

Zur Petrographie und Geochemie des höheren Westfal A von Westerholt

VON HERBERT WEGEHAUPT*

Mit 3 Tafeln in der Anlage und 3 Tafeln im Text, 11 Abbildungen und 20 Tabellen

Zusammenfassung: Beim Abteufen des Schachtes 3 Westerholt ergab sich die Möglichkeit, ein 534 m mächtiges Schichtpaket des höheren Westfal A von den Girondelle-Schichten bis Flöz Hugo nach allen Richtungen zu untersuchen. Die Schichtmächtigkeit entspricht hier etwa der des Richtschnittes der Zeche Bonifacius in Essen-Kray. Dabei sind jedoch die Bochumer Schichten bei Westerholt viel reicher an Sandsteinen. Dafür fehlen dort manche Flöze oder sind nur andeutungsweise entwickelt. Trotz des größeren Anteiles der Sandsteine haben sich in Westerholt in den mittleren Bochumer Schichten mehr brackische Einschaltungen gefunden als im Felde Bonifacius (der brackische Charakter ergibt sich im wesentlichen aus Foraminiferenfunden und höheren Bor-Gehalten).

Um eine Vergleichsbasis für geochemische Untersuchungen zu schaffen, wurden die klastischen Gesteine des Ruhrkarbons auf Grund ihres Ton/Sand-Verhältnisses in 10 Gruppen geteilt und die Kornklassierung und Mineralführung (einschließlich der Schwerminerale) im Dünnschliff ermittelt. Infolge der stärkeren inneren Austrocknung und mineralischen Auskleidung der Porenräume der tieferen Gesteinspakete nimmt das Raumgewicht nach unten zu, und zwar schneller als es sonst im Ruhrkarbon üblich ist. Auch die Inkohlung wächst in Westerholt ungewöhnlich rasch mit der Tiefe, ein Zeichen, daß das Gebirge hier in besonderem Maße aufgeheizt wurde.

Sehr eingehend wurde die Verteilung der Spurenelemente spektralanalytisch in vielen Schichten quantitativ untersucht. Der Anteil der Elemente Al, Ba, Cr, Fe, Sr, Ti und V wächst mit der Ton-Komponente der Gesteine. In organischer Substanz reichern sich an Ca, Co, Cu, Mn, Ni und Pb, während Mn abnimmt. In einigen Flözen der unteren Bochumer Schichten fällt ein relativ hoher Gehalt an Be, Mo und Sn auf. Unmittelbar unter und über den Flözen wurde eine Verarmung der Spurenelemente beobachtet. — Sehr bedeutsam war offenbar der Einfluß der Durchlüftung im Ablagerungsraum. Mn und Ti reichern sich an bei guter Durchlüftung, — Ni, Cr und V dagegen bei schlechter Durchlüftung. — Der Bor-Gehalt wächst mit dem Illit-Gehalt und — wie die Fauna zeigt — mit dem Salinitätsgrad des Sedimentes. — Die Radioaktivität steigt mit dem Ton-Gehalt der Gesteine und ist offenbar im wesentlichen durch radioaktives Kalium bedingt. Dementsprechend wurden sowohl in marinen Schiefertönen als auch in Wurzelböden erhöhte Strahlungen festgestellt.

Einleitung

Mit der Entscheidung der Bergwerksgesellschaft Hibernia Aktiengesellschaft, die Schachtanlagen Westerholt und Bergmannsglück zu einer Verbundanlage zusammenzuschließen und deren gemeinsame Förderung auf 12 000 verwertbare Tagestonnen zu steigern, ergab sich die Notwendigkeit, einen neuen Schacht, den Schacht 3, niederzubringen. Der Schacht liegt in Westerholt, etwa 4 km nordwärts Gelsenkirchen-Buer (Meßtischblatt Marl Nr. 4308), im Kern des Vestischen Hauptsattels, genauer gesagt: in seinem nördlichen Westerholter Spezialsattel, der hier ein flaches Gewölbe bildet.

* Anschrift des Autors: Direktor Dr.-Ing. H. WEGEHAUPT, Hibernia AG, Hauptverwaltung, Herne.

Beim Abteufen des Schachtes 3 bot sich die Gelegenheit, die Schichten des Westfal A von Flöz Albert 1 bis zum Niveau von Flöz Girondelle 6 $\frac{1}{2}$, d. h. ein Schichtenpaket von immerhin 533 m Mächtigkeit, genauestens zu untersuchen, und zwar nicht nur stratigraphisch, sondern auch petrographisch-geochemisch. In der Regel wurde mindestens alle 50 cm eine Probe genommen. Traten jedoch Änderungen im Gestein auf oder erschien es aus besonderem Grunde wünschenswert, z. B. im Hangenden und Liegenden mancher Flöze, so wurden die Proben in engerem Abstand genommen (10—20 cm). In Flözen ergab sich in den meisten Fällen eine Trennung nach Bänken oder Bergemitteln. Wo diese nicht vorhanden waren, wurden Schlitzproben für je 30 cm genommen.

Die Untersuchung der Proben wurde stetig gefördert durch die Herren Professor Dr. A. PILGER und Professor Dr. H. BORCHERT von der Bergakademie Clausthal, denen ich zu ganz besonderem Dank verpflichtet bin. Bei der Durchführung der Untersuchungen unterstützten mich in dankenswerter Weise die Herren Dr. HESSLING und WIEHR vom Laboratorium der Ruhrkohlenberatung Essen, die Herren Dr. FIEBIG, Dr. SCHÖNE-WARNEFELD und Dr. KNEUPER (jetzt Saarbergwerke) von der Geologischen Abteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum, die Herren Dr. ERNST, Dr. STADLER und Dr. WERNER vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen in Krefeld, sowie Herr Dr. ADLER vom Institut für Geologie und Paläontologie der Bergakademie Clausthal. Mein Dank gilt nicht zuletzt auch meinen Mitarbeitern von der Markscheiderei und dem Grubenbetrieb der Schachtanlage Westerholt.

A. Vergleich des Karbon-Profiles von Westerholt mit den Richtschichtenschnitten der Zechen Prinz Regent und Bonifacius

Im stratigraphischen Profil des Schachtes 3 (Taf. 1 in der Anlage) sind die Flöze mit denen der neuen Richtschichtenschnitte parallelisiert, die FIEBIG (1954, 1957) auf den Zechen Prinz Regent in Bochum (Wittener Schichten) und Bonifacius in Essen-Kray (Bochumer Schichten) aufgenommen hat. Diese Schichtenschnitte sind angeschlossen an die von OBERSTE-BRINK & BÄRTLING (1930) auf den gleichen Zechen (in heute nicht mehr zugänglichen Aufschlüssen) aufgestellten Normalprofile, die für die einheitliche Flözbenennung maßgebend sind. Flöz Plaßhofsbank wurde in Taf. 1 als Vergleichsbasis gewählt.

Auf der Tafel 1 sind dargestellt: In der jeweils linken Profilsäule die Richtschichtenschnitte nach FIEBIG (1954, 1957), und zwar für die Bochumer Schichten auf Zeche Bonifacius und für die Wittener Schichten auf Zeche Prinz Regent; in der jeweils rechten Profilsäule der Schichtenschnitt des Schachtes Westerholt 3.

Unter Flöz Plaßhofsbank wurden noch 56 m Obere Wittener Schichten durchörtet bis zu einem Niveau, das möglicherweise der Lage von Flöz Girondelle entspricht. Aus technischen Gründen konnten die untersten 30 m des Schachtes nicht mit gleicher Sorgfalt untersucht werden wie die höheren Schichten. Das Niveau von Flöz Girondelle 8 scheint durch Kohlenstreifen in einem sandigen Schiefertone angedeutet zu sein. Reste von Flöz Girondelle 9 könnten sich in einem 5 m mächtigen Sandstein finden, der mit Kohlenadern und -schmitzen durchsetzt ist. Unmittelbar darüber wurde ein etwa 1 m mächtiger konglomeratischer Sandstein angetroffen. Er unterscheidet sich von dem eigentlichen Plaßhofsbank-Konglomerat durch eine feinere Körnung der Gerölle und eine etwas mehr ausgeprägte Bankung. Er geht zum Hangenden in einen mittelkörnigen Sandstein über, der bis zum Liegenden des Flözes Plaßhofsbank anhält. Ein 1,5 m mächtiger Sprung war im Bereich des Sandsteins bis zu 30 cm Breite mit vererzten Brekzien (Zinkblende und Markasit) ausgefüllt, während er sich im Schiefertone im Niveau des Flözes Girondelle 8 nur in einem 1 cm breiten, lettigen Salband andeutet.

Die Unteren Bochumer Schichten sind im Schacht 3 Westerholt 259 m mächtig, also nur 9 m mächtiger als in der Zeche Bonifacius. Diese geringfügige Mächtigkeitszunahme ist fast ausschließlich durch die größere Mächtigkeit des Plaßhofsbank-Konglomerates in Westerholt bedingt. Im Hangenden von Flöz Plaßhofsbank wurden Augenschiefer festgestellt in einem schwach sandigen Schiefer-ton dicht über dem Flöz. In denselben schwach sandigen Schiefer-tonen findet sich 18 m höher eine weitere Augenschieferlage. Diese Beobachtung deckt sich mit denen von JESSEN (1949), der die Augenschiefer-Folge über Flöz Plaßhofsbank bei Bochum beschrieb.

An der Basis der Schöttelchen-Gruppe liegt das 18 m mächtige Plaßhofs-bank-Konglomerat. Es ist 6—8 m mächtiger als im Richtschichtenschnitt und auf-fallend grobkörnig. Aus einer Kluft des Konglomerates flossen etwa 500 l Wasser in der Minute ab. Über dem Konglomerat folgen etwa 23 m mächtige, harte Sand-Steine mit steil einfallenden bis 1 cm breiten Klüften, die größtenteils mit Blei-glanz und Pyrit gefüllt waren. Von der Schöttelchen-Gruppe wurden keine Flöze, sondern nur Kohlenstreifen, Kohlennester und mehrere Wurzelböden von unter-schiedlicher Mächtigkeit angetroffen. Im Gegensatz zum Richtschichtenschnitt ist die Schöttelchen-Gruppe auf Westerholt sehr fossilarm.

Im Liegenden von Flöz Sonnenschein tritt in einer etwa 10 m mächtigen Sandsteinbank ein Kohlenstreifen auf, der mit dem 34 cm mächtigen Kohleneisen-stein-Flöz von Prinz Regent parallelisiert werden könnte. Die Klüfte des Sand-Steins sind zum großen Teil mit Bleiglanz und Pyrit ausgefüllt. Flöz Sonnenschein besteht aus 0,85 m reiner Kohle.

Flöz Wasserfall hat eine Gesamtmächtigkeit von 2,02 m einschließlich zwei Bergepacken. Sehr weicher Schiefer-ton befindet sich im unmittelbaren Hangenden des Flözes, der nach 4 m in sandigen Schiefer-ton übergeht. Dann folgt ein etwa 11 m mächtiger fein- bis mittelkörniger Sandstein, in dem Driftholzlagen, Kohlen-schmitzen und ein Pflanzenhorizont auftreten. Auch hier sind die gut ausgeprägten Klüfte teilweise mit Bleiglanz ausgefüllt. Der von A. BRUNE (1927) zuerst beschrie-bene *Lingula*-Horizont im Hangenden des Flözes Wasserfall liegt auf der Schacht-anlage Westerholt 17 m oberhalb des Flözes. In den etwa 3 m mächtigen, sand-freien Schiefer-tonen wurden gefunden:

- Anthraconauta* sp. (selten)
- Jonesina* sp.
- Planolites ophthalmoides* JESSEN
(„Augenschiefer“) (häufig)
- Sphenopteris obtusiloba* BRONGN.
- Alethopteris lonchitica* (SCHLOTH). UNG.

Dieser Schiefer-ton wurde offenbar in einem schwach brackischen Milieu ab-gelagert.

Flöz Dünnebank liegt etwa 34 m über Flöz Wasserfall statt 20 m wie in der Zeche Prinz Regent. Das ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß sich in Wester-holt eine 11 m mächtige Sandsteinbank einschiebt. So wie im Richtschichtenschnitt wurde auch hier im Hangenden von Flöz Dünnebank Augenschiefer festgestellt. Die etwa 7 m mächtige, feinkörnige Sandsteinschicht darüber ist sehr reich an Muskovit. Die beiden Dickebank-Flöze werden in Westerholt nicht durch einen mächtigen Sandstein getrennt.

Die Schichtenfolge von Flöz Dickebank bis Flöz Präsident ist in We-sterholt 69 m, im Richtschichtenschnitt 68 m mächtig. Die unteren 45 m dieser Schichtfolge bestehen fast ausschließlich aus sehr harten, feinkörnigen bis mittel-körnigen Sandsteinen, die nur zwei Schiefer-tonmittel bis zu 1 m Mächtigkeit ent-

halten. Dicht über dem Flöz Dickebank fanden sich zahlreiche Toneisenstein-Gerölle. Der Sandstein liegt im Gegensatz zum Richtschichtenschnitt unmittelbar auf dem Flöz. Im Grubenfeld Westerholt zeichnet sich Flöz Dickebank durch viele große Auswaschungen aus. Das erste im Sandstein eingeschobene Schiefertonnittel (11 m über dem Flöz Dickebank) dürfte mit dem 9 cm mächtigen Kohlenstreifen des Richtschichtenschnittes identisch sein. Die zweite, mildere Schicht liegt 34 m über Flöz Dickebank. Sie entspricht vielleicht dem Niveau des Flözes Angelika. Die Flöze Karoline und Luise fehlen. Flöz Helene ist nur 13 cm mächtig. Das Hangende dieses Flözes führt Foraminiferen.

Die Gesamtmächtigkeit der Mittleren Bochumer Schichten von Flöz Präsident bis zum Flöz Ernestine beträgt etwa 95 m und stimmt mit der im Richtschichtenschnitt angegebenen Mächtigkeit genau überein. Die unteren 68 m sind in Westerholt stark sandig. Erst von Flöz Röttgersbank an werden die Schichten toniger.

Das unmittelbare Hangende von Flöz Präsident besteht aus 2 m schwach sandigem Schiefertonnittel mit Foraminiferen. Diese und die relativ hohen Bor-Gehalte lassen auf eine marine Beeinflussung schließen. Zwischen den Flözen Präsident und Wilhelm der Einheitsbezeichnung herrschen Sandsteine vor. In einem der Schiefertonnittel liegt Flöz Johann 2 (nur 6 cm Kohle), die beiden anderen entsprechen wohl dem Flöz Johann 1 und einem unbenannten Flöz des Richtschichtenschnittes.

