, M.T.S. (Edt.), *Organic Geochemistry*: 402 - 424, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)

- STREMME, E. (1888): Beitrag zur Kenntnis der tertiären Ablagerungen zwischen Kassel und Detmold, nebst einer Besprechung der norddeutschen Pecten-Arten. - Z. dt. geol. Ges., 40: 310 - 354, Berlin
- SÜSS, M. (1957): Feinstratigraphische Untersuchungen in Goitsche und Holzweissig. - Freib. Forsch.-H., C37: 109 - 182, Berlin
- SWEENEY, R.E. & KAPLAN, I.R. (1973): Pyrite Framboid Formation: Laboratory Synthesis and Marine Sediments. - Econ. Geol., 68: 618 - 634, New Haven/Connect.
- TEICHMÜLLER, M. (1950): Zum petrographischen Aufbau und Werdegang der Weichbraunkohle. - Geol. Jb., 64: 429 - 488, Hannover/Celle
- TEICHMÜLLER, M. (1958): Rekonstruktion verschiedener Moortypen des Hauptflözes der niederrheinischen Braunkohle. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 2: 599 - 612, Krefeld
- TEICHMÜLLER, M. (1974a): Über neue Mazerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung von Micrinit. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 24: 37 - 64, Krefeld
- TEICHMÜLLER, M. (1974b): Entstehung und Veränderung bituminöser Substanzen in Kohlen in Beziehung zur Entstehung und Umwandlung des Erdöls. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 24: 65 - 112, Krefeld
- TEICHMÜLLER, M. (1982): Fluoreszenzmikroskopische Änderungen von Liptiniten und Vitriten mit zunehmendem Inkohlungsgrad und ihre Beziehungen zu Bitumenbildung und Verkokungsverhalten. - 119 S., Krefeld (Geol. L.-Amt NRW)
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. (1981): The significance of coalification studies to geology - a review. - Bull. Centr. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 5,2: 491 - 534, Pau
- TEICHMÜLLER, M. & OTTENJANN, K. (1977): Liptinite und lipide Stoffe in einem Erdölmutergestein. - Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie, 30,9: 387 - 398, Hamburg
- TEICHMÜLLER, M. & THOMSON, P.W. (1958): Vergleichende mikroskopische und chemische Untersuchungen der wichtigsten Faziestypen im Hauptflöz der niederrheinischen Braunkohle. - Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., 2: 573 - 598, Krefeld
- THIELE-PFEIFFER, H. (1980): Die miozäne Mikroflora aus dem Braunkohlentagebau Oder bei Wackersdorf/Oberpfalz. - Palaeontographica, B174: 95 - 224, Stuttgart
- THOMSON, P.W. (1950): Die Entstehung von Kohleflözen aufgrund von mikropaläontologischen Untersuchungen des Hauptflözes der rheinischen Braunkohle in Liblar, Neurath, Fortuna und Brühl. - Geol. Jb., 65: 113 - 126, Hannover
- THOMSON, P.W. (1952): Die Sukzession der Pflanzenvereine und Moortypen im Hauptflöz der rheinischen Braunkohle mit einer Übersicht über die Vegetationsentwicklung im Tertiär Mitteleuropas. - Ber. Geobotan Forsch.-Inst. Rubel, 1951: 80 - 87, Zürich
- TILLMANN, H. (1964): Jungtertiäre Sedimente am Rand des Grundgebirges Ostbayerns. in: Erl. Geol. Kt. Bayern 1 : 500000: 195 - 213, München (Bayer. Geol. L.-Amt)
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1978): Petroleum formation and occurrence. - 538 S., Berlin Heidelberg, New York (Springer)

- UDLUFT, H. & LANG, H.D. (1956): Der Untergrund der Niederhessischen Senke. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 84: 184 - 203, Wiesbaden
- UDLUFT, H. & LANG, H.D. (1959): Die Niederhessischen Braunkohlen in ihrer Abhängigkeit von den faziellen Verhältnissen des tertiären Sedimentationsraumes. - Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 87: 333 - 366, Wiesbaden
- VAN DORSELAER, A.; ENSMINGER, A.; SPYCKERELLE, L.; DASTILLUNG, M.; SIESKIND, O.; ARPINO, P.; ALBRECHT, P.; OURISSON, G.; BROOKS, P.W.; GASKELL, S.J.; KIMBLE, B.J.; PHILP, R.P.; MAXWELL, J.R. & EGLINTON, G. (1974): Degradated and extended hopane derivatives (C<sub>27</sub> to C<sub>35</sub>) as ubiquitous geochemical markers. - Tetrahedron Letters, 14: 1349 - 1352, Oxford
- VAN KREVELEN, D.W. (1961): Coal: Typology - Chemistry - Physics - Constitution. - 514 pp, Amsterdam (Elsevier)
- VOGT, W. (1979): Der makropetrographische Flözaufbau in den Tagebauen Frechen, Fortuna und Inden des niederrheinischen Braunkohlenreviers unter besonderer Berücksichtigung der Brikettiereigenschaften der Lithotypen. - Diss., TH Aachen, 167 S., unveröff., Aachen
- WAITZ v.ESCHEN & STRIPPELMANN, F. (1828): Geographische Betrachtungen der am Hirschberge und Groß-Almerode abgelagerten tertiären Gebilde. - Stud. Ver. bergm. Freunde Göttingen, 2, Göttingen
- WAKEHAM, S.G.; SCHAFFNER, C. & GIGER, W. (1980): Polycyclic aromatic hydrocarbons in Recent Lake sediments. II: Compounds derived from biogenic precursors during early diagenesis. - Geochim. Cosmochim. Acta, 44: 415 - 429, Oxford
- WALTZ, I.E. (1973): Wandlungen pflanzlicher Urstoffe im Verlaufe der Vertorfung. - C.R. 7. Congr. Stratigraph. Carbonifere Krefeld 1971, 4: 343 - 347, Krefeld
- WEDEPOHL, K.H. (1978): Der tertiäre basaltische Vulkanismus der Hessischen Senke nördlich des Vogelsberges. - Der Aufschluß, S28: 156 - 167, Heidelberg
- WELTE, D.H. (1978): Erdöl und Kohle - Fossile Energierohstoffe und Zeugnisse vergangenen Lebens. - Erdöl, Kohle, Erdgas, Petrochemie, 31,3: 139 - 147, Hamburg
- WOLLENHAUPT, H. (1980): Geologische und lagerstättenkundliche Untersuchungen im Nordteil der Hessischen Senke, B. Teil II: Palynologische und petrographische Untersuchungen der Braunkohle von Schnepenhain (TK 5021 Ziegenhain). - Dipl.-Arb., Univ. Göttingen, S. 62 - 150, unveröff., Göttingen
- WOLLRAB, W. & STREIBL, M. (1969): Earth waxes, Peat, Montan Wax and Other Organic Brown Coal Constituents. - in: EGLINTON, G. & MURPHY, M.T.J. (Edt.), Organic Geochemistry: 576 - 598, Berlin, Heidelberg, New York (Springer)
- ZERBE, C. (Hrsg.) (1952): Mineralöle und verwandte Produkte. - 1525 S., Berlin, Göttingen, Heidelberg (Springer)

AN H A N G

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Döretrup

Probe Nr.	Go 4	Go 5	Go 6	Go 7	Go 8	Go 9	Go 10	Go 13	Go 15
Textinit	0,8	1,3	-	0,2	0,7	0,4	-	5,2	9,3
Ulminit	-	-	-	-	-	0,4	-	3,3	0,4
Attrinit	9,7	9,9	4,4	17,5	37,2	38,4	52,9	25,8	22,3
Densinit	11,0	11,2	4,9	19,8	45,5	43,0	16,3	48,1	43,3
Gelinit	2,5	4,6	2,1	2,9	3,8	4,2	3,0	8,4	2,4
Corpohuminit	-	-	0,2	1,1	1,9	0,9	-	1,7	9,6
Huminit	24,0	27,0	11,6	41,5	89,1	87,3	72,2	92,5	87,3
s.f. Grundm.	59,9	54,4	69,6	43,0	1,4	-	10,1	-	2,0
Sporinit	0,8	1,2	1,9	1,3	0,7	2,0	1,4	1,1	0,5
Cutinit	1,3	2,0	0,4	0,4	0,5	0,9	0,2	0,4	0,3
Resinit	0,4	0,9	1,5	0,5	0,2	0,7	1,2	-	1,0
Suberinit	-	-	-	0,5	2,0	1,3	-	0,9	1,0
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	13,5	13,4	14,8	12,8	6,4	7,3	13,7	4,8	7,1
Liptinit	16,0	17,5	18,6	15,5	9,8	12,2	16,5	7,2	11,8
Fusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	-	-	-	-	-	-	0,2	0,5	0,5
Inertodetrinit	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,3
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	-	-	-	-	-	-	0,4	0,7	0,8
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	0,4	0,4	0,2	-	-	0,4	-	-	-
Minerale	0,4	0,4	0,2	-	-	0,4	-	-	-
Probe Nr.	Go 17	Go 18	Go 19	Go 22	Go 23	Go 26	Go 30	Go 33	Go 34
Textinit	0,5	0,9	-	-	-	-	1,0	1,9	-
Ulminit	0,3	-	-	-	-	0,2	0,3	-	-
Attrinit	25,5	32,6	5,9	3,9	0,9	40,1	23,1	26,8	28,2
Densinit	2,1	7,7	1,3	0,7	1,5	7,7	60,4	56,7	11,8
Gelinit	0,9	0,3	2,4	0,7	0,9	0,7	3,8	3,9	0,8
Corpohuminit	0,9	1,7	-	0,4	-	0,5	0,9	3,2	0,5
Huminit	30,2	43,2	9,6	5,7	3,3	49,2	89,5	92,5	41,3
s.f. Grundm.	50,6	40,6	65,3	74,1	77,6	40,6	1,7	-	39,2
Sporinit	1,8	0,7	2,0	0,9	0,2	0,9	1,2	0,7	2,4
Cutinit	0,6	1,0	0,3	0,3	0,2	0,5	0,3	0,7	1,3
Resinit	2,1	2,7	4,0	2,6	1,3	0,5	0,9	0,2	3,4
Suberinit	0,3	0,3	1,3	0,2	-	0,5	-	0,9	0,2
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	14,4	11,3	17,5	16,1	17,5	7,7	6,3	5,0	12,0
Liptinit	19,2	16,0	25,1	20,1	19,2	10,1	8,7	7,5	19,3
Fusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	-	0,2	-	0,2	-	-	-	0,4	0,2
Inertodetrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	-	0,2	-	0,2	-	-	-	0,4	0,2
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	0,3	0,2	0,7	0,3	12,2	0,3	-	-	0,3
Karbonat	78,1	2,2	81,5	0,9	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Minerale	78,4	2,6	82,2	1,2	12,2	0,3	-	-	0,3

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Go 35	Go 36	Go 39	Go 41	Go 42	Go 43	Go 44	Go 46	Go 47
Textinit	-	0,4	1,5	4,9	0,5	0,5	3,6	0,9	0,7
Ulminit	-	-	-	7,6	0,9	0,2	-	0,5	-
Attrinit	38,3	35,4	43,5	34,4	52,0	32,4	37,1	65,7	7,0
Densinit	43,2	3,2	35,7	27,6	15,3	50,1	12,8	17,7	-
Gelinit	1,6	0,2	2,5	4,1	3,3	2,3	1,7	1,7	1,2
Corpohuminit	1,0	-	2,1	6,5	4,4	2,1	0,8	2,0	0,2
Huminit	84,1	39,2	85,3	85,1	76,4	87,6	56,0	88,5	9,1
s.f. Grundm.	1,3	41,4	2,9	2,8	0,5	-	30,1	0,2	70,5
Sporinit	2,0	1,8	1,0	0,6	2,5	2,4	1,1	1,5	1,0
Cutinit	2,2	0,4	0,4	1,7	-	0,3	0,4	1,0	0,5
Resinit	0,5	2,5	0,4	0,4	1,6	0,5	1,5	0,5	2,4
Suberinit	-	-	-	2,0	6,9	0,5	2,1	0,5	-
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	9,9	14,5	10,0	7,2	11,7	8,2	8,6	7,1	16,4
Liptinit	14,6	19,2	11,8	11,9	22,7	11,9	13,7	10,6	20,3
Fusinit	-	-	-	0,4	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	-	-	0,2	-	0,2	-	0,2	0,5	-
Inertodetrinit	-	-	0,2	-	0,2	0,3	-	0,2	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	-	-	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,7	-
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	1,1	0,2	-	-	-	0,4	-	0,3
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Minerale	-	1,3	0,2	-	-	-	0,4	-	0,3
Probe Nr.	Go 48	Go 49	Go 50	Go SPA	Go SPB	Go SPC	Go SPD	Go SPE	Ost 87
Textinit	0,4	-	-	8,6	2,5	-	-	-	2,7
Ulminit	-	-	-	6,2	1,8	-	0,2	-	1,2
Attrinit	12,0	2,6	20,5	29,2	22,4	5,5	49,6	37,5	59,1
Densinit	4,0	6,4	3,5	43,8	45,2	1,7	18,0	1,7	10,6
Gelinit	1,0	0,9	2,4	4,9	12,0	1,4	2,2	1,2	2,1
Corpohuminit	0,8	0,6	0,2	1,8	1,3	0,2	3,9	0,4	1,8
Huminit	18,2	10,5	26,6	94,5	85,2	8,8	73,9	40,8	77,5
s.f. Grundm.	65,5	70,2	69,3	1,8	3,0	76,7	12,0	43,2	5,1
Sporinit	1,0	0,6	-	0,2	0,5	0,2	0,5	0,8	0,8
Cutinit	1,1	0,4	-	-	0,2	-	-	-	0,9
Resinit	0,2	1,5	0,2	0,4	0,2	0,6	1,8	0,8	4,2
Suberinit	0,4	-	-	-	1,5	-	0,7	-	0,4
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	13,7	16,8	3,7	2,9	9,0	13,7	10,2	14,4	8,7
Liptinit	16,4	19,1	3,9	3,5	11,4	14,5	13,2	16,0	15,0
Fusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	-	-	-	-	0,2	-	0,4	-	1,1
Inertodetrinit	-	-	-	0,2	0,2	-	0,5	-	1,1
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	-	-	-	0,2	0,4	-	0,9	-	2,6
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	6,8
Quarz	-	2,3	11,9	-	-	9,2	-	1,3	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,2	2,6	-	-	0,2	0,2	0,2	-
Minerale	-	2,5	14,5	-	-	9,4	0,2	1,5	6,8

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Döretrup

Probe Nr.	Ost 88	Ost 91	Ost 94	Ost 72	Ost 69	Ost 67	Ost 64	Ost 61	Ost 58
Textinit	3,8	6,8	5,7	0,6	1,4	1,9	2,7	2,6	7,9
Ulminit	3,4	-	5,1	1,6	3,9	3,9	3,5	2,1	4,5
Attrinit	68,6	40,8	63,6	31,8	54,1	37,4	61,5	55,7	59,5
Densinit	12,5	0,2	3,6	48,3	5,3	2,8	2,7	7,1	2,9
Gelinit	1,9	0,4	1,1	7,7	1,2	3,0	0,4	0,8	5,0
Corpohuminit	1,6	1,2	6,8	0,8	3,9	3,5	5,1	1,3	3,1
Huminit	91,8	49,4	85,9	90,8	69,8	52,5	75,9	69,6	82,9
s.f. Grundm.	-	35,1	8,9	2,0	15,8	35,1	11,1	12,0	1,3
Sporinit	0,4	0,8	-	0,4	0,4	-	0,6	1,1	0,2
Cutinit	0,7	-	0,2	0,6	-	-	1,0	-	1,1
Resinit	1,7	2,7	0,8	0,8	2,0	0,5	0,4	1,3	0,9
Suberinit	0,8	0,4	1,1	0,2	1,8	2,1	2,6	2,1	3,1
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	5,1	10,8	2,3	2,7	8,6	8,5	6,2	12,6	9,5
Liptinit	8,7	14,7	4,4	4,7	12,8	11,1	10,8	17,1	14,8
Fusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	0,2	0,8	0,9	0,4	1,8	1,2	2,3	1,1	0,9
Inertodetrinit	-	0,2	-	0,4	-	-	-	0,2	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	0,2	1,0	0,9	0,8	1,8	1,2	2,3	1,3	0,9
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Minerale	-	1,5	0,2	-	-	-	-	-	-
Probe Nr.	Ost 56	Ost 54	Ost 52	Ost 51	Ost 49	Ost 46	Ost 42	Ost 39	Ost 38
Textinit	0,9	3,4	-	0,4	0,7	0,3	1,2	6,5	11,6
Ulminit	1,1	2,4	1,3	0,4	-	1,6	0,2	0,9	4,3
Attrinit	48,3	63,7	31,2	49,3	37,9	55,6	66,1	53,2	38,0
Densinit	6,0	9,4	0,5	1,2	-	2,4	4,5	7,8	7,0
Gelinit	6,7	1,3	0,9	1,1	0,4	3,8	-	14,0	32,2
Corpohuminit	5,1	3,9	8,0	6,0	1,9	5,9	1,9	2,7	2,5
Huminit	68,1	84,1	41,9	58,4	40,9	69,6	73,9	85,1	95,6
s.f. Grundm.	13,2	6,9	20,6	18,0	33,1	14,9	9,3	5,9	-
Sporinit	0,5	0,4	1,0	0,7	0,7	0,5	1,2	0,8	0,2
Cutinit	1,1	0,7	1,5	1,2	-	0,5	0,5	0,6	0,5
Resinit	1,6	1,1	13,8	5,5	0,7	1,0	2,6	1,1	-
Suberinit	1,3	1,8	-	0,2	1,1	1,5	1,3	1,3	2,0
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	11,6	4,2	20,6	15,2	22,0	10,8	7,8	5,1	1,4
Liptinit	16,1	8,2	36,9	22,8	24,5	14,3	13,4	8,9	4,1
Fusinit	0,2	-	-	0,4	-	-	0,3	-	0,2
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	1,3	0,9	0,7	0,2	1,5	1,4	1,8	0,2	0,3
Inertodetrinit	1,1	-	-	0,4	-	-	1,3	-	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	2,6	0,9	0,7	1,0	1,5	1,4	3,4	0,2	0,5
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-
Minerale	-	-	-	-	-	-	0,8	-	-