Das 131 cm mächtige Flöz Wilhelm führt die Zechenbezeichnung Johann. Eine Tonsteinlage wurde im Schacht 3 nicht gefunden. Das Hangende besteht aus sehr weichem Schiefertonnittel mit *Planolites ophthalmoides*.

Während im Richtschichtenschnitt der Sandstein vom Hangenden des Flözes Wilhelm bis zum Wurzelboden Flöz Röttgersbank anhält, folgt in Westerholt zunächst etwa 10 m mächtiger Sandstein. Auch im Hangenden von Flöz Röttgersbank treten Foraminiferen auf. Etwa 10 m über Flöz Röttgersbank beginnt die Ernestine-Flözgruppe, die sich im Gegensatz zum Richtschichtenschnitt, in dem Flöz Ernestine nur ein Flöz bildet, über 15 m Mächtigkeit erstreckt. Im Hangenden des unteren Flözes stellen sich abermals Augenschiefer und Foraminiferen ein.

Der Abschnitt von den Flözen Ida (Zechenbezeichnung Röttgersbank 1) bis Karl 1 (Zechenbezeichnung Karl) zeichnet sich durch einige Floren führende Schichten aus. Das Mittel zwischen den Flözen Karl 2 und Karl 1 der Einheitsbezeichnung ist auf Westerholt 10 m mächtiger als im Richtschichtenschnitt. Flöz Karl 1 ist in mehrere Bänke gegliedert, von denen die oberste Bank bauwürdig und im Bereich des Schachtes 3 bereits abgebaut worden ist. Deshalb wurde das Flöz Karl in einer dem Schacht naheliegenden Abteilung untersucht.

Der nun folgende 70 m mächtige Abschnitt besteht vorwiegend aus Schiefertonnittel. Im Hangenden von Flöz Wellington (Einheitsbezeichnung) wurden neben vielen Pflanzenresten Foraminiferen und Ostracoden der *Carbonita*-Gruppe festgestellt. Auch im Hangenden des Flözes Albert 2 wurden Foraminiferen gefunden. Im Liegenden und Hangenden des Flözes Albert 1 treten Augenschiefer auf. Diese vier Schiefertonnittel-Lagen sind wieder brackisch bzw. marin beeinflusst, wie die höheren Bor-Gehalte bestätigen.

Ergebnis

Der größte Teil der von FIEBIG genannten Leithorizonte im oberen Westfal A des Richtschichtenschnittes der Zeche Bonifacius wurde im Schacht Westerholt 3 wiedergefunden. Während aber in der Zeche Bonifacius zwischen den Flözen Albert 1 und Plaßhofsbank rund 155 m Sandstein und Konglomerat liegen, sind es in Westerholt 192 m! Dafür fehlen hier manche Flöze oder sind nur andeutungs-

weise entwickelt. Das gilt besonders für die Flöze Röttgersbank, Johann 1 und 2, Luise, Karoline und Angelika.

Bemerkenswert in Westerholt sind ferner die vielen Foraminiferenfunde, die im Schacht 3 über den Flözen Albert 2, Wellington, Ernestine, Röttgersbank, Präsident und Helene gemacht wurden. Da in diesen Lagen auch *Planolites ophthalmoides* und höhere Bor-Gehalte angetroffen wurden, sind die Mittleren Bochumer Schichten bei Westerholt offenbar wesentlich stärker marin beeinflusst als im Felde Bonifacius.

B. Zur petrographischen Signatur der Gesteine

1. Zur makroskopischen Signatur

Für geochemische Schlußfolgerungen ist eine genaue Bezeichnung der Gesteine Voraussetzung. Auch in der Praxis ist es oft notwendig, das anstehende Gestein über die im Ruhrgebiet übliche bergmännische Gliederung „Sandstein“ — „Sandschiefer“ — „Schiefer-ton“ hinaus makroskopisch schnell und dem Bergmann verständlich zu bezeichnen. Es wurde daher nach einem Einteilungsprinzip gesucht, das auf die bisherige Gliederung gewisse Rücksicht nahm. Als Grundlage dazu erschien die im Siegerland von R. THIENHAUS entworfene und von G. BAUER & W. FENCHEL (1954) und R. ADLER (1957) weiter entwickelte Signatur zweckmäßig. Sie wurde von mir in Zusammenarbeit mit R. ADLER auf die Verhältnisse des Ruhrkarbons abgestellt. Die petrographische Signatur berücksichtigt nicht nur das Sand/Ton-Verhältnis, sondern erlaubt auch Angaben über die Verteilung der Komponenten innerhalb des Gesteinsverbandes. Der Sand-Anteil wird durch die vorangestellte Kennziffer ausgedrückt, und zwar von 1—9, wobei die niedrigste Ziffer den geringsten Sand-Anteil angibt. Ziffer 10 wurde für Konglomerate und Quarzite vorbehalten (s. Abb. 1).

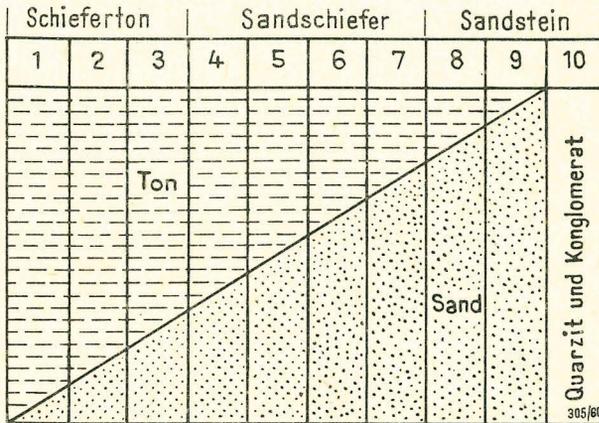


Abb. 1. Einteilung der Gesteine nach dem Ton/Sand-Anteil

Die Art der Sandverteilung wird durch Buchstaben angedeutet, wobei b Bänderung, bf Bandfaserung, f Faserung und k knollige Ausbildung bezeichnen. Eine weitere Kennziffer gibt die Stärke der betreffenden Sandlage an:

- 1 < 2 mm Dicke
- 2 2—10 mm Dicke
- 3 10—50 mm Dicke

„6 b₂“ bedeutet also, daß in dem gebänderten „Sandschiefer“ Sandlagen mit einer Dicke von 2—10 mm vorherrschen. Besonders mächtige Sandstein-Bänke wurden durch ein B gekennzeichnet.

Schließlich wurde die K ö r n u n g der Sandsteine berücksichtigt:

Korngröße	
K ₁	0,2 mm (Feinsand)
K ₂	0,2—1,0 mm (Mittelsand)
K ₃	1,0—2,0 mm (Grobsand)
K ₄	2,0—5,0 mm (Feinkonglomerat oder Feinkies)
K ₅	> 5,00 mm (Konglomerat, Mittel- und Grobkies)

2. Die mikroskopische Untersuchung

An Hand von 203 Dünnschliffen und 64 Schwermineral-Trennungen wurden die Gesteine unter dem Mikroskop auf Zusammensetzung und Gefüge untersucht. Das geschah in enger Zusammenarbeit mit Herrn Dr. SCHÖNE-WARNEFELD im Laboratorium der Geologischen Abteilung der Westfälischen Berggewerkschaftskasse Bochum.

Die Sandsteine sind sehr eintönig zusammengesetzt. Hauptgemengteile sind Quarz, Feldspäte, Glimmer und Karbonate. Daneben finden sich fast immer Kaolinit, Chlorit, Bruchstücke älterer Gesteine, kohlige und opake Substanz. Hornblende ist selten. Schwerminerale sind nur von ganz untergeordneter Bedeutung. Tabelle 1 zeigt die Anteile an Quarz, Plagioklas, Karbonat und Sonstigem in einigen charakteristischen Sandsteinen.

Tabelle 1

Gesteinsbestandteile in Volumenanteilen von Sandsteinen Schacht 3 Westerholt

Teufe m	Quarz Vol. %	Plagioklas Vol. %	Karbonat Vol. %	Grundmasse und Sonstiges Vol. %
462,0*	56,5	3,5	15,8	24,2
515,0	68,3	9,9	2,9	18,9
516,0	31,7	7,1	22,4	38,8
517,0	62,9	10,6	1,6	24,9
518,0	53,2	13,7	2,7	30,4
519,0	61,2	10,8	6,2	21,8
521,0	64,4	13,4	2,5	19,7
522,0	66,3	13,9	1,8	18,0
523,0	76,9	8,3	0,9	13,9
523,5	58,8	12,7	9,3	19,2
584,0	63,0	10,8	2,2	24,0
586,0	61,0	14,0	5,8	19,2
588,5	67,4	10,3	5,2	17,1
592,0	67,9	10,0	4,9	17,2
Mittel	61,4	10,6	6,0	22,0

* Sandschiefer

Gegenüber den von KNEUPER (1957) genannten Werten ist der Quarz-Gehalt annähernd 10 % niedriger und der Feldspat-Gehalt 2—4 % höher. Überraschend groß erscheint der Karbonat-Gehalt. Der hohe Durchschnittswert ist jedoch größtenteils auf den Extremwert der Probe 516,0 m zurückzuführen (bei dieser Probe fiel schon makroskopisch ein hoher Karbonat- und Glimmer-Gehalt auf). Eliminiert man diesen Wert, so ergibt sich für die Sandsteine ein Durchschnitts-Gehalt an

Karbonat von 4,75 %. Demgegenüber weist Sandschiefer einen mittleren Karbonat-Gehalt von 9,4 % und Schiefertone einen solchen von 20,2 % auf. Innerhalb der Gesteins-Arten schwanken die Werte natürlich beträchtlich.

Quarz überwiegt bei weitem. Er ist meist \pm eckig, selten gut gerundet und zeigt in der Regel undulöse Auslöschung. Benachbarte Körner sind meist infolge des postsedimentären Weiterwachsens der Körner \pm eng verzahnt. Der neugebildete Saum ist im Gegensatz zum Kern frei von Einschlüssen. Einschlüsse z. B. von Apatit sind häufig.

Feldspat kommt in den verschiedensten Umwandlungsstadien vor. In der Vertikalen schwankt sein Mengen-Anteil schon auf kurzem Abstand stark. Saure Plagioklase ($Ab_{90}An_{10}$ bis $Ab_{45}An_{55}$) herrschen vor. Frische, unzersetzte Körner sind neben \pm zersetzten anzutreffen. Das Vorherrschen von Oligoklas und Andesin schließt nicht aus, daß auch An-reiche Feldspäte ursprünglich vorhanden waren, aber — weil leichter zersetzbar — umgewandelt wurden. Nicht selten werden schriftgranitische Verwachsungen von Plagioklas und Quarz gefunden. Diese Körner sind wohl auf ein \pm saures Tiefen-Gestein zurückzuführen. Offenbar stammte der Detritus z. T. von sauren bis intermediären Plutoniten (vgl. KNEUPER 1957). Orthoklas tritt gegenüber Plagioklas selten auf, — ist jedoch in fast allen Dünnschliffen festzustellen. Er ist meist stark zersetzt und befindet sich in den verschiedensten Umwandlungsstadien zu Kaolinit und Serizit. Mikroklin wurde gelegentlich gefunden. Im allgemeinen ist er weniger stark verwittert als Orthoklas. Sein Auftreten deutet gleichfalls auf ein saures, granitisches Mutter-Gestein.

Glimmer und Tonminerale sind mit stark schwankendem Mengen-Anteil vertreten. Bei den größeren Glimmerschüppchen handelt es sich meist um Muskovit. Biotit ist seltener und \pm entfärbt. Die feinschuppigen Serizit- und Illit-Aggregate sind zum Teil aus der Zersetzung von Feldspäten und tonreichen Mineralien hervorgegangen. Das gleiche gilt vom Kaolinit.

Chlorit tritt nur untergeordnet auf. Er ist teilweise aus umgewandelten Glimmern entstanden. Infolge seiner Eisen-Armut ist er meist nur schwach grün gefärbt.

Bei den Karbonaten handelt es sich zum größten Teil um mehr oder weniger eisenhaltigen Dolomit und Siderit. Sie sind im Einzelfall schwer zu unterscheiden. Es muß dahingestellt bleiben, wie weit sie syngenetisch entstanden sind und in wie weit sie aus zersetzten Feldspäten hervorgingen.

Die Schwermineral-Führung (Tab. 2) ist recht eintönig. Turmalin, Zirkon, Apatit, Rutil und opake Minerale (Pyrit, Magnetit) überwiegen durchaus. Daneben treten untergeordnet und nur gelegentlich Titanit, Epidot, Anatas und Topas auf (zu beachten ist, daß aus feinen Kluffüllungen oft Baryt und Zinkblende in die Schwermineralfraktion eingehen). Das Vorherrschen von Turmalin, Zirkon, Apatit und Rutil könnte auf ein saures, magmatisches Ursprungsgestein deuten. Da diese Minerale jedoch sehr stabil gegen Verwitterung und „intrastratal solution“ sind und somit eine Auslese darstellen, muß man damit rechnen, daß auch ältere Sedimente und metamorphe Gesteine an der Schüttung beteiligt gewesen sein können. Auffällig ist, daß besonders Zirkone in schöner Kristallform, aber auch gerundet auftreten. KNEUPER hat bereits darauf hingewiesen, daß in den Ruhrkarbon-Sandsteinen die Schwerminerale niemals mehr als 1 % ausmachen. In den Dünnschliffen ist häufig eine lagenweise Anreicherung der Schwerminerale erkennbar.

Zirkon oder Turmalin überwiegen stets (vgl. Tab. 2). Aber auch Rutil erreicht gelegentlich bis zu 20 % der Gesamtmenge der Schwerminerale. Da außerdem Apatit in gewissen Horizonten stärker vertreten ist, wird man vielleicht mittels

Tabelle 2 Schwermineralanalysen von Sandsteinen (8) und Konglomeraten (10) aus Westerholt Schacht 3

Teufe m	Ge- stein	Korn- größe	Gesamt SM- Führung*	Zirkon	Rutil	Turmalin	Apatit	Opak	Sonstige SM	sekundär	Be- merkungen
490,8	8	2									
491,2	8	2	m	+	(+)	(v) +	+	+			
491,6	8	2	mst	(v) +	(+)	(v) +	+	+			
492,2	8	2	m	+	+	(v) +	(+)	+			
493,2	8	2	mst	+	+	v +	+	+			
494,5	8	2	m	(v) +	(+)	+	+	+	1 blauer Turmalin	Kar- bonat	
508,0	8	1	s	(+)		+		+	} fast nur opake } Minerale 1 Monazit 1 blauer Turmalin		
509,0	8	1	s			(+)		+			
510,0	8	1	st	+		+	v +	+			
514,0	8	2				v					
514,5	8	2				v					
515,0	8	2				v					
515,5	8	2				v					
516,0	8	2				v					
516,5	8	2				v					
517,0	8	2				v					
517,5	8	2				v					
518,0	8	2				v					
518,5	8	2									
519,0	8	2									
519,5	8	1		(v)							
520,0	8	1									
520,5	8	1				(v)					
521,0	8	1		(v)							
521,5	8	1				v			1 Cordierit?	Zink- blende	
522,0	8	1				(v)					
522,5	8	1									
523,0	8	2		(v)							
523,5	8	2									
560,0	8	1	mst	v +	+	+	+	+			
561,5	8	1	s	v +		+	+	+			
562,0	8	1	s	v +		+	+	+			
567,0	8	1	mst	v +	+	+	+	+			viel Baryt
583,5	8	1	m	v +	(+)	+	+	+			Baryt

mit HCl
behandelt

584,0	8	1	mst	(v)	(+)	+	(+)	+	Baryt	Verluste beim Trennen; Probe nicht einwandfrei fast nur opake Minerale
587,0	8	1	s	(+)	v	+	+			
589,5	8	1	m					+		
592,0	8	1	mst			v	+	+		
596,0	8	2	m	(+)		v	+	(+)	+	
600,5	8	1 — 2	mst	+		v	+	+		
604,5	8	1 — 2	m	+	(+)			(+)		
608,0	8	1 — 2	m	v	+			+		
612,0	8	1 — 2	st		+			+		
615,0	8	1 — 2	st	v	+			+		
647,0	8	1	mst	v	+		(+)	+		
651,0	8	1 — 2	st	v	+		+		+	Grüner Glimmer und 1 Epidot? etwas grünlicher Glimmer
655,0	8	1 — 2	st	v	+		(+)	+	+	} mit HCl behandelt
660,5	8	1 — 2	st	v	+		+	+	einige rötliche Hyazinthe, einige bläuliche Turmaline	
664,0	8	1 — 2	mst	v	+		+	+	einige gr. Glimmer	
668,0	8	1 + 2	mst	v	+		+	+	grüne Glimmer	
672,0	8	1 + 2	mst	v	+		+	+		
675,5	8	1 + 2	mst	v	+		+	+	sehr viel FeS ₂	
683,0	8	1 + 2	st	v	+	v	+	+	einige blaue Turmaline, etwas Rutil ~ Turmalin	
697,0	8	1	mst	v	+		+	+		
723,5	8	1	st	v	+		+	+		
819,0	8	2	st	v	+		+	+		
827,0	8	2	m		+		+	+	+	
842,5	10	1	m		+		+	v	+	sehr viel Karbonat etwas grüner Glimmer
850,0	10	1	ms		+		+	v	+	
851,5	10	1	s		+		+	v	+	mit HCl behandelt
854,3	10	1	s					v		

* v vorherrschend
 st stark
 mst mittel-stark

m mittel
 ms mittel-schwach
 s schwach

ss sehr schwach
 + vorhanden
 (+) fraglich vorhanden

Kombination dieser vier oder auch weiterer Minerale gewisse Sandstein-Horizonte korrelieren können. Im Schacht 3 Westerholt herrscht von 560—584 m Zirkon vor. Daneben finden sich auch Turmalin, Rutil und Apatit. Von 587—600,50 m überwiegt Turmalin, während Zirkon kaum, Rutil und Apatit gar nicht vertreten sind. Von 604,50—655 m ist wieder Zirkon reichlich vorhanden, während Apatit fehlt.

Um festzustellen, welchen Einfluß der Schwermineral-Gehalt auf den Chemismus einer Probe ausübt, wurden von den Proben 491,20 m, 491,60 m und 493,20 m jeweils zwei Spektralanalysen angefertigt: Zunächst wurde die Gesamtprobe analysiert, dann wurden die Schwerminerale entfernt und die Analyse wiederholt (vgl. Tab. 3). Wenn man von den durch die Fehlergrenze bedingten starken Schwankungen des Al-Gehaltes absieht, verringert sich der Anteil der Elemente Ba, Co, Cr, Mn, Ni, Sr und Ti nach Herauslösen der Schwerminerale nur um rund 0,05—0,12 Gewichtsprozent. Diese geringe Abnahme bestätigte, daß ein großer Teil der genannten Elemente offenbar an andere Minerale, z. B. Tonminerale, gebunden ist.

Das sei zur Kontrolle noch einmal am Beispiel der Probe aus der Teufe 615,0 m nachgerechnet: Bei einem Gehalt von 0,01 % (Vol.) an Schwermineralen war Rutil mit 20 % beteiligt, das heißt mit 0,002 % (Vol.) an der Gesamtprobe. Nach den Ergebnissen der Spektralanalysen ist jedoch Titan (TiO_2) mit rund 0,6 % (Gewicht) ermittelt worden. Titan muß also noch an ein anderes Mineral gebunden sein.

Tabelle 3
Gehalt an chemischen Elementen in Sandsteinen vor (1) und nach (2) Abtrennung der Schwerminerale

Probe E. B.-Nr.	Teufe 491,20 m		Teufe 491,60 m		Teufe 493,20 m	
	1 121	2 122	1 123	2 124	1 126	2 127
Al	rd. 30	rd. 20	rd. 20	rd. 30	rd. 30	rd. 30
Ba	0,026	0,024	0,028	0,024	0,034	0,017
Ca	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Co	0,021	0,018	0,019	0,018	0,021	0,014
Cr	0,0079	0,0070	0,0085	0,0072	0,0070	< 0,007
Cu	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	rd. 0,03	rd. 0,03
Fe	< 1	< 1	rd. 1	rd. 1	rd. 1	< 1
K	+	+	+	+	+	+
Mg	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Mn	0,053	0,043	0,089	0,060	0,064	0,035
Ni	0,042	0,036	0,041	0,052	0,035	0,024
Pb	< 0,03	rd. 0,03	rd. 0,03	rd. 0,03	< 0,03	< 0,03
Si	> 50	> 50	> 50	> 50	rd. 50	rd. 50
Sr	0,013	0,011	0,013	0,011	0,013	0,0074
Ti	0,22	0,16	0,22	0,20	0,22	0,17
V	< 0,01	< 0,01	> 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Gesteinsbruchstücke finden sich im Dünnschliff relativ häufig. Meist sind es gut gerundete Gerölle von Kieselschiefer, Quarzit und Phyllit sowie Schiefer-ton-Bruchstücke. Schwarzer Kieselschiefer ist nach Gangquarz der häufigste Gemengteil der Konglomerate des Ruhrkarbons.

Wie die meisten Sandsteine des Ruhrkarbons zeichnen sich auch die Sandsteine des Schachtes 3 Westerholt durch eine im allgemeinen mäßige bis schlechte Korn-

klassierung aus und stehen daher, wie auch wegen ihres relativ hohen Feldspat- und Glimmeranteils sowie der Gesteinsbruchstücke, den Grauwacken nahe (vgl. G. KNEUPER). Wegen der schlechten Kornsortierung ist es schwierig, Grundmasse und eingebettete Körner zu trennen, da alle Übergänge vorhanden sein können. Die vorherrschende Korngröße der Quarz- (und Feldspat-) Körner liegt jedoch meist zwischen 0,2 und 0,5 mm, also im Bereich des Mittelsandes. — Im Dünnschliffbereich ist das sedimentäre Anlagerungsgefüge meist nur durch die \pm ausgeprägte Einregelung der größeren Glimmer und der Kohlelagen in der Schichtung erkennbar. Korngrößenwechsel ist seltener festzustellen.

Die „Sandschiefer“ (Korngröße 0,2—0,02 mm) stellen in jeder Hinsicht Übergänge zwischen Sandsteinen und Schiefertönen dar.

Die Hauptgemengteile der Schiefertone sind Quarz, Glimmer und Karbonate. Sie betragen im allgemeinen 75—80 % der Gesamtmenge. Der Rest wird von Feldspat, Kaolinit, Chlorit, kohligter Substanz und Schwefelkies gebildet. Vier Röntgenanalysen des Geologischen Landesamtes führten zu folgendem Ergebnis (Tab. 4):

Tabelle 4
Mineralgehalte in Schiefertönen Schacht 3 Westerholt —
röntgenographisch qualitativ bestimmt

Teufe m	Quarz	Kaolinit	Muskovit	Chlorit	Siderit
411,16	v	m	st	ss	m
429,73—430,25	v	st	m	s	ss
474,60	v	st	m	—	—
475,12—475,23	v	m	m	?	—

v: vorherrschend, st: stark, m: mittel, s: schwach, ss: sehr schwach

Aus den mikroskopischen wie den röntgenologischen Untersuchungen folgt, daß mit abnehmender Korngröße des Sediments die Tonminerale auf Kosten des Quarzes zunehmen. Quarz ist jedoch, wie besonders die Röntgenanalysen zeigen und auch die Spektralanalysen bestätigen (Si-Gehalt), auch bei den schwach sandigen und sogenannten „reinen“ Schiefertönen noch in erheblichem Maße beteiligt.

Karbonat hat einen wechselnden Anteil am Aufbau der Schiefertone. Der Durchschnittsgehalt liegt mit 20,2 Vol. % beträchtlich über dem der Sandsteine. Er wurde an Dünnschliffen von 49 Proben mit Hilfe des Integrationstisches ermittelt bzw. geschätzt. Das Karbonat ist sehr feinkörnig (2—5 μ) in der Grundmasse verteilt, meist lagenweise angereichert (mm- bis cm-Lagen) oder schlierig verteilt. Auf Grund von Brechungsindex-Messungen konnte ermittelt werden, daß es sich meist um \pm eisenhaltigen Dolomit (bis Siderit) handelt, der, wie ich vermuten möchte, synsedimentär gebildet wurde. In den frühdiagenetisch entstandenen Knollen und Konkretionen liegt dagegen das Karbonat meist als Siderit vor.

Mit Ausnahme der Wurzelböden sind die Schichtsilikate in den Schiefertönen gut in die Schichtung eingeregelt (eine Schieferung ist auch mikroskopisch nicht erkennbar). Durch Wechsel der Korngröße oder der Gemengteile bzw. ihrer Anteile ergeben sich häufig Lagengefüge. Diese sind in der Regel eben, oft auch flaserig, bzw. schlierig. In den meisten Fällen sind die Lagen schon makroskopisch sichtbar.

C. Kohlenpetrographische Untersuchungen

Mit dem Ausbau der Schachanlage Westerholt zur Verbundanlage wurde auch die Möglichkeit geschaffen, mit Hilfe der neuen Aufbereitung die Flöze der Unteren Bochumer Schichten von Flöz Dickebank (einschließlich) abwärts getrennt aufzubereiten. Anlaß hierfür ist die relativ starke Inkohlung der im Südfeld der Schachanlagen Bergmannsglück und Westerholt anstehenden Kohlen. Nach dem Internationalen Klassifikations-System für Steinkohlen (DIN 23 003) gehören diese Kohlen zu den Handelsgruppen V A (Flöz Dickebank) und IV (Flöze Wasserfall, Sonnenschein und Plaßhofsbank). Sie besitzen bei einem Gehalt von 15—19% Flüchtigen Bestandteilen ein starkes bis mittelmäßiges Backvermögen und schwaches bis sehr schwaches Kokungsvermögen. Diese gutbackende Feinkohle ist als Magerungskohle für die Verkokung hochflüchtiger Kohlen anderer Reviere absatzmäßig von Bedeutung. Darum wurden von den Kohlen der unteren Bochumer Schichten beim Schacht-Abteufen Proben genommen und analysiert. Anschließend wurden diese Analysen auch für die übrigen durchteuften Flöze durchgeführt (vgl. Tab. 5)¹.

Ein Vergleich der Flüchtigen Bestandteile in der „Reinkohle“ (Gut $< 1,45$) und in den Vitrit-Konzentraten zeigt, daß diese in den Vitrit-Konzentraten durchschnittlich um rund 0,6% höher liegen als in der „Reinkohle“. Damit ist die allgemein festgestellte Gesetzmäßigkeit auch hier bestätigt, nach der bei stark inkohlten Fettkohlen und Eßkohlen der Vitrit mehr Flüchtige Bestandteile enthält als die übrigen Streifenarten, die z. T. mit in die Aufbereitungs-Fraktion $< 1,45$ eingehen.

Um zu prüfen, ob die HILT'sche Regel auch für die Kohle des Schachtes 3 Westerholt zutrifft, werden die Flüchtigen Bestandteile der angefahrenen Flöze in Abhängigkeit von der Teufe in Abb. 2 dargestellt.

Aus Abb. 2 geht hervor, daß mit Zunahme der Teufe eine Abnahme des Anteils an Flüchtigen Bestandteilen erfolgt. Berücksichtigt man die Mittel-Linie, die die durchschnittliche Inkohlungs-Zunahme mit der Tiefe repräsentiert, so ergibt sich zwischen 350 und 900 m Teufe eine Abnahme der Flüchtigen Bestandteile von 26% auf 14%, d. h. auf 550 m Teufen-Differenz eine Abnahme von 12% Flüchtigen Bestandteilen. Pro 100 m Teufe bedeutet das eine Abnahme von 2,2% Flüchtigen Bestandteilen. Diese Inkohlungs-Zunahme ist größer als die von PATTEISKY & M. TEICHMÜLLER (1960) auf Grund von zahlreichen Vitritanalysen verschiedener Ruhrkohlen errechnete, nach denen der Inkohlungsgradient bei den Fett- und Eßkohlen nur 1,9% Flüchtige Bestandteile pro 100 m Teufe beträgt. — Die ungewöhnlich rasche Zunahme der Inkohlung mit der Tiefe in der Zeche Westerholt wird begleitet von einer aus dem Rahmen fallenden Zunahme der Raumgewichte und einer Abnahme des Porenvolumens der Sandsteine, wie später noch ausgeführt wird. Diese Erscheinungen sprechen für die Vermutung von R. & M. TEICHMÜLLER (1949) und A. PILGER (1956), wonach eine magmatische Aufheizung des Gebirges hier zu einer stärkeren Metamorphose geführt hat.

Wie aus Tab. 5 hervorgeht, schwankt der Schwefelgehalt von Flöz zu Flöz. Eine Abhängigkeit von der Teufe oder dem Inkohlungsgrad ist nicht festzustellen. Aus der Gegenüberstellung des Schwefel-Gehaltes der „Reinkohle“ ($< 1,45$) und der Gesamtschlitzprobe zeigt sich weiterhin, daß das Gut leichter als $s = 1,45$ stets schwefelärmer ist als die Rohkohle. Im Gut $< 1,45$ der bauwürdigen Flöze liegt der

¹ An Hand dieser Unterlagen wurde ein Abbauplan aufgestellt, der Grundlage für eine langfristige Versorgung der eigenen Zentralkokerei mit gleichmäßig guter Kokskohle sein soll.