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
 Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Ost 37	Ost 35	Ost 34	Ost 32	Ost 30	Ost 29	Ost 27	Ost 25	Ost 22
Textinit	2,4	19,8	8,9	2,6	4,3	0,7	3,4	2,2	-
Ulminit	2,4	6,8	-	7,1	9,5	9,9	29,8	3,2	0,6
Attrinit	47,2	19,3	51,4	44,3	28,4	13,6	10,6	14,0	9,5
Densinit	7,7	6,7	15,1	26,7	35,4	42,9	25,5	57,6	52,5
Gelinit	0,9	42,3	3,4	8,4	13,5	3,0	3,7	11,7	30,2
Corpohuminit	2,8	3,7	7,2	3,2	2,0	3,3	6,6	2,1	0,4
Huminit	63,4	98,6	86,0	92,3	93,1	73,4	79,6	90,8	93,2
s.f. Grundm.	27,2	-	-	1,6	2,0	13,6	16,5	3,9	-
Sporinit	0,2	0,8	0,6	-	0,2	1,4	-	1,1	0,9
Cutinit	-	-	0,8	-	0,7	0,5	0,5	0,6	0,7
Resinit	1,1	-	1,0	0,6	0,4	4,2	1,6	1,1	1,5
Suberinit	1,8	-	-	1,4	0,4	0,2	0,2	0,4	0,4
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	6,0	1,0	10,9	3,1	3,1	3,9	1,8	1,5	3,2
Liptinit	9,1	1,8	13,3	5,1	4,8	10,2	4,1	4,7	6,7
Fusinit	0,2	-	-	-	-	1,3	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	0,2	-	0,8	1,2	0,2	0,9	0,5	0,6	0,2
Inertodetrinit	-	-	-	-	0,2	0,7	0,2	-	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	0,4	-	0,8	1,2	0,4	2,9	0,7	0,6	0,2
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	76,0	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	-	22,2	-	-	0,2	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Minerale	-	0,2	98,2	-	-	0,2	-	-	-
Probe Nr.	Ost 19	Ost 15	Ost 10	Ost 6	Ost SP1	Ost SP2	Hir 2	Hir 3	Hir 5
Textinit	-	3,9	39,5	8,4	24,1	7,1	-	2,5	2,7
Ulminit	1,6	16,0	1,1	2,0	5,7	0,5	3,2	0,5	9,4
Attrinit	65,1	61,9	27,5	43,2	45,3	53,8	36,6	41,9	40,3
Densinit	9,2	2,1	2,5	11,4	11,8	14,8	28,8	25,8	29,5
Gelinit	5,6	7,7	14,8	22,0	3,0	5,2	2,7	3,0	2,0
Corpohuminit	1,1	5,0	4,9	1,5	5,9	5,0	1,4	3,5	1,3
Huminit	82,6	96,6	90,3	88,5	95,8	86,4	72,7	77,2	85,2
s.f. Grundm.	4,9	-	-	-	1,1	7,7	-	-	-
Sporinit	1,4	0,2	0,2	-	0,2	0,4	0,9	2,0	0,7
Cutinit	1,3	0,4	0,2	0,6	-	0,2	-	-	-
Resinit	4,7	-	0,4	0,2	-	-	2,3	1,0	2,0
Suberinit	0,5	0,6	-	-	0,8	0,9	0,7	0,5	2,7
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	1,8	0,8	0,7	0,7	1,6	4,3	22,0	16,7	7,4
Liptinit	9,7	2,0	1,5	1,5	2,6	5,8	25,9	20,2	12,8
Fusinit	1,1	-	1,9	9,0	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
Sclerotinit	1,3	1,5	0,9	0,4	0,2	-	1,4	0,5	-
Inertodetrinit	0,4	-	5,6	1,3	0,3	0,2	-	1,5	0,7
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3
Inertinit	2,8	1,5	8,4	10,4	0,5	0,2	1,4	2,5	2,0
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	13,0	4,5	1,0
Quarz	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,3
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	0,2	0,4	1,1	0,2	0,2	0,7	0,5	0,5	-
Minerale	0,2	0,4	1,1	0,2	0,2	0,7	14,0	5,0	1,3

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Hir 7	Hir 9	Hir 11	Hir 13	Hir 15	Hir 16	Hir 18	Hir 20	Hir 22
Textinit	2,5	2,3	3,3	22,6	7,1	24,0	10,7	14,1	17,5
Ulminit	12,0	4,9	0,6	9,5	2,1	13,8	-	1,8	2,5
Attrinit	24,3	30,1	65,9	35,6	38,4	32,8	74,0	63,0	58,5
Densinit	52,0	46,5	15,9	23,2	35,6	20,6	1,4	15,2	10,5
Gelinit	5,1	0,2	0,8	1,7	0,8	3,8	0,8	0,3	0,3
Corpohuminit	1,0	1,6	1,4	2,7	2,5	3,5	6,2	2,3	5,1
Huminit	96,9	85,6	88,5	95,3	86,5	98,5	93,1	96,7	94,4
s.f. Grundm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	-	1,8	1,7	0,2	2,8	-	1,0	-	0,8
Cutinit	0,8	0,6	0,2	0,7	0,4	-	-	-	-
Resinit	0,6	0,8	1,0	0,9	0,7	-	1,0	-	-
Suberinit	0,6	3,5	2,7	2,0	2,5	0,6	1,0	0,3	1,4
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	1,2	6,8	5,2	0,7	6,0	0,2	3,1	2,3	3,1
Liptinit	3,2	13,5	10,8	4,5	12,4	0,8	6,1	2,6	5,3
Fusinit	-	-	-	-	-	-	0,2	-	-
Semifusinit	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	-	0,6	1,0	0,2	0,7	0,4	0,2	0,6	0,3
Inertodetrinit	-	-	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	-	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	-	0,8	1,2	0,4	1,1	0,6	0,6	0,6	0,3
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Quarz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,2	-	-	0,4	1,2	-	-	-
Minerale	0,2	0,2	-	-	0,4	1,2	-	-	-
Probe Nr.	Hir 24	Hir 25	Hir 26	Hir 28	Hir 30	Hir 32	Hir 34	Hir 36	Hir 38
Textinit	20,9	1,6	8,7	1,4	10,5	6,9	12,2	0,8	2,9
Ulminit	0,2	0,2	0,3	1,9	2,8	3,3	5,6	1,7	4,4
Attrinit	66,0	61,7	62,5	34,5	31,7	14,7	49,7	30,0	61,2
Densinit	3,3	12,4	10,1	37,4	34,3	60,1	22,0	63,4	22,9
Gelinit	1,1	-	0,9	0,8	2,5	0,5	-	0,2	0,3
Corpohuminit	3,7	10,7	5,4	3,2	4,6	1,6	4,5	0,6	1,6
Huminit	95,2	86,6	87,9	79,2	86,4	87,1	94,0	96,7	93,3
s.f. Grundm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	1,1	1,8	0,8	5,8	3,2	4,5	0,8	1,1	1,0
Cutinit	-	0,6	-	0,3	-	0,5	0,3	0,2	-
Resinit	0,2	1,8	0,6	0,5	0,4	0,9	0,3	0,2	0,3
Suberinit	0,9	2,6	3,4	0,5	3,7	2,9	1,6	0,8	1,0
Alginit	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	2,4	4,9	4,5	12,0	5,4	3,1	1,8	1,1	3,4
Liptinit	4,8	11,7	9,3	19,1	12,7	11,9	4,8	3,4	5,7
Fusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	0,4	-	-	-	-
Sclerotinit	-	1,2	2,3	0,5	0,7	1,1	0,8	0,2	0,3
Inertodetrinit	-	0,2	0,3	1,5	-	-	0,5	-	0,8
Macrinit	-	0,2	0,3	-	-	-	0,3	-	-
Inertinit	-	1,6	2,9	2,0	1,1	1,1	1,6	0,2	1,1
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	3,2	-	0,3	-	-	-	-	18,0
Quarz	-	1,6	0,8	-	-	-	0,8	-	1,0
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	-	-	0,7	-	1,8	0,3	1,1	5,5
Minerale	-	4,8	0,8	1,0	-	1,8	1,1	1,1	24,5