Tabelle 5

Analyseergebnisse von Kohlen aus Schacht 3 Westerholt

Teufe	Flöz	Mächtigkeit	Fl. Bestandteile		Gesamt-Schwefelgehalt		Asche (wf.)			Reinkohle (Gut < 1,45)			Einteilung nach Internationaler Steinkohlen-Klassifikation	
			Reinkohle (Gut < 1,45) (waf.)	Vitrit-Konzentr. (waf.)	Reinkohle (Gut < 1,45) (wf.)	Gesamt-Schlitzprobe (wf.)	Reinkohle (Gut < 1,45)	Gesamt-Schlitzprobe	Vitrit-Konzentr.	Blähgrad	Kontraktion	Dilatation	Code-Nr.	Statist. Gruppe
m		cm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
412,53	Albert 1	41	24,8	24,1	2,08	4,96	18,8	24,8	10,4	9,0	30,5	67,5	434	V B
423,65	Albert 2	63	23,5	—	2,01	3,04	5,9	10,0	—	9,0	32,0	104,5	434	V B
425,82	Albert 3	38	22,8	23,8	2,72	3,68	12,3	44,1	11,7	8,5	30,0	21,0	433	V B
426,38	Albert 3 Ubk.	51	21,3	22,0	1,54	2,62	5,9	8,9	5,6	8,5	34,0	26,0	433	V B
443,81	Wellington 1	98	22,8	24,5	1,44	3,26	2,9	10,0	3,7	9,0	31,0	98,0	434	V B
445,94	Wellington 1 Ubk.	24	22,1	23,3	2,77	3,20	7,4	31,0	5,0	8,5	28,0	19,5	433	V B
475,06	Karl 1 Ubk.	130	20,7	22,3	1,09	1,85	4,2	47,4	2,2	9,0	16,5	36,0	433	V B
482,00	Karl 2	25	23,0	—	0,99	2,08	6,5	23,8	—	9,0	32,5	80,0	434	V B
498,12	Blücher 1	50	23,3	22,5	1,09	2,46	13,0	24,5	2,6	9,0	36,5	14,5	433	V B
499,00	Blücher 1 Ubk.	20	21,9	22,8	2,82	3,84	13,2	45,1	8,7	9,0	37,5	16,5	433	V B
501,84	Blücher 2	45	21,8	21,9	2,62	3,94	6,7	10,0	2,6	9,0	26,0	39,5	433	V B
512,88	Ida	27	23,3	23,7	1,92	3,20	7,7	44,4	7,9	9,0	31,5	130,5	434	V B
536,99	Ernestine	48	19,1	20,6	0,80	1,60	6,5	31,4	8,8	6,0	31,0	keine Expansion	331	—
538,30	Ernestine Ubk.	20	19,3	19,4	0,85	1,44	4,0	8,1	2,9	8,0	33,0	"	331	—
577,01	Wilhelm	99	20,4	20,5	1,12	2,56	2,1	9,8	1,2	9,0	33,5	24,0	433	V B
578,41	Wilhelm Ubk.	32	20,8	20,9	1,34	3,74	3,3	12,0	3,0	8,5	23,0	—12,0	432	V B
618,03	Präsident	63	18,1	20,0	0,89	1,05	1,0	1,4	1,4	8,0	30,5	28,5	333	V A
692,70	Dickebank 2	58	17,6	—	1,12	1,60	5,3	30,2	—	9,0	29,5	17,5	333	V A
736,22	Wasserfall	130	16,6	—	1,12	1,60	5,0	8,5	—	6,5	30,0	—28,0	332b	V A
747,05	Sonnenschein	85	15,3	—	0,80	1,28	2,1	5,0	—	3,5	17,5	keine Expansion	321	I V
877,50	Pläßhofsbank	107	15,9	—	3,04	3,04	6,6	31,6	—	8,0	30,0	—27,5	332b	V A

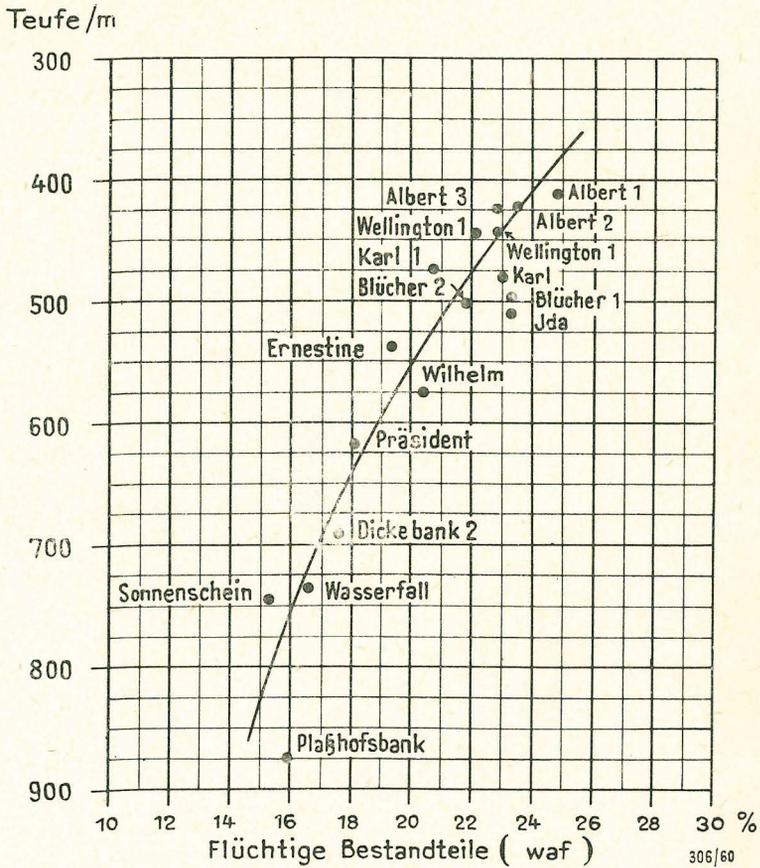


Abb. 2. Abnahme der Flüchtigen Bestandteile der „Reinkohle“ ($< 1,45$) mit der Teufe in Schacht 3 Westerholt

Schwefel-Gehalt so niedrig, daß die technische Verwendung der Kohle nicht beeinträchtigt wird. Auffällig ist der hohe Schwefel-Gehalt der „Reinkohle“ in Flöz Plafshofsbank mit 3,04%. Diese Anreicherung könnte zum Teil auf die bereits erwähnte vererzte Kluft zurückgeführt werden. Um diese Vermutung zu überprüfen, wurde im westlichen Schachtumtrieb des Schachtes 3 der 840-m-Sohle in 340 m Entfernung vom Schacht 3, also aus gleicher Höhenlage, eine Kontrollprobe analysiert. Als Ergebnis wurden 2,62% Schwefel in der „Reinkohle“ ermittelt. Danach ist der Einfluß der vererzten Kluft also geringer als zunächst anzunehmen war. Vielleicht spielt die marine Beeinflussung des Flözes Plafshofsbank auch eine Rolle für die Schwefel-Anreicherung. M. TEICHMÜLLER hat 1954 auf den Schwefel-Reichtum marin-beeinflußter Kohlen hingewiesen und neben eigenen Untersuchungen die Untersuchungs-Ergebnisse von DAUB angeführt. Da nach den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen auch die Albert-Flöze, Flöz Wellington 1 und Flöz Wilhelm bei Westerholt als brackisch beeinflusst anzusehen sind, müßte auch in diesen Flözen eine Schwefel-Anreicherung festzustellen sein. Das ist in der Tat der Fall. Die Schwefel-Anreicherungen der Flöze Blücher 1 Unterbank (499 m) und Blücher 2 (501,84 m) können allerdings auf diese Weise nicht gedeutet werden.

Die für die Beurteilung der Bauwürdigkeit der Flöze erforderlichen Feststellungen des Asche-Gehaltes erbrachten ähnliche Werte, wie sie aus den aufgeschlossenen Baufeldern der Schachanlage bekannt sind. Wie aus Abb. 8 ersichtlich, bilden Aluminium, Calcium, Eisen und Silicium die Hauptbestandteile der Asche. Der verhältnismäßig hohe Aschegehalt von 6,6% im Gut < 1,45 des Flözes Plaßhofsbank ist ohne Zweifel auf die Vererzung der Kluft zurückzuführen, was sich auch im Anteil von 1% Blei und 0,3% Zink an der Gesamtasche ausdrückt.

Die außergewöhnlich hohe Inkohlung im Raum von Westerholt wirkt sich bei den Verkokungs-Eigenschaften aus. Vom Flöz Präsident einschließlich bis Flöz Plaßhofsbank besitzen die Kohlen trotz ihres relativ geringen Alters Eßkohlencharakter. Die Kohlen der höheren Flöze gehören zu den Handelsgruppen V A und V B der Internationalen Klassifikation, — sind also stark backend und mittelmäßig und gut kokend (vgl. Tab. 5). Kohlen der Gruppe V B sind zur Verkokung besonders gut geeignet. Sie verfügen über ein ausgezeichnetes Back- und über ein mittelmäßiges bis gutes Kokungsvermögen. Kohlen dieser Gruppe besitzen in der Regel keinen gefährlichen Treibdruck. Bei den nach VA und IV eingestufteten Kohlen handelt es sich nicht um ausgesprochene Kokskohlen. Sie können stark treibend sein und bei alleiniger Verkokung schweren Ofengang verursachen. In geeigneter Mischung mit Kohlen nach V B und auch V C (backende Gaskohle) bestehen gegen den Einsatz dieser Kohlen keine Bedenken, wenn sie außerdem noch weitgehend aufgemahlen werden und der Körnungsanteil unter 2 mm etwa 80—85% beträgt. — Die Kohle von Flöz Ernestine ist nach der Internationalen Klassifikation (Code-Nr. 331) nicht einzustufen. Sie steht zwischen den Gruppen VA und IV. Insgesamt sind die Kohlen der angefahrenen Flöze im hangenden Teil als ausgezeichnete Kokskohlen, im liegenden Teil als gute Magerungskohlen anzusprechen.

D. Gesteinsphysikalische Untersuchungen

R. TEICHMÜLLER hatte (1955) auf Grund einiger Proben darauf hingewiesen, daß das Raumgewicht der Sandsteine von Westerholt anscheinend auffallend groß sei und daß diese Erscheinungen zusammen mit der hohen Inkohlung durch eine stärkere thermische Metamorphose bedingt sein könnte. Um einen Beitrag zur Klärung dieser Frage zu leisten, wurde eine Reihe von Sandsteinen aus Schacht 3 auf Porenvolumen, Wassergehalt sowie spezifisches Gewicht und Raumgewicht untersucht. Die Durchführung der Dichte- und Porositäts-Bestimmungen erfolgte im Gesteinsphysikalischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Krefeld.

Wie Tabelle 6 zeigt, schwanken die Werte stark. Eine sofort sichtbare Gesetzmäßigkeit ist nicht zu erkennen. Faßt man jedoch die Ergebnisse nach der Teufe geordnet in zwei Gruppen zusammen, so ist deutlich folgende Tendenz zu erkennen: Mit zunehmender Teufe gehen das Porenvolumen von 6,3% auf 4,7% und der Wassergehalt von 0,88% auf 0,62% zurück. Dagegen steigt das Raumgewicht von 2,55 g/cm³ auf 2,59 g/cm³. Da für die vorliegende Arbeit nur eine Schichtfolge von 180 m berücksichtigt wurde, wären zur Bestätigung des Ergebnisses weitere Sandsteine des Schachtes 3 aus größeren Teufen zu untersuchen. Immerhin bekräftigen die Untersuchungen im Schacht 3 die Erfahrung, daß die tieferen Schichten eine vollständigere innere Austrocknung und eine stärkere Umwandlung der tonigen Substanzen in Richtung auf den Serizit und Illit erfahren haben (R. TEICHMÜLLER 1955). Vergleicht man die für die Sandsteine vom Schacht 3 gefundenen

Tabelle 6
Porenvolumen, Wassergehalt, spez. Gewicht und Raumgewicht
lufttrockener Karbonsandsteine aus Westerholt, Schacht 3

Teufe m	Poren- volumen ¹ %	Wasser- gehalt ² %	Spez. Gewicht g/cm ³	Raum- Gewicht g/cm ³	Körnung ³
486,50	4,2	0,65	2,71	2,61	1
489,00	4,9	0,87	2,72	2,61	1
490,00	7,6	0,96	2,73	2,55	1—2
491,00	9,0	0,91	2,69	2,47	2
492,00	8,1	0,92	2,69	2,49	2
493,00	7,4	0,85	2,68	2,50	2
495,00	6,6	0,85	2,69	2,53	2
506,50	5,5	0,97	2,70	2,57	1
507,50	3,9	1,08	2,70	2,62	1
508,50	5,8	1,08	2,73	2,60	1
515,50	6,3	0,76	2,71	2,56	2
518,00	5,7	0,85	2,69	2,56	2
518,50	6,7	0,78	2,70	2,54	2
521,00	6,3	0,79	2,70	2,55	1—2
521,50	6,5	0,83	2,70	2,55	1—2
584,50	5,4	0,62	2,68	2,55	1
585,00	5,5	0,52	2,68	2,55	1
588,00	5,1	0,61	2,67	2,55	1
590,50	5,5	0,67	2,70	2,57	1
596,00	5,2	0,59	2,68	2,55	2
596,50	5,3	0,70	2,67	2,55	2
597,00	5,4	0,69	2,69	2,56	2
602,00	6,0	0,63	2,68	2,54	1—2
604,00	6,1	0,63	2,69	2,54	1—2
645,50	3,4	0,70	2,72	2,63	1
646,50	3,6	0,66	2,71	2,63	1
647,50	3,2	0,59	2,70	2,63	1
649,00	4,0	0,59	2,72	2,63	1—2
650,00	3,3	0,50	2,72	2,65	1—2
652,00	4,9	0,61	2,71	2,59	1—2
653,50	4,0	0,61	2,71	2,62	1—2
656,00	4,3	0,56	2,71	2,61	1—2
664,50	3,8	0,68	2,71	2,63	1—2
Durchschnitt:					
a) aller Werte	5,4	0,75	2,70	2,58	
b) 486,5—521,5 m	6,3	0,88	2,70	2,55	
c) 584,5—664,5 m	4,7	0,62	2,70	2,59	

$$^1 \text{ Porenvolumen } n = \left(1 - \frac{G_t}{V \cdot s} \right) \cdot 100 \quad (\%)$$

darin sind G_t = Trockengewicht der Probe, V = Volumen der lufttrockenen Probe, s = spez. Gewicht.

$$^2 \text{ Wassergehalt } w = \left(\frac{\text{Gewicht des Wassers}}{\text{Trockengewicht der Probe}} \right) \cdot 100 \quad (\%)$$

³ K_1 = bis 0,2 mm, K_2 = 0,2—1,0 mm, K_3 = 1,0—2,0 mm.