Alle Angaben in Vol.% der org. Substanz Ostheim nach SCHAUB 1981

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Hir 42	Hir 46	Hir 48	Hir 49	Hir 52	Hir 54	Hir 56	Viz 31	Viz 37
Textinit	1,2	32,1	19,3	7,9	4,8	14,3	32,2	-	-
Ulminit	3,3	4,1	3,4	4,1	1,0	18,2	4,1	-	1,3
Attrinit	46,9	35,4	45,0	39,0	62,7	49,0	52,7	16,6	24,6
Densinit	37,3	20,1	16,6	31,9	6,0	7,8	4,9	0,2	0,7
Gelinit	0,9	0,4	3,7	0,4	1,2	0,2	0,8	0,2	0,2
Corpohuminit	2,7	3,7	1,2	5,4	1,2	3,6	1,9	0,2	1,1
Huminit	92,3	95,8	89,2	88,7	76,9	93,1	96,6	17,2	27,9
s.f. Grundm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	0,7	0,6	0,7	1,5	1,9	0,2	0,3	2,3	2,6
Cutinit	0,2	-	0,2	-	0,2	-	-	-	-
Resinit	0,2	-	3,2	0,9	1,0	0,2	0,5	-	0,2
Suberinit	1,0	1,7	2,7	2,8	2,7	2,5	2,2	-	-
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	2,8	4,8
Liptodetrinit	4,1	1,0	3,2	4,1	16,9	2,6	0,5	1,9	3,3
Liptinit	6,2	3,3	10,0	9,3	22,7	5,5	3,5	7,0	10,9
Fusinit	-	-	0,2	0,2	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	0,7	0,8	0,2	1,7	0,2	0,9	-	-	0,2
Inertodetrinit	0,2	-	-	0,2	-	0,5	-	-	-
Macrinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	0,9	0,8	0,6	2,1	0,2	1,4	-	-	0,2
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	75,7	61,0
Ton	12,9	-	-	-	-	-	0,3	8,6	3,3
Quarz	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	1,7	-	-	0,9	-	-	0,3	4,9	1,1
Minerale	16,3	-	-	0,9	-	-	0,6	13,5	4,4
Probe Nr.	Viz 46b	Viz46bII	Viz 55	Viz 56	Viz 58	Viz 59	Viz 60	Viz 61	Viz 62
Textinit	35,1	9,6	-	-	-	-	17,8	97,1	53,6
Ulminit	4,9	0,8	-	0,4	0,8	0,8	-	-	2,7
Attrinit	30,3	27,9	77,1	27,2	9,9	9,7	31,8	0,5	14,7
Densinit	6,5	0,2	2,5	-	-	0,2	6,7	-	22,1
Gelinit	0,6	0,6	0,2	0,7	0,3	-	0,2	-	-
Corpohuminit	2,6	2,5	1,7	2,2	1,9	0,4	1,2	1,9	5,4
Huminit	80,0	41,6	81,5	30,5	12,9	11,1	57,7	99,5	98,5
s.f. Grundm.	12,6	42,1	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	0,9	1,1	2,4	1,4	0,8	1,2	0,5	-	-
Cutinit	-	0,2	0,4	-	-	-	-	-	-
Resinit	2,8	3,3	-	-	0,5	-	-	0,5	0,2
Suberinit	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1
Alginit	-	-	0,7	-	1,9	3,8	2,9	-	-
Liptodetrinit	1,5	2,3	2,0	1,4	1,6	1,4	0,7	-	0,4
Liptinit	5,2	6,9	5,5	2,8	4,8	6,4	4,1	0,5	1,7
Fusinit	0,7	3,1	-	-	-	-	-	-	-
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sclerotinit	0,2	1,1	0,2	0,4	-	-	0,2	-	-
Inertodetrinit	0,4	3,8	0,5	-	-	-	-	-	-
Macrinit	0,9	1,5	-	-	-	-	-	-	-
Inertinit	2,2	9,5	0,7	0,4	-	-	0,2	-	-
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	12,3	66,3	82,2	82,6	37,9	-	-
Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4
Quarz	0,7	1,1	-	-	-	-	-	-	-
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	0,2	0,6	0,5	4,0	7,9	1,6	1,6	0,7	1,8
Minerale	0,9	1,7	0,5	4,0	7,9	1,6	1,6	0,7	2,2

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Viz 63	Viz 64	Viz 65	Viz 66	Viz 67	Viz 68	Viz 69	Viz 63G	Dö 3
Textinit	11,3	18,5	29,8	33,0	17,5	8,9	1,7	26,2	2,5
Ulminit	1,1	4,7	4,2	-	5,2	0,4	0,2	0,4	0,5
Attrinit	7,7	20,7	46,7	46,3	56,0	16,5	54,0	14,5	66,2
Densinit	0,2	40,1	7,5	0,2	1,2	-	0,4	-	0,8
Gelinit	-	0,7	1,2	0,2	0,2	1,5	0,2	1,4	0,8
Corpohuminit	21,5	8,1	5,0	11,0	11,8	8,9	1,2	5,0	0,5
Huminit	41,8	92,8	94,4	90,7	91,9	36,2	57,7	47,5	71,3
s.f. Grundm.	45,3	-	-	-	-	50,6	12,6	49,3	-
Sporinit	4,1	0,4	0,6	0,6	0,6	2,0	2,4	-	7,8
Cutinit	-	0,2	-	-	0,2	0,2	-	-	-
Resinit	1,3	0,7	-	0,2	0,2	1,1	0,2	0,4	0,5
Suberinit	-	0,4	1,7	5,6	5,4	1,5	7,7	0,7	-
Alginit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Liptodetrinit	4,1	3,7	1,5	1,4	2,0	4,4	17,3	-	12,4
Liptinit	9,5	5,4	3,8	7,8	8,4	9,2	27,6	1,1	20,7
Fusinit	1,6	0,2	-	-	-	0,9	-	0,7	0,5
Semifusinit	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2
Sclerotinit	-	1,1	2,0	1,4	1,0	0,9	1,3	-	0,2
Inertodetrinit	1,6	0,5	-	-	-	-	0,6	1,1	7,1
Macrinit	0,2	-	-	-	-	0,6	-	0,4	-
Inertinit	3,4	1,8	2,0	1,4	1,0	2,4	1,9	2,2	8,0
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	-	1,4	-	5,4	7,6	0,2	0,4	-	34,8
Quarz	-	-	-	-	-	2,0	-	-	9,6
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	0,3	0,4	-	0,2	0,2	1,1	-	-	0,8
Minerale	0,3	1,8	-	5,6	7,8	3,3	0,4	-	45,2
Probe Nr.	Dö 4	Dö 5	Dö 6	Dö 7	Dö 11	Dö 12	Dö 13	Dö 14	Dö 15
Textinit	22,4	21,4	22,3	20,3	7,3	7,7	17,3	12,7	17,5
Ulminit	6,9	4,0	0,9	2,9	3,7	1,6	3,8	2,9	2,1
Attrinit	57,3	50,2	58,3	48,5	73,5	74,2	54,3	60,3	58,2
Densinit	2,1	0,9	0,4	0,3	-	0,3	1,4	0,5	0,8
Gelinit	1,4	0,5	-	0,9	1,8	1,9	0,5	0,7	1,3
Corpohuminit	1,6	1,6	0,8	0,5	-	1,6	0,7	0,9	0,6
Huminit	91,7	78,6	82,7	73,4	86,3	87,3	78,0	78,0	80,5
s.f. Grundm.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	1,4	2,6	2,6	4,1	1,8	1,6	1,6	3,6	2,8
Cutinit	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resinit	-	0,2	-	0,7	-	0,3	0,7	0,2	0,2
Suberinit	0,7	0,5	0,2	-	-	0,3	0,2	0,2	0,2
Alginit	-	0,2	-	0,3	-	0,3	0,2	-	0,2
Liptodetrinit	2,8	5,3	6,3	8,0	10,1	6,1	5,7	5,8	5,8
Liptinit	4,9	8,8	9,1	13,1	11,9	8,6	8,4	9,8	9,2
Fusinit	0,9	5,1	2,0	6,4	-	-	6,9	3,6	4,5
Semifusinit	0,2	0,5	0,4	-	0,9	-	1,4	0,9	0,4
Sclerotinit	0,2	1,4	0,4	0,7	-	0,3	0,7	0,7	0,2
Inertodetrinit	2,1	4,9	4,8	5,4	0,9	3,5	4,3	6,5	4,1
Macrinit	-	0,7	0,6	1,0	-	0,3	0,3	0,5	1,1
Inertinit	3,4	12,6	8,2	13,5	1,8	4,1	13,6	12,2	10,3
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	2,4	0,9	1,1	1,7	8,3	6,1	0,2	1,6	0,4
Quarz	-	0,2	0,2	1,9	224,8	60,0	1,9	0,4	0,4
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	0,2	0,2	0,7	-	3,7	0,6	0,3	-	1,3
Minerale	2,6	1,3	2,0	3,6	236,8	66,7	2,4	2,0	2,1

Alle Angaben in Vol.% der org. Substanz Ostheim nach SCHAUB 1981

MIKROPETROGRAPHISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER UNTERSUCHTEN KOHLEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Dö 16	Dö 17	Dö 19	Dö 20	Dö 21	Dö 22	Dö 23	Dö 24
Textinit	19,1	12,2	19,3	27,9	29,6	11,5	26,1	18,4
Ulminit	1,0	1,4	0,7	1,0	5,5	3,0	1,9	5,1
Attrinit	45,6	66,0	60,7	48,3	44,3	55,4	52,6	50,4
Densinit	0,5	0,5	-	-	1,0	0,5	1,0	1,0
Gelinit	0,5	-	0,9	0,4	1,4	0,7	0,2	0,5
Corpohuminit	1,0	2,3	1,5	-	1,8	3,5	1,4	0,5
Huminit	68,0	82,4	82,9	77,6	83,6	74,6	83,2	75,9
s.f. Grundm.	-	-	-	-	-	-	-	-
Sporinit	4,1	1,8	2,5	4,0	2,6	3,4	1,7	2,5
Cutinit	-	-	-	-	-	-	0,2	-
Resinit	0,5	-	-	-	0,6	0,7	0,2	-
Suberinit	0,3	0,9	-	0,8	0,6	0,2	0,2	0,3
Alginat	0,3	-	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2
Liptodetrinit	6,7	3,6	7,0	4,8	4,9	9,6	3,9	5,7
Liptinit	11,9	6,3	9,7	9,6	8,9	14,1	6,4	8,7
Fusinit	7,6	3,6	1,1	4,6	2,2	2,8	5,0	4,9
Semifusinit	0,7	0,5	0,7	1,1	-	0,2	0,8	1,1
Sclerotinit	1,5	-	0,2	0,2	0,4	1,1	-	0,7
Inertodetrinit	9,6	5,4	5,2	6,1	4,3	6,7	2,3	8,2
Macrinit	0,7	1,4	0,2	0,8	0,6	0,5	2,3	0,5
Inertinit	20,1	11,3	7,4	12,8	7,5	11,3	10,4	15,4
Ölschiefer-ähnl. Grundmasse	-	-	-	-	-	-	-	-
Ton	0,7	1,4	1,1	0,2	4,3	23,2	5,8	0,8
Quarz	0,2	105,4	23,1	6,9	0,4	2,1	1,5	0,7
Karbonat	-	-	-	-	-	-	-	-
Pyrit	-	0,9	1,3	0,6	0,2	-	0,4	0,2
Minerale	0,9	107,7	25,5	7,7	4,9	25,3	7,7	1,7

Alle Angaben in Vol.% der org. Substanz Ostheim nach SCHAUB 1981

ERGEBNISSE DER ELEMENTARANALYSEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg

Probe Nr.	Lithotyp	C % (waf)	H % (waf)	O % (waf)	N % (waf)	Benzol- extrakt	Dichlormethan- extrakt	Asche % (wf)
Go SPA	GGMK	67,1	5,4	27,4	n.b.	2,6% (waf)	n.b.	14,2
Go SPB	GMK, schw.	67,7	5,7	27,2	n.b.	5,8% (waf)	n.b.	15,1
Go SPC	GMK, hell	74,1	9,1	17,9	n.b.	21,0% (waf)	n.b.	42,1
Go SPD	GMK, dunk.	68,8	6,9	25,2	n.b.	10,4% (waf)	n.b.	12,0
Go SPE	Wasserkoh.	72,1	8,0	21,5	n.b.	16,9% (waf)	n.b.	15,7
Go 3502	GMK, dunk.	71,9	7,2	20,2*	0,7	n.b.	60718 ppm	13,9
Go 3505	Wasserkoh.	74,9	8,4	16,0*	0,7	n.b.	88243 ppm	30,7
Go 3506	GMK, hell	75,6	9,8	14,0*	0,6	n.b.	111185 ppm	53,3
Ost SP1	GGMK	65,6	5,2	31,6	n.b.	2,6% (waf)	n.b.	6,5
Ost SP2	GMK, dunk.	64,5	6,0	30,9	n.b.	6,1% (waf)	n.b.	9,0
Ost 3501	GGMK	66,4	5,6	27,1*	0,9	n.b.	43970 ppm	7,4
Ost 3503	GMK, hell	72,4	7,8	19,1*	0,7	n.b.	97293 ppm	16,2
Ost 3508	GMK, dunk.	66,0	5,4	27,7*	0,9	n.b.	73049 ppm	9,3
Hir 3504	GGMK	68,5	5,5	25,1*	0,9	n.b.	69404 ppm	8,9
Hir 3507	GK	66,5	4,9	27,9*	0,7	n.b.	15089 ppm	3,6

\* = O(diff.)

ERGEBNISSE DER PHYSIKO-CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN  
 Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Go 4	Go 5	Go 6	Go 7	Go 8	Go 9	Go 10	Go 13	Go 15
Aschegehalt									
% (wf)	42,7	21,7	18,8	19,0	22,0	17,0	16,4	15,7	13,4
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	69,0	68,1	69,1	65,8	64,4	67,1	67,5	64,7	65,4
KOH - Auszug									
% Abs.	14,3	38,4	24,4	41,6	55,2	46,7	33,9	48,0	36,4
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	34,5	56,0	41,7	57,3	66,7	63,3	53,8	69,1	67,0
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.								
Probe Nr.	Go 17	Go 18	Go 19	Go 22	Go 23	Go 26	Go 30	Go 33	Go 34
Aschegehalt									
% (wf)	36,7	14,1	37,5	15,8	44,4	13,5	16,3	15,2	13,3
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	n.b.	68,7	n.b.	73,9	75,1	72,6	65,0	66,9	70,0
KOH - Auszug									
% Abs.	10,1	34,3	8,0	21,0	19,7	31,8	51,7	49,7	26,0
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	41,2	46,4	39,4	30,9	29,2	38,0	65,4	63,3	39,3
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.								
Probe Nr.	Go 35	Go 36	Go 39	Go 41	Go 42	Go 43	Go 44	Go 46	Go 47
Aschegehalt									
% (wf)	13,3	17,0	16,0	14,4	12,9	15,2	13,8	14,2	14,5
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	70,2	71,1	68,9	64,7	68,0	66,8	70,2	68,3	73,1
KOH - Auszug									
% Abs.	38,0	21,2	36,4	46,0	35,2	36,0	22,0	32,2	17,3
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	53,5	45,6	65,0	81,6	59,2	50,2	44,2	55,6	39,8
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.	24,6							
Probe Nr.	Go 48	Go 49	Go 50		Ost 87	Ost 88	Ost 91	Ost 94	Ost 72
Aschegehalt									
% (wf)	14,3	22,9	63,1		19,3*	10,1	16,9	9,3	14,6
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	70,1	73,9	72,7		65,4	64,3	67,7	64,1	62,5
KOH - Auszug									
% Abs.	42,3	24,9	33,8		45,2	39,8	44,2	23,5	48,2
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	41,7	30,5	44,1		81,0	87,6	72,5	92,4	82,4
Benzolextrakt									
% (waf)	19,4	24,4	19,0		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Probe Nr.	Ost 69	Ost 67	Ost 64	Ost 61	Ost 58	Ost 56	Ost 54	Ost 52	Ost 51
Aschegehalt									
% (wf)	9,5	7,1	6,4	8,9	5,7	7,6	6,3	12,4	10,4
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	64,7	63,1	64,3	66,6	65,2	66,1	64,3	69,5	68,2
KOH - Auszug									
% Abs.	42,0	23,4	31,5	41,6	25,8	39,7	28,8	29,2	36,2
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	84,1	88,9	88,3	76,6	87,9	68,1	77,1	43,5	46,8
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.	n.b.	n.b.	14,4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	17,2

\* Aschegehalte der Ostheimer Kohle nach SCHAUB 1981

ERGEBNISSE DER PHYSIKO-CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Döretrup

Probe Nr.	Ost 49	Ost 46	Ost 42	Ost 39	Ost 38	Ost 37	Ost 35	Ost 34	Ost 32
Aschegehalt % (wf)	7,3	7,2	7,8	6,7	6,4	7,3	6,9	41,2	6,9
Kohlenstoffgehalt % (waf)	67,3	65,4	65,5	64,4	64,7	63,8	63,4	65,4	64,3
KOH - Auszug % Abs.	34,2	42,0	44,0	31,8	25,0	33,2	27,2	40,2	37,5
HNO <sub>3</sub> - Auszug % Abs.	43,4	63,5	62,0	81,2	83,1	82,8	79,8	78,3	80,0
Benzolextrakt % (waf)	17,2	n.b.							
Probe Nr.	Ost 30	Ost 29	Ost 27	Ost 25	Ost 22	Ost 19	Ost 15	Ost 10	Ost 6
Aschegehalt % (wf)	7,3	9,6	8,5	9,7	10,5	13,2	12,4	7,1	10,4
Kohlenstoffgehalt % (waf)	64,4	65,4	64,2	65,0	64,6	66,0	65,8	63,7	63,5
KOH - Auszug % Abs.	39,2	41,1	44,2	42,2	40,8	40,8	38,7	25,0	41,2
HNO <sub>3</sub> - Auszug % Abs.	87,4	65,5	82,9	74,4	79,4	67,0	83,9	85,8	87,0
Benzolextrakt % (waf)	n.b.								
Probe Nr.	Hir 2	Hir 3	Hir 5	Hir 7	Hir 9	Hir 11	Hir 13	Hir 15	Hir 16
Aschegehalt % (wf)	17,9*	26,2	3,7	3,6	2,0	1,3	1,5	0,8	0,9
Kohlenstoffgehalt % (waf)	60,8	62,7	60,5	60,1	61,7	63,3	63,1	62,8	62,2
KOH - Auszug % Abs.	35,1	38,3	38,6	36,0	43,9	39,5	22,2	37,6	19,1
HNO <sub>3</sub> - Auszug % Abs.	66,4	58,5	80,5	88,2	75,9	63,2	70,6	61,4	58,5
Benzolextrakt % (waf)	n.b.								
Probe Nr.	Hir 18	Hir 20	Hir 22	Hir 24	Hir 25	Hir 26	Hir 28	Hir 30	Hir 32
Aschegehalt % (wf)	2,9	3,4	4,6	6,0	26,5	15,1	9,0	7,2	7,2
Kohlenstoffgehalt % (waf)	61,3	63,3	64,0	64,3	61,6	66,5	64,0	63,1	61,7
KOH - Auszug % Abs.	23,8	20,6	30,0	23,9	49,3	38,0	40,3	41,8	44,3
HNO <sub>3</sub> - Auszug % Abs.	55,1	53,3	67,5	67,5	54,6	48,7	56,1	60,9	58,3
Benzolextrakt % (waf)	n.b.								
Probe Nr.	Hir 34	Hir 36	Hir 38	Hir 42	Hir 46	Hir 48	Hir 49	Hir 52	Hir 54
Aschegehalt % (wf)	13,5	29,2	42,7	31,7	5,7	4,9	6,8	6,1	5,8
Kohlenstoffgehalt % (waf)	63,4	61,0	(50,6)	(55,0)	63,6	66,7	61,9	66,4	63,7
KOH - Auszug % Abs.	34,4	52,7	34,0	40,3	25,6	25,5	35,2	35,8	23,2
HNO <sub>3</sub> - Auszug % Abs.	55,8	50,5	71,9	53,3	50,1	44,4	58,2	36,8	59,9
Benzolextrakt % (waf)	n.b.								