Werte mit den von R. TEICHMÜLLER aufgeführten Angaben anderer Autoren, so ergibt sich folgendes Bild (Tab. 7):

Tabelle 7

Vergleich der Raumgewichte und des Porenvolumens von Sandsteinen des Ruhrkarbons

	Raumgewicht trocken g/cm ³				Gesamtporen- volumen %	
	Petrascheck	Hallenbach	Andrée	Schacht 3	Teichmüller	Schacht 3
Unteres Westfal B	—	—	2,501		8,8	
Oberes Westfal A	—	—	—	2,58	—	5,4
Gesamt Westfal A	> 2,50	2,52	2,546	—	6,8	

Auch das Porenvolumen der Sandsteine aus dem Westfal A des Schachtes 3 weicht erheblich von den Durchschnittswerten des Ruhrgebietes ab. Bei den petrographischen Gesteins-Untersuchungen fiel bereits der verhältnismäßig hohe Gehalt an Karbonat und Feldspat auf. Die Dünnschliffe zeigen, daß ein großer Teil des Karbonats aus der Zersetzung von Plagioklasen hervorgegangen ist und daß Zersetzung, Umwandlung und postsedimentäres Weiterwachsen der Gesteins-Gemengteile so stark sind, daß dadurch das Raumgewicht im Raum Westerholt wesentlich erhöht worden ist.

Aus Tab. 6 geht ferner hervor, daß eine kleinere Korngröße fast immer gleichbedeutend mit einem kleineren Porengehalt ist.

E. Spektralanalytische Untersuchungen

Wegen der großen Probenzahl wären naßchemische Analysen schwer durchführbar gewesen. Dagegen bot die Spektralanalyse die Möglichkeit, den größten Teil des Bestandes an Elementen auf einmal zu ermitteln. Dank der Unterstützung von Herrn Dr. RADMACHER konnten die Analysen im Spektrollaboratorium der Ruhrkohlenberatung in Essen durchgeführt werden. Insgesamt wurden 371 Proben quantitativ und 21 Proben qualitativ analysiert.

1. Qualitative Analysen

Diese waren erforderlich, um erst einmal einen Überblick über die in den einzelnen Gesteinsarten zu erwartenden chemischen Elemente zu bekommen.

Für die Analysen wurde das Probengut fein zerkleinert und mit Spektalkohlepulver und Ammoniumchlorid im Verhältnis 2:1:1 gut gemischt (nach W. RADMACHER & H. HESSLING 1958). Zur Erzielung einer hohen Nachweis-Empfindlichkeit wurde der Gleichstrom-Dauerbogen verwendet. — Die Ergebnisse der qualitativen Analysen sind in Tab. 8 zusammengestellt. Die eingetragenen Zahlen sind Maßstab für die Sichtbarkeit (Schwärzungsintensität) und Breite der Spektrallinien. Es bedeutet daher „0,1“ eine kaum sichtbare Linie und „5x“ ein kräftiges Band.

Von den qualitativ gefundenen Elementen konnten bei der quantitativen Bestimmung wegen der niedrigen Konzentration einige Elemente in Gesteinsproben nicht bestimmt werden. Es sind dies: Ag, Be, Ga, Hg, Li, Mo, Sn, Zn und Zr. In der

Tabelle 8
Ergebnisse qualitativer Spektralanalysen von Gesteinsproben aus dem Karbon
von Westerholt Schacht 3

Nummer der Probe	461	463	441	448	465	333	446 597,00	460	457	335
Teufe (m)	574,00	622,50	404,60	503,60	641,00	534,10	—	569,50	552,90	560,00
Gesteinsart	2	4	5	5	5	5	597,05 5	6	7	7/8
Si	5x	5x	5x	5x						
Al	5x	5	5x	5x	5x	5x	5	5x	5x	5x
Mg	5x	5	5x	5x	5	5x	5	5x	5x	5x
Fe	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Na	4	4	4	4	4	4	3	4,5	3	4
Ti	3	3	3	3	3	3	2,5	3	3,5	3,5
Mn	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
B	2	2	2	2	1,5	2	1,5	2	2	1,5
Cu	2	2	2	2,5	2,5	2,5	2	2,5	2	1
Co	2	2	1	2	1	1,5	1	2	1	1
Ni	2	2	1,5	2	1,5	2	1,5	2	1	1
Ga	2	2	2	2	1,5	2	1,5	2,5	1,5	1,5
V	2	2	2	2	1,5	1,5	1,5	2	1	1
Pb	1,5	1,5	1	1,5	1,5	2	1	2	1	1
Ca	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
Cr	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1
Zn	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	1	0,1	0,1
Zr	0,1	0,1	?	1	0,5	0,1	?	0,5	1	1
Be	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	?
Hg	0,1	?	0,1	0,1	?	0,1	?	0,1	0,1	0,1
Ag	0,1	?	—	0,1	?	0,1	?	0,1	—	—
Li	0,5	0,1	0,1	0,1	—	0,1	?	0,5	—	?
Sn	0,1	—	?	0,1	?	0,1	?	0,5	—	?
Mo	—	—	—	?	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Asche von Flözproben war die quantitative Analyse dieser Elemente jedoch wegen der Anreicherung nach der Veraschung bzw. wegen der Anreicherung in der Kohle mit Ausnahme von Ag, Hg, Li und Zr möglich.

Wie aus der Tab. 8 hervorgeht, waren die Elemente Ge, Sb und Mo qualitativ weder im Schiefertone noch im Sandstein nachzuweisen. Diese Beobachtung deckt sich mit der Feststellung von LEUTWEIN (1956) über die karbonischen Schiefertone von Mülsengrund, Freital, Wettin, Brachwitz. Verhältnismäßig gleichmäßig, wenn auch in geringer Konzentration, lagen Zn, Zr und Be vor; Hg trat in Spuren auf. Das Element Li ist in milderer Gesteinen häufiger als in Sandsteinen. Schwach, unsicher oder gar nicht festzustellen waren Ag und Sn. Alle übrigen qualitativ nachgewiesenen Elemente wurden quantitativ untersucht.

2. Quantitative Analysen

Für die Analysen wurde das aufbereitete Probegut unter Sauerstoffzufuhr bei $775^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ verascht. Die reinen Gesteinsproben wurden direkt verwendet. 400 mg der so vorbereiteten Substanz wurden dann mit 30 mg In_2O_3 und 1000 mg $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Natriumtetraborat, wasserfrei) zum Homogenisieren vermischt und in einem Platintiegel über dem Bunsenbrenner aufgeschlossen. Die Aufschlußschmelze wurde in einem Stahlmörser zer-

Tabelle 8: Fortsetzung

Nummer der Probe	127	128	329	337	339	342	344	346	348	350
Teufe (m)	493,20	494,50	509,00	562,00	564,00	583,50	586,00	588,50	591,50	592,50
Gesteinsart	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	5x									
Al	5x									
Mg	5x	5	5	5x						
Fe	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Na	4	4	5	4	4,5	3	4	3	4	4,5
Ti	3	2,5	3,5	3,5	3	2,5	3	3	3	3,5
Mn	3	3	4	3	3,5	3	3	3	3	3,5
B	1,5	1,5	2	1,5	2	1	1	1,5	1,5	1,5
Cu	2	1,5	2	2	2	1	1	1,5	1,5	2
Co	1	1	2	1	2	1	0,5	0,5	0,5	1
Ni	1	1	2	1	2	1	0,5	1	1	1
Ga	1,5	1,5	2,5	1,5	2	1	1,5	1,5	2	2
V	1,5	1,5	2	1,5	2	1	1	1,5	1,5	2
Pb	1	1,5	2	1,5	1,5	1	1,5	1	1	1
Ca	2	1	1	1	1	2,5	3	1	2	1
Cr	0,1	0,1	0,5	0,1	0,5	?	0,1	0,1	0,1	0,1
Zn	0,5	0,5	1	0,5	0,5	?	0,1	0,1	0,1	0,1
Zr	1	?	0,1	0,5	0,5	0,5	?	1	1	0,1
Be	0,1	0,1	0,5	0,1	0,5	?	?	0,1	?	?
Hg	0,1	?	0,5	?	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	?
Ag	—	—	0,1	?	?	—	—	—	0,1	0,1
Li	?	?	0,5	?	0,1	—	—	—	0,1	—
Sn	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	—	—	0,1	0,1	—
Mo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sb	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

kleinert und nach Zugabe der 1,5-fachen Menge Graphitpulver im Achatmörser gemischt. Aus dieser Substanz wurden unter Anwendung eines Druckes von 200 at/cm² Elektroden gepreßt.

Die Anregung erfolgte im Wechselstromabreißbogen mit einer Frequenz von 2 Bogen pro Sekunde und einer Stromstärke von 4,5 A bei 220 V. Für die spektrographische Aufnahme wurde der große Glas-Quarz-Spektrograph E 478 von Hilger, London, eingesetzt. Die Belichtung betrug 1 min (Spalt 20 Mikron).

Verwendet wurden Spektralplatten Perutz-Blau, die genau 4 min entwickelt wurden. Als Entwickler diente 30 cm³ Rodinal auf 450 cm³ Wasser bei 18° C. Zum Fixieren (4 min) wurde Agser Schnellfixiersalz verwendet.

Die Spektren wurden nach dem leitprobenfreien Verfahren von H. KAISER (1941) ausgewertet (Auswertegerät Optica Milano). Dabei wurden die Schwärzungen der Linien der gefundenen Elemente und die des zugemischten Bezugs-elementes Indium photometrisch gemessen. Aus diesen Werten wurde unter Berücksichtigung der Schwärzungskurven, die für jede Platte aufgestellt werden mußten, die Konzentration der einzelnen Elemente mit Hilfe des Respectra-Rechengerätes und der Haupteichkurven ermittelt.

Schwärzungskurven wurden in folgenden Wellenlängenbereichen aufgestellt:

4 000 Å, 3 200 Å und 2 900 Å.

Tabelle 9
Photometrierte Analysenlinien

1. Schwärzungskurve Bezugselement Indium 4101,8 Å	2. Schwärzungskurve Bezugselement Indium 3258,6 Å	3. Schwärzungskurve Bezugselement Indium 2932,6 Å
Ba 4554,0 Å	Ni 3492,9 Å	Bi 3067,716 Å
Cr 4254,3 Å	Co 3453,5 Å	Ga 2943,637 Å
Sr 4077,7 Å	Ti 3349,4 Å	
Pb 4057,8 Å	Zn 3345,0 Å	
Mn 4034,5 Å	Cu 3273,9 Å	
Si 3905,5 Å	Ge 3269,5 Å	
	V 3283,9 Å	
	Sn 3175,0 Å	
	Mo 3170,3 Å	
	Be 3131,1 Å	
	Ca 3179,3 Å	
	Fe 3099,9 Å	
	Al 3092,7 Å	

Tabelle 10
Nachweisungsgrenzen

Nachweisungsgrenze:	Ba 0,005	Be 0,01	Bi 0,01	Co 0,01	Cr 0,005	Cu 0,01	%
Fehlergrenze:	± 10	—	—	± 10	± 10	± 30	%
Nachweisungsgrenze:	Ga 0,01	Ge 0,1	Mn 0,003	Mo 0,01	Ni 0,01	Pb 0,03	%
Fehlergrenze:	—	—	± 10	—	± 10	± 25	%
Nachweisungsgrenze:	Sn 0,01	Sr 0,005	Ti 0,01	V 0,01	Zn 0,3	%	%
Fehlergrenze:	—	± 10	± 25	± 20	± 25	%	%

Für die Elemente Be, Bi, Ga, Ge, Mo, Sn konnten keine Fehlergrenzen angegeben werden, da zu wenig Zahlenmaterial vorlag. Bei allen Gehalten über 1% (Al, Ca, Fe, Si und zum Teil Ti) beträgt der Fehler über 30%. Magnesium konnte quantitativ nicht bestimmt werden, weil die Linien infolge Na-Beeinflussung zu ungünstig lagen.

3. Der Gehalt an chemischen Elementen in Abhängigkeit von der Gesteinsart

Um zu prüfen, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Gehalt an chemischen Elementen und der Gesteinsart besteht, wurden die Gesteine nach der oben geschilderten Methode eingeteilt und für jede Gesteinsart das arithmetische Mittel des Gehalts an chemischen Elementen errechnet. Dabei wurden der Vollständigkeit wegen zunächst sämtliche Analysen für die Mittelbildung herangezogen. Naturgemäß mußten die Extremwerte die Ergebnisse verzerren und das besonders bei den Gesteinsarten, bei denen nur wenige Analysen vorlagen. Dieser Nachteil wurde jedoch bewußt in Kauf genommen, um zu prüfen, ob sich nicht schon dabei eine Tendenz in Abhängigkeit von der Gesteinsart abzeichnen würde. Die Ergebnisse sind aus Abb. 3 und 4 ersichtlich.

In dieser Zusammenstellung zeichnen sich deutlich zwei Elementgruppen ab. Die Elemente Cr, Fe, Sr, Ti und V weisen eine merkliche Abnahme des Spurenelement-Gehalts mit Abnahme des Ton-Anteils auf. Auch Al und Ba können zu dieser Gruppe gerechnet werden, wenn sich die Tendenz auch nicht ganz so deutlich

Gesteine	Anzahl der Analysen	Al	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	Sr	Ti	V
		20 4	0,10 0,20	1,0 2,0	0,020 0,025	0,010 0,020	0,05 0,10	3 5 7	0,10 0,20	0,040 0,060 0,080	0,05 0,10	40 50	0,01 0,02 0,03	0,50 1,00	0,020 0,040
1	19														
2	84														
3	64														
4	16														
5	34														
6	3														
7	11														
8	73														
9	1														
10	4														29/60
Wurzelboden	30														
Asche von Kohle	40							21,6 →					0,0443 →		

Abb. 3. Durchschnitts-Gehalte der verschiedenen Gesteine an chemischen Elementen (sämtliche Ergebnisse ausgewertet)
 1 Gesteine mit geringstem Sandgehalt
 9 Gesteine mit höchstem Sandgehalt
 10 Konglomerate und Quarzite

Gestein	Ausgew. Proben	Al	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	Sr	Ti	V	Zn
		20 40	0,050 0,100	1,0 1,5	0,010 0,015 0,020	0,010 0,015 0,020	0,05 0,10	3 5 7	0,05 0,10	0,04 0,05	0,05 0,10	50 60	0,01 0,02 0,03	0,50 1,00	0,010 0,020	0,01 0,02
1	16															
2	73															
3	54															
4	14															
5	30															
6	2															
7	9															
8	63															
9	1															
10	3															30/60
Wurzelboden	25															

Abb. 4. Durchschnitts-Gehalte der verschiedenen Gesteine an chemischen Elementen (ohne Extremwerte). Erläuterung der Ziffern siehe Abb. 3

zeigt. Unabhängig vom Sand/Ton-Anteil erweisen sich dagegen die Elemente Ca, Co, Cu, Mn, Ni und Pb. In Wurzelböden sind die Elemente Co, Cr, Cu, Pb und V angereichert, während Mn in wesentlich verringerter Menge vorliegt.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes:

Der Anteil der Elemente Al, Ba, Cr, Fe, Sr, Ti und V steht in Abhängigkeit vom Ton-Anteil der Gesteine. Auf die Bindung von Cr, Ti und V an Ton-

minerale hat schon DEGENS (1959) hingewiesen und dafür Adsorptionsvorgänge als Ursache angegeben.