\* Aschegehalte der Hirschberger Kohle nach PRAUSS 1980

ERGEBNISSE DER PHYSIKO-CHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN  
Go = Gombeth, Ost = Ostheim, Hir = Hirschberg, Viz = Vizthum, Dö = Dörentrup

Probe Nr.	Hir 56	Viz 31	Viz 37	Viz 46b	Viz46bII	Viz 55	Viz 56	Viz 58	
Aschegehalt									
% (wf)	5,3	56,8	17,7	11,1	23,5	22,0	43,1	39,3	
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	64,5	(52,5)	63,6	62,6	67,0	(55,8)	(51,2)	(47,8)	
KOH - Auszug									
% Abs.	28,2	4,0	3,2	26,0	37,2	15,8	6,3	3,1	
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	46,8	82,8	50,5	67,4	49,2	87,1	88,8	79,3	
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	8,1	8,0	
Probe Nr.	Viz 59	Viz 60	Viz 61	Viz 62	Viz 63	Viz 64	Viz 65	Viz 66	Viz 67
Aschegehalt									
% (wf)	25,2	32,3	0,8	17,8	4,6	9,7	11,4	52,3	7,1
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	(54,2)	(47,1)	62,7	(47,6)	68,6	58,7	62,2	(58,0)	60,7
KOH - Auszug									
% Abs.	2,7	2,9	1,8	6,1	15,4	30,8	14,2	7,6	26,8
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	71,4	92,2	51,8	98,2	41,0	84,2	88,3	97,8	93,2
Benzolextrakt									
% (waf)	8,7	n.b.	n.b.	n.b.	20,9	n.b.	n.b.	n.b.	6,3
Probe Nr.	Viz 68	Viz 69	Viz 636*		Dö 3	Dö 4	Dö 5	Dö 6	Dö 7
Aschegehalt									
% (wf)	9,0	12,0	3,8		55,3	11,3	10,2	13,5	16,5
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	67,4	60,8	72,8		61,3	59,0	62,6	63,0	62,2
KOH - Auszug									
% Abs.	20,8	48,7	12,6		62,8	41,8	45,6	38,2	45,4
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	54,8	74,4	33,5		81,6	88,2	69,9	64,2	66,3
Benzolextrakt									
% (waf)	15,3	n.b.	n.b.		n.b.	4,5	n.b.	n.b.	n.b.
Probe Nr.	Dö 11	Dö 12	Dö 13	Dö 14	Dö 15	Dö 16	Dö 17	Dö 19	Dö 20
Aschegehalt									
% (wf)	83,2	47,5	16,1	12,3	8,6	10,9	67,0	43,2	23,4
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	63,6	63,7	64,4	64,7	63,9	64,3	65,8	64,9	65,0
KOH - Auszug									
% Abs.	39,7	37,4	34,2	42,0	35,6	37,2	28,2	39,0	21,3
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	80,3	66,9	54,5	60,3	50,2	43,2	56,3	45,7	33,3
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5,2	5,6
Probe Nr.	Dö 21	Dö 22	Dö 23	Dö 24					
Aschegehalt									
% (wf)	19,4	42,2	30,3	12,8					
Kohlenstoffgehalt									
% (waf)	61,9	63,8	64,0	64,9					
KOH - Auszug									
% Abs.	34,8	45,9	33,6	43,0					
HNO <sub>3</sub> - Auszug									
% Abs.	53,4	53,1	56,1	66,4					
Benzolextrakt									
% (waf)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.					

\* = zu hellem Mulm zersetzter Xylit

DIE MAKROPETROGRAPHISCHE AUSBILDUNG WICHTIGER BRAUNKOHLE - LITHOTYPEN

Fig. 1 Gewebekohle (Hirschberg/Flöz III)

Die zahlreichen, schichtparallel eingeregelteten Gewebereste erzeugen im Querbruch den Eindruck einer guten Schichtung.

Fig. 2 Gewebegrundmassenkohle (Hirschberg/Flöz III)

Der Anteil der Gewebereste ist deutlich geringer als bei den Gewebekohlen. Im Querbruch ist die Schichtung nur noch undeutlich erkennbar.

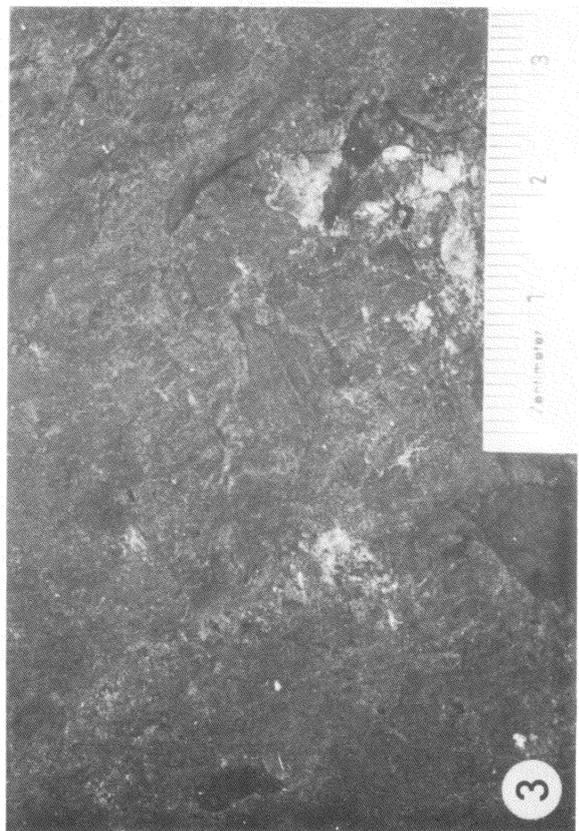
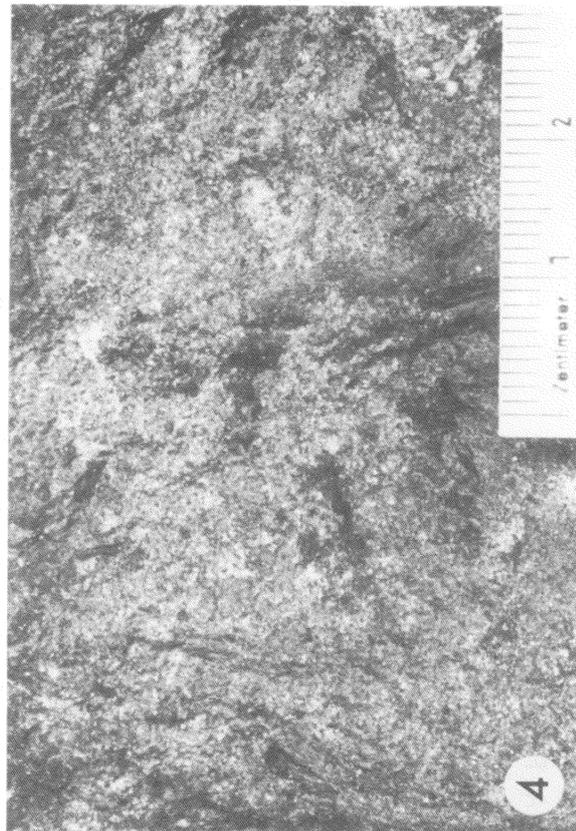
Fig. 3 Grundmassenkohle (Borkener Hauptflöz)

Es treten kaum noch Gewebereste auf; im Querbruch ist keine Schichtung mehr zu erkennen. Gelbester heben sich deutlich von der (in diesem Beispiel recht hellen) Kohlegrundmasse ab. Die weißen Flecken werden durch Tonfasern hervorgerufen (Kaolinit).

Fig. 4 Sandige Mineralkohle (Borkener Hauptflöz)

Die Sandkörner "schwimmen" dispers verteilt in der Kohlematrix. Lediglich sekundär durch Huminsäuregele gefüllte Hohlräume sind Sand-frei.