Der Gehalt an Spurenelementen ist in den Schiefertonen des Schachtes 3 Westerholt auffallend hoch. Zum Vergleich seien in Tabelle 11 die von LEUTWEIN (1956) genannten Gehalte für Schiefertone des Zwickauer und Oelsnitzer Reviers sowie die von DEGENS (1958) für das Ruhrgebiet angegebenen Werte den Durchschnittszahlen der Gesteine 1, 2 und 3 des Schachtes 3 gegenübergestellt.

Aus der Gegenüberstellung ergibt sich deutlich die stärkere Anreicherung an Spurenelementen in den Schiefertonen des Ruhrgebietes gegenüber denen aus dem Zwickau-Oelsnitzer Revier (nur bei Ba liegt Übereinstimmung vor). Die Werte von Westerholt liegen wieder zum Teil beträchtlich über den von DEGENS ermittelten Durchschnittsgehalten. Das gilt allgemein für Cr, Cu, Sr und besonders für Ni, Ti und V.

Mit Zunahme der organischen Substanz in den Gesteinen ist ein Anstieg des Gehaltes an Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V und vielleicht Zn verbunden. Dabei ist die Anreicherung bei Co, Ni und besonders Zn nicht so ausgeprägt wie bei den übrigen Elementen. — Keine Bindung zur organischen Substanz zeigen die Elemente Ba, Mn und Sr. Damit werden die bei der Untersuchung von Kohlenaschen gewonnenen Erkenntnisse von LEUTWEIN und OTTE (1953) bestätigt. Bei Titan scheint keine Anreicherung in organischer Substanz stattgefunden zu haben. Gegen eine Anreicherung würde auch die besonders starke Bindung dieses Elements an Tonminerale sprechen.

4. Der Gehalt an chemischen Elementen in Abhängigkeit von einzelnen Schichten

Die chemische Zusammensetzung des sedimentliefernden Muttergesteins ist natürlich dafür von besonderer Bedeutung. Deshalb wurde der Frage nachgegangen, ob sich Anreicherungen oder Verarmungen an Spurenelementen in bestimmten Schichten feststellen lassen — vielleicht, daß sich so der Einfluß unterschiedlicher Schüttungsgebiete abzeichnete (selbstverständlich können derartige primäre Unterschiede im Sediment durch den Einfluß der Fazies und der Diagenese mehr oder weniger verwischt werden).

In der Tab. 12 ist der Durchschnittsgehalt an Spurenelementen, nach Teufe und Gesteinsart geordnet, zusammengestellt. Um eine bessere Übersicht zu erhalten, wurden in Tab. 12a die Durchschnittswerte so eingetragen, daß die Ergebnisse für Schiefertone des Teufenbereichs 400—500 m gleich 100 gesetzt und die übrigen Werte entsprechend umgerechnet wurden. Es ergibt sich dann folgendes:

1. Alle untersuchten Spurenelemente zeigen in den einzelnen Teufenbereichen, bezogen auf das gleiche Gestein, unterschiedliche Konzentrationen.
2. Die zwischen den Teufenbereichen bestehenden Unterschiede sind beim Schiefertone am geringsten, beim Sandstein am größten (wahrscheinlich wirken sich bei den tonigen Gesteinen Fazies und Diagenese stärker aus, so daß der Einfluß des Liefergebietes verwischt wird).
3. Der Gehalt an Spurenelementen in den einzelnen Teufenbereichen ist beim Sandstein so unterschiedlich, daß ein Einfluß verschiedener Schüttungsgebiete durchaus möglich erscheint (dafür sprechen auch die Ergebnisse der Schwermineral-Analysen von Sandsteinen (siehe Tab. 2.), jedoch ist auch ein Korngrößen-Effekt nicht auszuschließen.

Wenn auch die Spurenelement-Gehalte innerhalb einer Bank nicht stark schwanken, so ist doch die Spurenelement-Konzentration verschiedener Bänke recht verschieden. Tabelle 13 gibt dafür ein Beispiel.

Tabelle 11

Gehalte an chemischen Elementen in Schiefertönen (g/t) des Karbons
Freie Stellen = keine Werte angegeben.

	Anzahl der Proben	Ba	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sr	Ti	V	
LEUTWEIN	Zwickau	15	500	35		20		300	50	100- 500		100
	Oelsnitz	14	1000	40		30		300	45	100- 500		110
DEGENS Ruhrgebiet	marin	24	860		85	360	41000	1630	16	300	3800	85
	nicht marin		610		165	120	63000	1470	10	100	7300	165
Westerholt Schacht 3	Gestein 1	19	660	199	197	360	70000	1436	407	286	9520	197
	Gestein 2	84	660	188	200	380	60000	1440	430	250	8340	209
	Gestein 3	64	643	206	217	390	46000	1080	430	216	9420	209

Tabelle 12
Gehalt (in %) an chemischen Elementen in Abhängigkeit von der Gesteinsart und der Teufe
im Schacht 3 Westerholt

	Anzahl der Proben	Ba	Co	Cr	F	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V	Teufe m
Schieferton	131	0,0613	0,0203	0,0206	5,5	0,115	0,043	0,03	0,0244	0,921	0,022	400—500
Sandschiefer	24	0,0473	0,0197	0,0182	3,7	0,104	0,0417	0,03	0,0205	0,906	0,0172	
Sandstein	27	0,055	0,0195	0,0152	3,4	0,1284	0,042	0,03	0,0153	0,416	0,0115	
Schieferton	29	0,07748	0,01889	0,01986	4,3	0,13117	0,0427	0,03	0,02377	0,7448	0,02056	500—600
Sandschiefer	26	0,05215	0,0172	0,01437	3	0,10646	0,0360	0,03	0,0163	0,774	0,01833	
Sandstein	39	0,0967	0,02166	0,0125	2,6	0,10217	0,0434	0,03	0,0151	0,5287	0,0110	
Schieferton	7	0,0634	0,02057	0,02085	4	0,14285	0,04557	0,03	0,017	0,6542	0,02257	600—700
Sandschiefer	5	0,0452	0,0176	0,01276	5	0,130	0,040	0,03	0,0156	0,7448	0,0125	
Sandstein	16	0,0251	0,0218	0,0089	1,4	0,0732	0,048	0,03	0,00995	0,3113	0,0101	
Schieferton	3	0,0916	0,0190	0,026	6	0,0466	0,038	0,03	0,019	0,883	0,024	700—800
Sandschiefer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sandstein	1	0,020	0,035	0,0090	1	0,048	0,060	0,03	0,010	0,240	0,010	
Schieferton	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	800—940
Sandschiefer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sandstein	5	0,0194	0,0178	0,0068	1,8	0,0865	0,0406	0,03	0,0077	0,1642	0,00985	

Schieferton Gestein 1—3
Sandschiefer Gestein 4—6
Sandstein Gestein 7—9

Tabelle 12a
 Gehalt an chemischen Elementen in Abhängigkeit von der Gesteinsart und der Teufe
 im Schacht 3 Westerholt
 (Gehalt im Schieferthon des Teufenbereiches 400—500 m = 100)

	Ba	Co	Cr	Fe	Mn	Ni	Sr	Ti	V	Teufe m
Schieferthon	100	100	100	100	100	100	100	100	100	400—500
Sandschiefer	77	97	88	67	90	97	84	99	78	
Sandstein	90	96	74	62	112	98	63	45	52	
Schieferthon	126	93	96	78	114	99	97	81	91	500—600
Sandschiefer	85	85	70	55	93	54	67	84	84	
Sandstein	157	107	61	47	89	101	62	57	50	
Schieferthon	103	101	101	73	124	106	70	71	102	600—700
Sandschiefer	74	87	62	91	113	93	64	81	57	
Sandstein	41	107	43	25	64	112	41	34	46	
Schieferthon	150	93	126	109	41	88	78	96	109	700—800
Sandschiefer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sandstein	33	172	44	18	42	140	41	26	45	
Schieferthon	—	—	—	—	—	—	—	—	—	800—940
Sandschiefer	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Sandstein	32	88	33	33	75	94	32	18	45	

Tabelle 13
Durchschnittliche Gehalte (in %) an Spurenelementen in vier Sandsteinbänken
des Schachtes 3 Westerholt

Teufe m	Anzahl der Proben	Ba	Co	Cr	Mn	Ni	Sr	Ti	V
490,80—495,50	9	0,0293	0,0188	0,00745	0,0713	0,038	0,0121	0,219	0,010
514,00—523,50	19	0,094	0,022	0,0109	0,0989	0,041	0,0149	0,525	0,0084
560,50—567,00	5	0,042	0,019	0,0086	0,0894	0,042	0,0144	0,532	0,0104
583,50—592,50	8	0,044	0,024	0,0083	0,0952	0,050	0,015	0,515	0,0103

5. Der Gehalt an Spurenelementen in Abhängigkeit von der Fazies

Der Gehalt an Spurenelementen in den Gesteinen wird von der Fazies bekanntlich wesentlich beeinflußt. Auf die Abhängigkeit von der Fazies haben in letzter Zeit besonders LEUTWEIN (1956), KREJCI-GRAF (1957), BORCHERT (1959) und DEGENS (1959) hingewiesen. Auch bei den Untersuchungen der Gesteine des Schachtes 3 Westerholt erwies sich der Einfluß der Fazies auf den Gehalt an Spurenelementen als überragend. Auf Tafel 2 ist neben dem stratigraphischen Profil der Gehalt an chemischen Elementen in den Gesteinen eingetragen. Um einen besseren Überblick zu erhalten, sind ferner auf Tafel 3 die Bereiche des Schachtprofils, bei denen eine besonders enge Probenahme vorlag, noch einmal gesondert in einem größeren Maßstab gezeichnet. Da eine umfassende Auswertung des vorliegenden Analysenmaterials über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würde, seien nachstehend nur einige auffallende Ergebnisse herausgegriffen.

Bei Teufe 412,10 m (Taf. 2 und Abb. 5), 40 cm im Hangenden des Flözes Albert 1 (Zechenbezeichnung Fl. Robert 2) wurde in einem milden Schiefertone ein B_2O_3 -Gehalt von 0,037% und ein Mn:Fe-Verhältnis von 0,021 ermittelt. Beide Ergebnisse deuten auf eine marine Ablagerung hin. Auch der erhöhte Strontium-Gehalt von 0,052% bestätigt dieses Ergebnis mit der Einschränkung, daß das Element evtl. in der Karbonatfraktion angereichert sein kann (Aragonit) (DEGENS 1959). Mit einem Anteil von 0,012% Vanadium und 0,016% Chrom ergibt sich ein V:Cr-Verhältnis von 0,75, nach BORCHERT & KREJCI-GRAF (1959) ein Hinweis auf eine gut durchlüftete Fazies. Überraschend ist allerdings, daß der Chrom-Gehalt trotz des niedrigen V:Cr-Verhältnisses von 0,75 nur 0,016% beträgt und damit nicht unbedeutend unter dem Durchschnittsgehalt von 0,0197% (Abb. 3) liegt. Der Gehalt an Vanadium liegt mit 0,012% ebenfalls unter dem Durchschnittswert für milde Schiefertone. Das kann einmal dadurch bedingt sein, daß in kalkigen und tonigen Sedimenten Vanadium und Mangan gegenläufig sind — der Mangan-Gehalt ist mit 0,32% sehr hoch und wohl auf die bessere Durchlüftung des Wassers zurückzuführen — oder auch dadurch, daß die Probe aus einer nur 60 cm starken Schie-

fertonbank zwischen zwei Flözen genommen wurde. DEGENS (1959) weist ja auf die mobilisierende Wirkung der organischen Substanz im unmittelbaren Hangenden und Liegenden von Flözen hin.

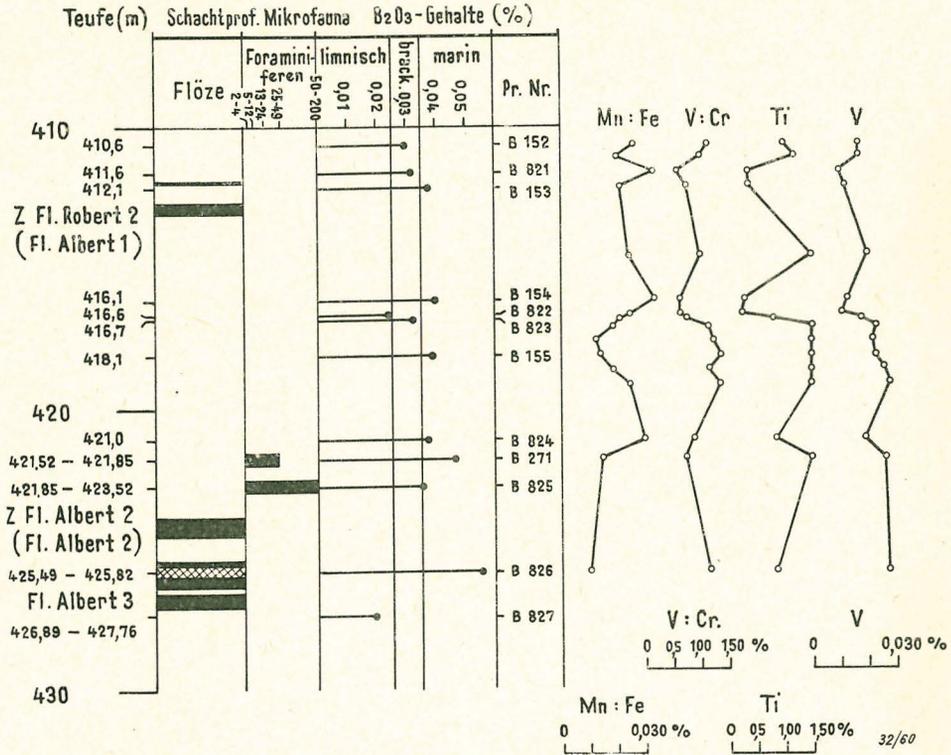


Abb. 5. Gehalte an Mikrofauna, B₂O₃ und Spurenelementen in Schiefertönen der Albert-Flözgruppe des Schachtes Westerholt 3

Wie aus der Abb. 5 ersichtlich, deuten die B₂O₃-Gehalte im Bereich der Flöze Albert 1 bis Albert 3 auf brackische bis marine Fazies. DEGENS (1958) hat das Mn : Fe-Verhältnis dazu benutzt, um die marine von der nicht-marinen Fazies abzugrenzen. Er gibt für die marine Fazies einen Wert für Mn : Fe von 0,025 und für die nicht-marine von 0,014 an. Bei einem Vergleich der ebenfalls in die Abb. 5 eingetragenen Mn : Fe-Werte zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Bor-Gehalten der Proben B 821, 154, 822, 823 und 824. Ausnahmen sind die Proben B 271 und B 825 (Schiefertone mit Foraminiferen) mit einem zu kleinen Mn : Fe-Verhältnis und B 826 (Wurzelboden) mit einem zu hohen Bor-Gehalt (die Ursache für den zu hohen Bor-Gehalt dürfte, wie später noch ausgeführt wird, der abnorm hohe Illit-Gehalt von 80—90% sein).