TAFEL 1



AUFFÄLLIGE MINERALISCHE BILDUNGEN DER UNTERSUCHTEN KOHLEN

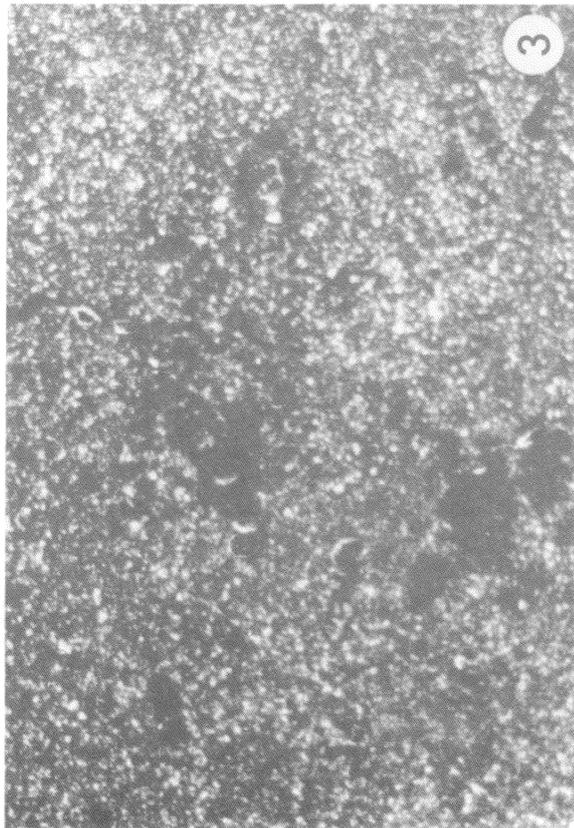
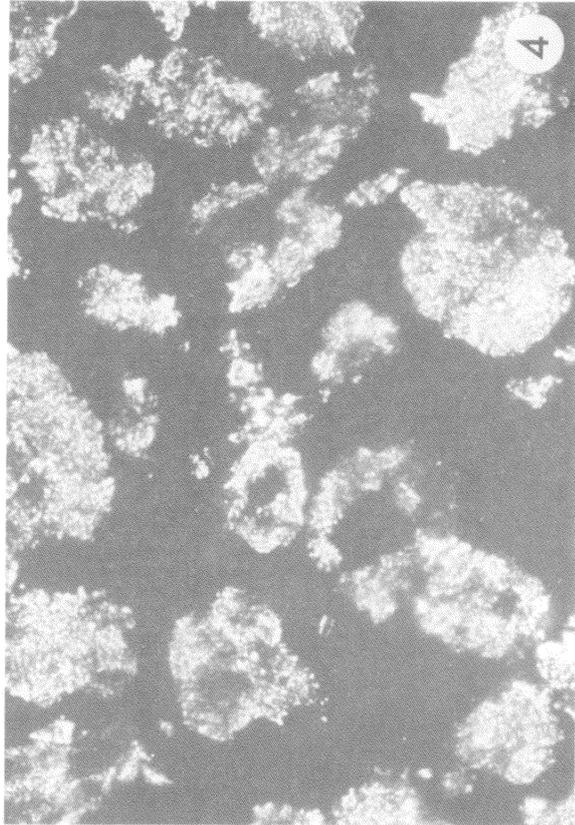
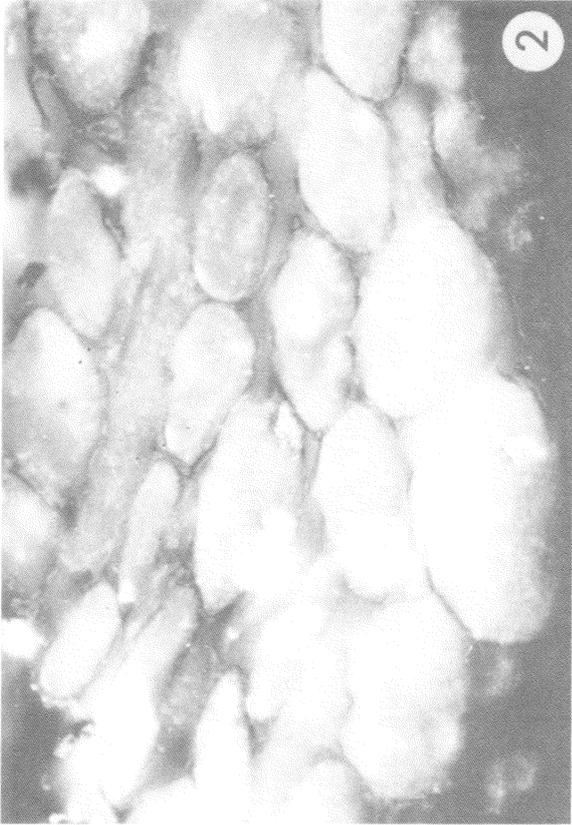
Fig. 1 Teilweise kaolinitisierter Holzrest aus der Braunkohle von Viehhausen. Die Zellumina sind vollständig mit Kaolinton gefüllt. In einzelnen Bereichen beginnen die Zellstrukturen sich aufzulösen. (Bruchfläche, 15x)

Fig. 2 wie Fig. 1 (Auflicht-Hellfeld, 450x)  
Unter dem Mikroskop wird die allmähliche Verdrängung der Zellwände durch den Ton sichtbar. Der Kaolinit erscheint durch zahlreiche Innenreflexe hell.

Fig. 3 Karbonatische Mineralkohle aus dem Borkener Hauptflöz. Die hellen Karbonatkörnchen sind dispers in der Grundmasse verteilt. (polierter Anschliff, 15x)

Fig. 4 Im Durchlicht wird der mikrokristalline Aufbau der Karbonatkörnchen deutlich. Die meisten Körner besitzen einen Kern. Das Karbonat wurde im Borkener Moor wahrscheinlich durch Mikroben abgeschieden. (Dünnschliff, +Nicolis, 40x)

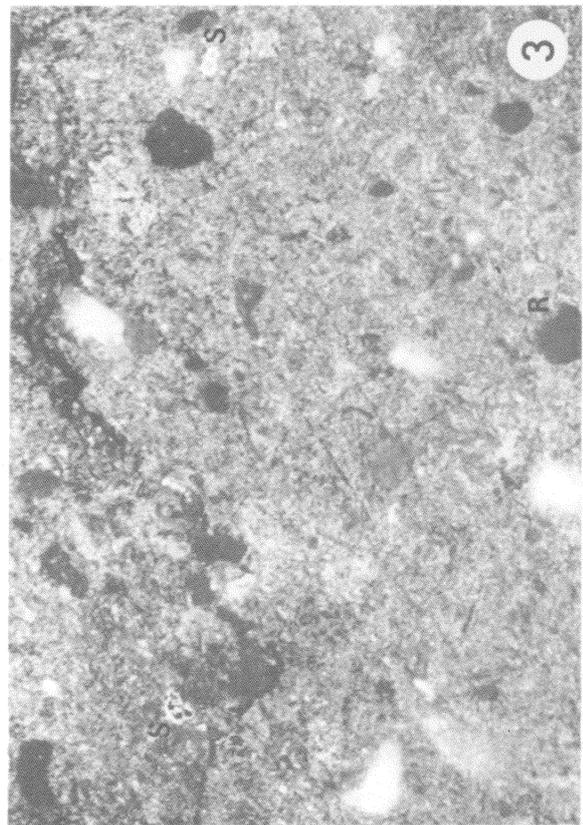
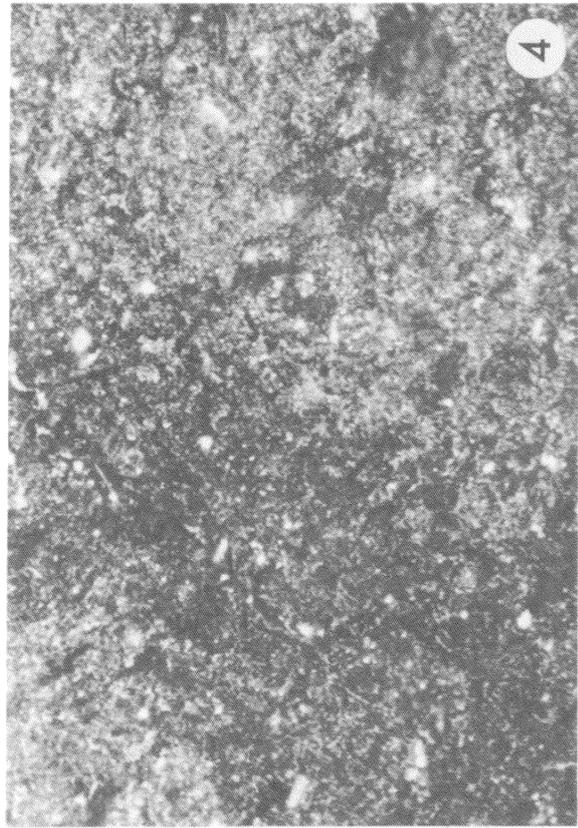
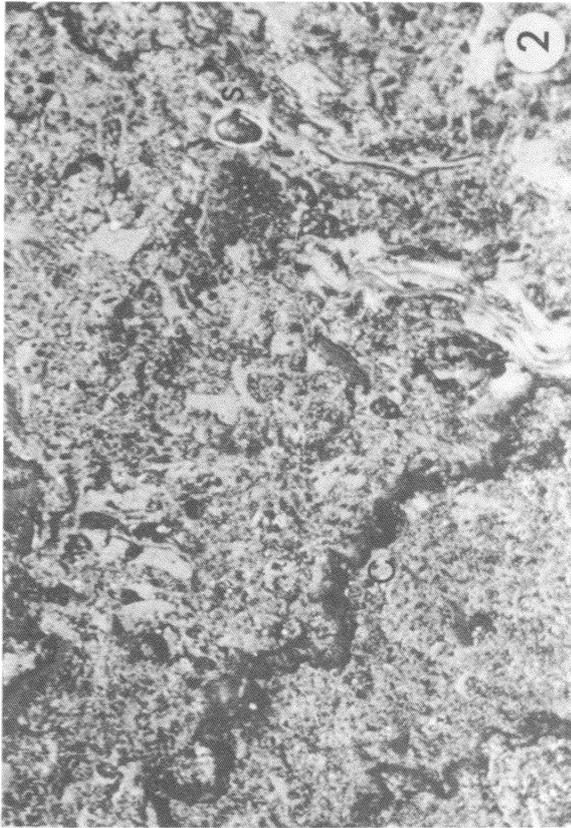
TAFEL 2