Nach BORCHERT & KREJCI-GRAF (1959) liegt das V : Cr-Verhältnis in Gytjen meist um 1, in Sapropeliten meist um 10. Um die Fazies im Bereich der Albert-Flöze zu erkennen, wurde in Abb. 5 auch das V : Cr-Verhältnis eingezeichnet. Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß die Kurven für V : Cr und Mn : Fe gegenläufig sind. Dieser Befund ist verständlich, da im durchlüfteten sauerstoffreichen Wasser sowohl eine Chrom-Anreicherung (Vanadium-Verarmung) als auch eine stärkere Mangan-Eisen-Konzentration zu erwarten ist, wobei sich das Mangan im sauerstoffhaltigen Medium stärker als das Eisen anreichert. Im allgemeinen liegt nach den V : Cr-Werten eine mehr oder weniger gute Durchlüftung im Bereich der Albert-Flöze vor. Entsprechend sind die Anreicherungen oder Verarmungen der Spurenelemente. Ausnahmen ergeben sich in der Nähe von Flözen, wo stär-

kerer Siderit-Gehalt oder Illit-Reichtum den Gehalt an bestimmten Spurenelementen beeinflussen.

Chrom ist im allgemeinen angereichert. Der Wert für Chrom liegt lediglich im Bereich des Flözes Albert 2 und seiner Oberbank sowie bei 416,60 m Teufe unter dem Durchschnittsgehalt (in der letzteren Probe sind auch alle anderen Spurenelemente in geringerer Konzentration vorhanden). Der B_2O_3 -Gehalt weist auf limnische Fazies. Möglicherweise ist das der Grund für die Verarmung. Zur Erklärung des hohen Mn:Fe-Wertes von 0,025% müßte eine besonders gute Durchlüftung angenommen werden, wofür freilich weitere Anhaltspunkte fehlen.

Das Hangende von Flöz Albert 2 (421,52—423,52 m) ist nach Fauna und Bor-Gehalt als marin zu betrachten. Im Gegensatz dazu würde das Mn:Fe-Verhältnis von 0,015 wieder auf nichtmarine Fazies hinweisen. Das Mn:Fe-Verhältnis zeigt demnach keinen direkten Zusammenhang mit der Fazies.

Vanadium ist stark an Tonminerale gebunden. Es kommt in milden Schiefertönen in gering erhöhter Konzentration vor. Eine Verarmung weist jedoch der Horizont zwischen 416,10 und 416,70 m auf. Diese erklärt sich wahrscheinlich durch eine bessere Durchlüftung des Absatzmediums. Im übrigen wird besonders deutlich an diesen Verarmungen bestätigt, daß Mn und V in kalkigen und tonigen Sedimenten gegenläufig sind (BORCHERT & KREJCI-GRAF 1959).

Titan — gleichfalls besonders an Tonminerale gebunden — liegt ebenfalls meist in erhöhter Konzentration vor. Es läuft parallel zu Vanadium, wie sich besonders deutlich an den beiden Kurven der Taf. 3 ersehen läßt.

Schon LEUTWEIN (1957) hat darauf hingewiesen, daß Nickel besonders im sauerstoffarmen Milieu angereichert ist. Diese Erfahrung kann ich auf Grund meines Materials bestätigen. Ausnahmen macht der bereits besprochene, gut durchlüftete Bereich von 416,10—416,70 m Teufe.

Vorstehend war mehrfach auf das Mn:Fe-Verhältnis zur Bestimmung mariner oder nicht-mariner Fazies in Schiefertönen hingewiesen worden (DEGENS 1958 und 1959). Es erschien deshalb erforderlich, das durchschnittliche Mn:Fe-Verhältnis für alle Gesteinsarten zu ermitteln. In Tab. 14 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Selbst bei Berücksichtigung der großen Analysen-Ungenauigkeit bei der Fe-Bestimmung (> 30%) ist eine deutliche Zunahme des Mn:Fe-Verhältnisses mit steigendem Sandgehalt des Gesteins festzustellen. Besonderes Interesse verdient das Mn:Fe-Verhältnis von 0,014 in Wurzelböden. Dieses Verhältnis entspricht genau dem von DEGENS angegebenen Wert für nicht-marine Schiefertone. Auf dieses Ergebnis wird später bei der Besprechung der Bor-Analysen näher eingegangen sein.

Die auf den Tafeln 2 und 3 wiedergegebenen Spurenelement-Gehalte bestätigen gleichfalls, daß insbesondere im unmittelbaren Hangenden der Flöze eine Verarmung an Spurenelementen eintritt. Eine Ausnahme machen in vielen Fällen die Elemente Cu und Ni. Ursache für diese Anreicherung dürfte ein verhältnismäßig sauerstoffarmes Gytja-Milieu sein (498,12 m) (BORCHERT & KREJCI-GRAF 1959 und KREJCI-GRAF 1948). Ein Beispiel dafür gibt ein bituminöser Schiefertone über Flöz Ida.

Auch in der Vanadiumkonzentration über den Flözen und in Wurzelböden nehmen die bituminösen Schiefertone der Ida-Gruppe eine Sonderstellung ein: Während im allgemeinen unmittelbar über den Flözen V-Armut und im Hangenden V-Reichtum besteht, ist dies hier in den bituminösen Schiefertönen und Wurzelböden umgekehrt.

Die bei 500,60 m und 501,10 m auffälligen Anreicherungen an Fe und Mn beruhen darauf, daß die Proben toneisensteinstreifig waren bzw. Toneisensteinknollen

Tabelle 14
Mangan : Eisen-Verhältnis in Abhängigkeit von der Gesteinsart

Gesteinsart	Anzahl der Analysen	Mn-Gehalt %	Fe-Gehalt %	Mn : Fe
1	19	0,1436	7	0,02051
2	84	0,144	6	0,024
3	64	0,108	4,6	0,023
4	16	0,119	4,6	0,0258
5	34	0,107	4	0,0268
6	3	0,128	3	0,0426
7	11	0,144	6,4	0,0225
8	73	0,109	3	0,0363
9	1	0,066	1	0,066
10	4	0,078	1	0,078
Wurzelboden	30	0,0656	4,6	0,014

enthielten. Die geringe Zunahme der Ti- und V-Gehalte bei 500,60 m ist wahrscheinlich durch den Wechsel von Sandschiefer (Gestein Nr. 5) zu Schiefertone (Gestein Nr. 3) verursacht. Bei 501,10 m Teufe zeigt sich mit zunehmenden Eisen- und Mangankonzentrationen ein auffälliger Rückgang an Cr-, Ti-, V- und Ni-Gehalt.

Bei Betrachtung der hangenden Schichten des Flözes Johann (Zechenbezeichnung Flöz Wilhelm, Teufe 569—577 m) fällt die Zunahme der Cr-, Mn-, Ni- und Sr-Gehalte in Abhängigkeit vom B₂O₃-Gehalt auf (siehe Tafel 2 und Abb. 6). Jedem Anstieg des Mangangehaltes, bedingt durch eine vermutlich bessere Durchlüftung des Absatzmediums, geht eine Abnahme des Vanadiumgehaltes parallel.

Außerdem fällt besonders (Taf. 3) die gute Übereinstimmung zwischen den B₂O₃-Gehalten und den Mn : Fe-Verhältnissen im Horizont über Flöz Helene auf. Das letztere ist an keiner Stelle kleiner als 0,022, meist jedoch um 0,03 oder höher, so daß die marine Fazies auch durch diese Verhältnisse bestätigt ist.

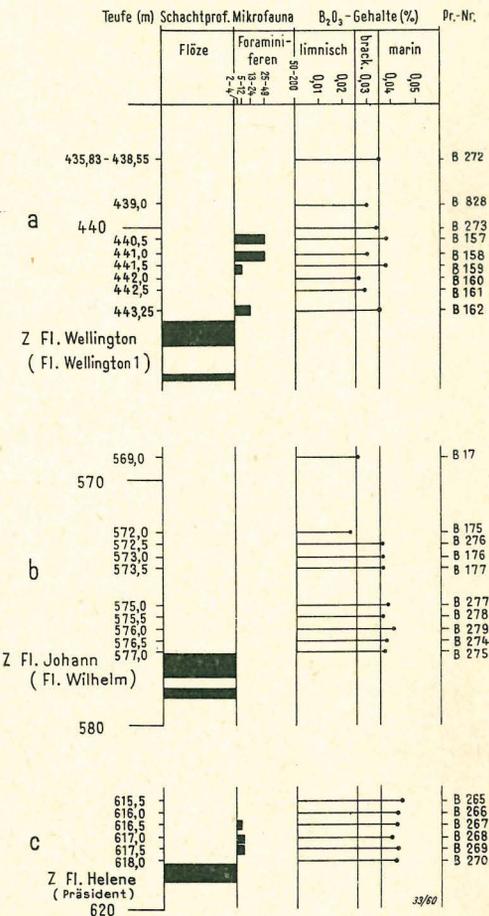


Abb. 6. Mikrofauna und B₂O₃-Gehalten im Hangenden von Flözen der Bochumer Schichten im Schacht Westerholt 3

BORCHERT & KREJCI-GRAF (1959) haben darauf hingewiesen, daß eine nur quantitative Auswertung von Anreicherungen oder Verarmungen an Spurenelementen mehr Kenntnisse voraussetzt als wir sie z. Z. besitzen. Sie schlagen deshalb vor, an Stelle der absoluten Gehalte auch mit Verhältniszahlen zu arbeiten, um Fazies-Merkmale festzulegen. Für den gleichen Zweck wurden von ihnen und anderen Verfassern das Parallel- oder Gegenlaufen von Spurenelementen benutzt. — Die Ergebnisse der geochemischen Untersuchungen bestätigen die bisherigen Erkenntnisse. Aus Taf. 2 und der Abb. 7 und besonders auf Taf. 3 läßt sich unter anderem ablesen:

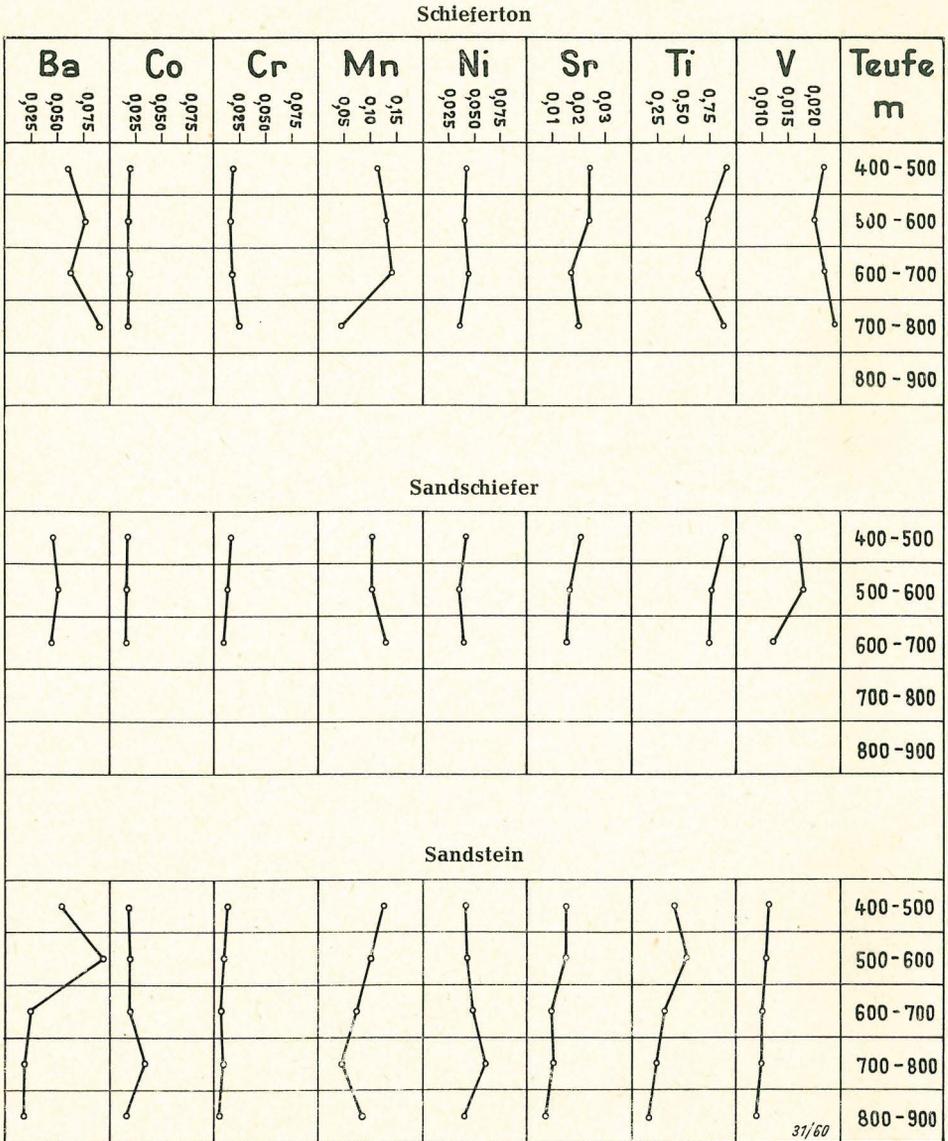


Abb. 7. Gehalte der Gesteine an chemischen Elementen im Abhängigkeit von der Tiefe, Westerholt, Schacht 3

Bei Barium ist nur in einigen Bereichen der marinen bzw. hochbrackischen Horizonte ein Parallel-Laufen mit Sr zu erkennen.