GEWEBERESTE UND DIE PRODUKTE AEROBER ZERSETZUNG

- Fig. 1 Gut erhaltener Geweberest (TEXTINIT) mit zahlreichen Zellfüllungen (CORPOHUMINIT). (Borkener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)
- Fig. 2 Unter aeroben Zersetzungsbedingungen zerfallen die Gewebe. Es bildet sich GROBKÖRNIGER ATTRINIT, der in wesentlichen Anteilen aus Zellwandbruchstücken besteht. Der Bidausschnitt zeigt zudem einen Pilzrest (SCLEROTINIT, S) und eine Kuticula (CUTINIT, C). (Ostheimer Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)
- Fig. 3 Aufgrund stärkerer Zersetzung wird der ATTRINIT FEINKÖRNIGER. Im Bidausschnitt sind eine Ansammlung von Harzkörnern (RESINIT, R) sowie zwei kleine Pilzreste (S) zu erkennen. (Borkener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)
- Fig. 4 Die "STARK FLUORESZIERENDE GRUNDMASSE" bildet sich als Produkt einer besonders intensiven, mikrobiellen Überarbeitung. Bei Hellfeld-Beleuchtung ist sie an ihrem geringen Reflexionsvermögen sowie an zahlreichen Innenreflexen (helle Flecken) zu erkennen. Im Bidausschnitt zeigt sie Übergänge zum feinkörnigen Attrinit. (Borkener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)

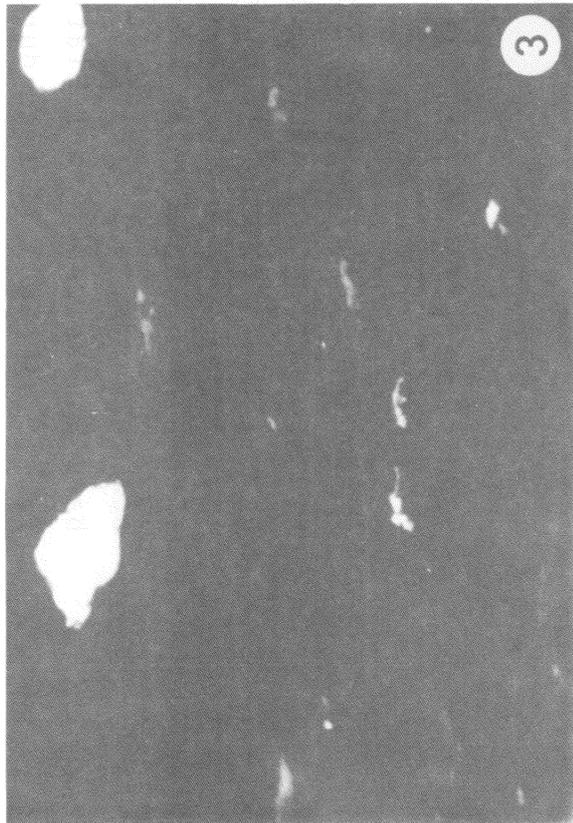
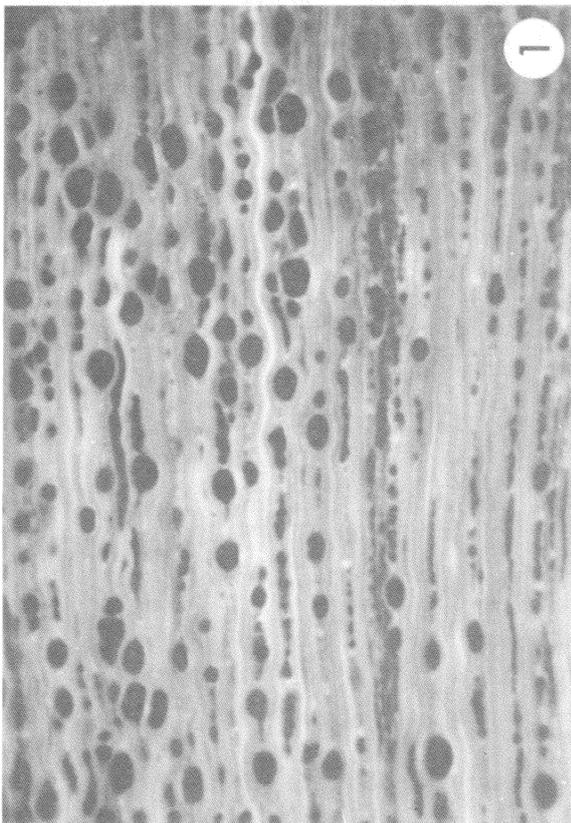
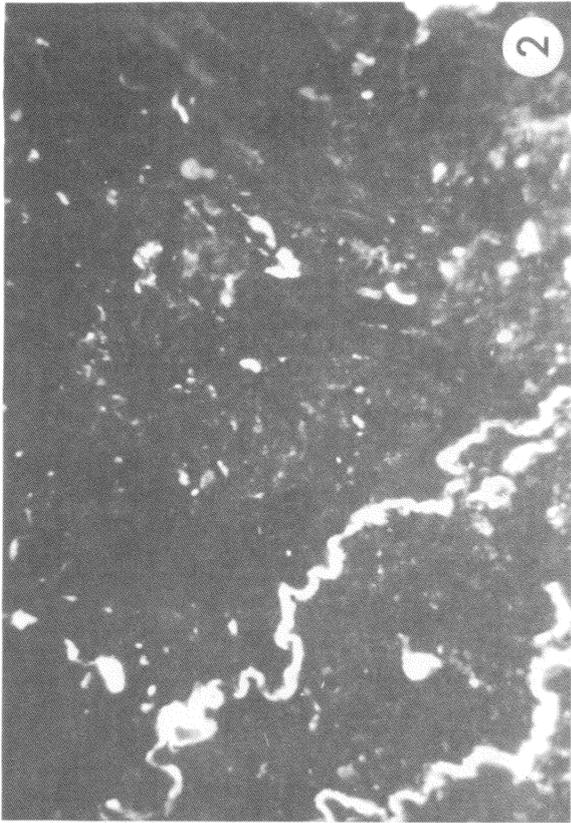
TAFEL 3



DAS FLUORENZVERMÖGEN WICHTIGER BRAUNKOHLEBESTANDTEILE

- Fig. 1 wie Taf. 5, Fig. 1; Fluoreszenz  
Die im Auflicht relativ schwach reflektierenden Zellwände fluoreszieren deutlich. Die Zellfüllungen sind fluoreszenzfrei.
- Fig. 2 wie Taf. 3, Fig. 2; Fluoreszenz  
Aus der nur schwach oder gar nicht fluoreszierenden attrinitischen Grundmasse heben sich die liptinitischen Bestandteile deutlich (weiß) heraus. Im Gegensatz zum Hellfeld-Bild sind dadurch auch kleine Liptinit-Partikel (LIPTODETRINIT) erkennbar.
- Fig. 3 wie Taf. 5, Fig. 3; Fluoreszenz  
Der Densinit ist fluoreszenzfrei. Umso deutlicher heben sich RESINIT und LIPTODETRINIT heraus.
- Fig. 4 wie Taf. 3, Fig. 4; Fluoreszenz  
Die "STARK FLUORESZIERENDE GRUNDMASSE" zeigt eine deutliche, diffuse Fluoreszenz. Im Bildausschnitt wird eine, bei Hellfeld-Beleuchtung nicht erkennbare, Anreicherung von liptinitischen Einlagerungen sichtbar.

TAFEL 4



BRAUNKOHLEBESTANDTEILE, DIE SICH UNTER ANAEROBEN BEDINGUNGEN GEBILDET HABEN

Fig. 1 Durch Vergelung homogener Geweberest (ULMINIT). Lediglich die deutlich stärker reflektierenden Zellsekrete (CORPOHUMINIT) heben sich heraus (vergeltes Schilfrhizom ?). (Viehhausener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)

Fig. 2 In den Ablagerungen von Moortümpeln bildet sich zum Teil eine extreme Feinschichtung aus. Sie wird im Bildausschnitt durch die dunklen Kuticulen sichtbar. Das Mesophyll der Blattquerschnitte ist vergelt (ULMINIT); die Porenräume im Mesophyll sind durch RESINIT (dunkle Flecken) gefüllt. (Viehhausener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)

Fig. 3 Der Gelcharakter des DENSINIT wird durch Schrumpfrisse deutlich. Am oberen Bildrand heben sich zwei Harzkörner (RESINIT) deutlich heraus. (Borkener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)

Fig. 4 Typisches Huminsäuregel (GELINIT) mit zahlreichen Schrumpfrissen. (Borkener Braunkohle, Auflicht-Hellfeld, 450x)

TAFEL 5