Kobalt reichert sich bei besserer Durchlüftung des Absatzmediums an und läuft dann parallel zu Mn und Fe. Bei Anwesenheit organischer Substanzen ist es gegenläufig zu Mn und Fe und geht parallel zu Cr und V. Die starke Bindung an die organische Substanz verdeckt die Faziesbeeinflussung.

Bei Chrom ist im allgemeinen eine Parallelität zu Titan und Vanadium und bei Sauerstoffreichtum eine Gegenläufigkeit zu Fe und Mn festzustellen. Bei Sauerstoffarmut läuft es Fe und Mn parallel. Die starke Anreicherung organischer Substanzen in Wurzelböden und Pflanzenhorizonten ergibt eine Analogie zu Kobalt und Nickel.

Eisen und Mangan laufen im allgemeinen parallel. Im marinen Bereich ist jedoch ein stärkerer Mn-Anstieg festzustellen; es läuft in mariner Fazies parallel zu Sr.

Nickel und Kobalt verlaufen in Gytjen annähernd gleich. Im besser durchlüfteten Wasser jedoch verarmt Nickel gegenüber dem Kobalt.

Strontium zeigt sich in mariner Fazies parallel Ni und V.

Titan als ein besonders an die Tonminerale gebundenes Element läuft weitgehend parallel zu V und Cr.

Vanadium ist wie Ti und Cr dem Fe und Mn gegenläufig.

Um die Beziehungen zwischen den Spurenelementen deutlicher zu machen, wurden die durchschnittlichen Verhältniszahlen zwischen einigen Spurenelementen in Abhängigkeit von der Gesteinsart ermittelt.

Das Co:Cr-Verhältnis wird mit zunehmendem Sand-Gehalt der Gesteine größer; es steigt von 0,991 bei Gestein Nr. 1 (milder Schiefertone) auf 2,810 bei Gestein Nr. 9 (grobkörniger Sandstein) und erreicht im Konglomerat sogar 3,510. In dieser Erscheinung spiegelt sich deutlich die starke Bindung des Cr an die Tonminerale. Der Einfluß des Ton-Gehaltes der Gesteine bzw. auch die Anwesenheit organischer Substanzen verdecken jedoch den Einfluß der Fazies so weitgehend, daß sichere Aussagen über die Verhältniszahlen entsprechend der Fazies erschwert sind.

Da sowohl Co als auch Mn keine Abhängigkeit von Tonmineralen zeigen, wird das Co:Mn-Verhältnis stark durch die Fazies bzw. auch durch die Anwesenheit von organischen Substanzen bestimmt. Bei marinem bis hochbrackischem Milieu liegt es bei 0,1 bis 0,15, wie u. a. die Horizonte über den Flözen Wellington, Wilhelm und Präsident ausweisen. Im unmittelbaren Hangenden von Flözen fällt das Verhältnis, z. B. über Flöz Karl 2 (Zechenbezeichnung „Flöz Blücher“) auf 0,03 bis 0,07.

Das durchschnittliche Co:Ni-Verhältnis ist für alle Gesteine annähernd gleich. Es liegt zwischen 0,4—0,5. Darin spiegelt sich sowohl eine Unabhängigkeit von den Tonmineralen als auch die Abhängigkeit von organischer Substanz. Ein Vergleich des Co:Ni-Verhältnisses im marinen Milieu zeigte keine Abweichung gegenüber den sonstigen Werten. Dagegen scheint es in weniger abgeschlossenen Gewässern zu einem Anstieg des Co:Ni-Verhältnisses auf 0,6 bis 0,7 zu kommen. Auf eine Anreicherung des Kobalts in dieser Fazies, besonders in Küstennähe, hat schon K. KREJCI-GRAF (1957) hingewiesen.

Ein Anstieg des Co:Sr-Verhältnisses ist mit Zunahme des Sand-Anteils der Gesteine zu verzeichnen. Wie aus Tab. 15 zu ersehen, steigt die Verhältniszahl von rd. 0,7 bei Gestein Nr. 1 auf 1,4 bei Gestein Nr. 8. Für das Gestein Nr. 9 liegt nur ein einzelner Wert von 3,0 vor, der keine allgemeingültigen Aussagen erlaubt. Auffällig ist jedoch, daß für den Bereich von 823—841,80 m Teufe, aus dem diese Probe stammt, und für den anschließenden hangenden Teil des darunter liegenden Plaßhofsbank-Konglomerates ein durchlaufend hohes Co:Sr-Verhältnis vorliegt. Ob sich hier nur der Einfluß der Fazies oder etwa auch der eines an-

deren Schüttungsgutes auswirkt, müßte durch eine Spezialuntersuchung geklärt werden.

Das Co:Ti-Verhältnis steigt im allgemeinen mit Zunahme des Sand-Anteils der Gesteine. Naturgemäß muß sich bei den sandärmeren Gesteinen die starke Bindung des Titans an Tonminerale auswirken. Bei den Gesteinen Nr. 1—4 zeigt sich das nicht so deutlich, weil bei diesen Gesteinen zahlreiche Wurzelböden mit enthalten sind und hier durch die organische Substanz eine Co-Anreicherung erfolgte, die den stärkeren Ti-Gehalt in den Schiefertönen ausgleicht. Auffällig ist die große Unregelmäßigkeit im Co:Ti-Verhältnis in marinen Horizonten. Als Beispiel seien die durch Mikrofossilien und B_2O_3 -Gehalt als marine bzw. hochbrackische Horizonte ausgewiesenen Bereiche über den Flözen Präsident (Zechenbezeichnung Flöz Helene) und Wellington herausgestellt. Während sich im Hangenden von Flöz Wellington ein Co:Ti-Verhältnis von 0,013—0,018 ergibt, beträgt dies über Flöz Präsident in gleicher Fazies 0,025—0,036 (s. Taf. 3).

Auch das Co:V-Verhältnis steigt mit Zunahme des Sand-Anteils der Gesteine von rd. 1,0 auf 2,0 an. Hier wirkt sich die Bindung des Vanadiums an die Tonminerale aus. Im Bereiche der als marin bzw. hochbrackisch erkannten Horizonte über den Flözen Wellington, Wilhelm und Präsident (Taf. 3, Abb. 6) sinkt das Co:V-Verhältnis in Schiefertönen auf 0,75—1,0.

Die Anreicherung des Cr in toniger und organischer Substanz sowie die Unabhängigkeit des Mn von diesen Einflüssen verursachen eine Abnahme des Cr:Mn-Verhältnisses mit sinkendem Tongehalt der Gesteine. In Schiefertönen beträgt das Cr:Mn-Verhältnis im marinen Milieu 0,14—0,19 (Tab. 15) und liegt damit wesentlich unter den Durchschnittswerten für diese Gesteine von 0,29—0,43. Ursache für diese Erscheinung ist die Anreicherung von Mn im marinen Milieu.

Das durchschnittliche Cr:Ni-Verhältnis schwankt von den Gesteinen Nr. 1—7 nur geringfügig zwischen rd. 0,38—0,53. Erst bei den Gesteinen Nr. 8—10 wird die Verhältniszahl merklich kleiner. Fazies-Einflüsse werden weitgehend überdeckt durch die Anreicherung von Cr und Ni in organischer Substanz sowie die starke Bindung des Ni an die Tonminerale. Im Gyttja-Bereich steigt das Cr:Ni-Verhältnis auf 1,4, wie sich im Liegenden des Wurzelbodens unter Flöz Wellington bei 447,20 m und 447,30 m zeigt.

Beim Verhältnis Cr:Sr läßt sich keine Abhängigkeit von der Gesteinsart feststellen. Die Durchschnitts-Verhältniszahlen schwanken zwischen 0,7 und 1,1. In den marinen Bereichen über Flöz Wellington und Flöz Wilhelm ist ein Rückgang des Cr:Sr-Verhältnisses im Schiefertön auf 0,45—0,75 festzustellen. Das entspricht der Sr-Anreicherung in mariner Fazies. Dagegen ergibt sich für den marinen Bereich über Flöz Präsident ein unerklärliches Verhältnis von 1,0—1,37. Diese Werte könnten sich nur durch unterschiedliches Schüttungsmaterial erklären lassen.

Auch beim Cr:Ti-Verhältnis läßt sich keine Abhängigkeit von der Gesteinsart erkennen. Die Durchschnittswerte schwanken um $0,03 \pm 0,01$. Ausnahmen sind nur die Gesteine Nr. 9 und 10, wo ein wesentlicher Anstieg auf 0,156 bzw. 0,088 zu verzeichnen ist. Dabei liegt nicht nur ein starker Rückgang des Ti-Gehaltes vor, sondern auch der Cr-Gehalt ist nur rd. halb so hoch wie beim Gestein Nr. 7. Die Frage nach dem Cr:Ti-Verhältnis bei mariner Beeinflussung kann nicht beantwortet werden. Während in den Schiefertönen der marinen Horizonte über den Flözen Wilhelm und Präsident ein Anstieg der Verhältniszahlen über die Durchschnittswerte zu beobachten ist, fallen diese Werte im Hangenden von Flöz Wellington unter den Durchschnitt.

Tabelle 15
Verhältniszahlen von Spurenelementen in Abhängigkeit von der Gesteinsart
in Gesteinen des Schachtes 3 Westerholt
(Durchschnittsbildung einschließlich der Extremwerte)

Gestein	Anzahl der Analysen	Co : Cr	Co : Mn	Co : Ni	Co : Sr	Co : Ti	Co : V	Cr : Mn	Cr : Ni	Cr : Sr	Cr : Ti	Cr : V
1	17	0,991	0,262	0,478	0,697	0,028	1,040	0,291	0,493	0,723	0,031	1,074
2	81	0,993	0,367	0,455	0,832	0,029	0,900	0,387	0,484	0,849	0,032	0,960
3	55	0,951	0,391	0,473	0,965	0,025	1,052	0,4301	0,516	1,038	0,026	1,128
4	13	1,068	0,405	0,458	0,981	0,024	1,115	0,409	0,436	0,937	0,023	1,058
5	32	1,328	0,270	0,474	1,113	0,026	1,373	0,222	0,377	0,878	0,020	1,065
6	3	1,085	0,148	0,513	1,041	0,031	1,185	0,132	0,495	0,999	0,032	1,148
7	10	1,139	0,178	0,474	0,990	0,038	1,846	0,167	0,532	1,124	0,040	1,898
8	39	2,096	0,227	0,472	1,378	0,061	1,817	0,105	0,249	0,705	0,033	0,968
9	1	2,810	0,273	0,346	3,000	0,439	1,800	0,097	0,123	1,067	0,156	0,640
10	4	3,510	0,257	0,400	2,985	0,379	2,000	0,073	0,114	0,852	0,088	0,570

Tabelle 15: Fortsetzung

Gestein	Anzahl der Analysen	Mn : Ni	Mn : Sr	Mn : Ti	Mn : V	Ni : Sr	Ni : Ti	Ni : V	Sr : Ti	Sr : V	Ti : V
1	17	3,775	5,593	0,309	9,603	1,466	0,062	2,232	0,044	1,600	43,733
2	81	2,719	4,406	0,269	5,701	1,868	0,070	2,083	0,038	1,172	38,482
3	55	2,387	8,079	0,219	6,809	2,091	0,057	2,332	0,026	1,162	46,889
4	13	2,823	5,550	0,287	6,410	2,161	0,078	2,473	0,025	1,175	48,459
5	32	3,021	7,153	0,209	9,204	2,401	0,065	2,941	0,024	1,281	59,869
6	3	3,944	7,798	0,261	9,129	2,003	0,056	2,298	0,027	1,183	55,555
7	10	3,687	8,153	0,290	14,752	2,293	0,084	3,935	0,037	1,774	50,248
8	39	3,044	8,843	0,588	11,426	2,947	0,126	4,000	0,043	1,416	41,687
9	1	1,270	11,000	1,610	6,600	8,667	1,268	5,200	0,146	0,600	4,100
10	4	1,560	11,650	1,201	7,800	7,470	0,769	5,000	0,130	0,670	6,500

Das Cr:V-Verhältnis liegt bei den Durchschnittswerten der meisten Gesteine um 1. Eine Ausnahme macht das Gestein Nr. 7 mit einem Wert von 1,898. Dieser hohe Wert ist zum großen Teil durch die Probe aus 457 m Teufe verursacht, da hier ein Cr:V-Verhältnis von 4,909 besteht. Eliminiert man diesen Wert, ergibt sich für das Gestein Nr. 7 ein Durchschnittswert von 1,56. Im allgemeinen liegt das Cr:V-Verhältnis bei stärkerer Durchlüftung des Absatzmediums um 1,5, während es beim Gytja-Typ rd. 1,1 beträgt.

Bei den Gesteinen Nr. 1—8 schwankt das durchschnittliche Mn:Ni-Verhältnis zwar nur zwischen rd. 2,7—3,9, bei den Einzelwerten sind jedoch bei jeder Gesteinsart beträchtliche Schwankungen vorhanden. Eine sichere Abhängigkeit von mariner Fazies ist im Bereich des Schachtes 3 nicht nachzuweisen. In gut durchlüftetem Milieu läßt sich jedoch ein Anstieg des Mn:Ni-Verhältnisses für alle Gesteine auf 5—10 und im sauerstoffarmen Milieu ein Rückgang auf Werte zwischen 0,5—1,5 feststellen. Der Einfluß organischer Substanzen überprägt wegen Anreicherung des Nickels in diesem Falle fazielle Unterschiede.

Die deutliche Bindung des Strontiums an die Tonminerale zeigt sich auch im Anstieg des Mn:Sr-Verhältnisses in Abhängigkeit von der Zunahme des Sand-Anteils der Gesteine. Eine feste Verhältniszahl für marine Fazies läßt sich nicht angeben. In marinen bzw. hochbrackischen Schichten beträgt das durchschnittliche Mn:Sr-Verhältnis über Flöz Wilhelm 7,2 im Gestein Nr. 2 und über Flöz Präsident 8,8 im Gestein Nr. 3. Beide Ergebnisse liegen wesentlich über dem Durchschnitt ihrer Gesteine. Dagegen ist im marinen Horizont über Flöz Wellington nur ein Wert von 4,5 zu ermitteln, also dem Durchschnitt des Gesteins Nr. 2 entsprechend. In den hochbrackischen bis marinen Bereichen der Albert-Flöze schwanken die Verhältniszahlen zwischen 2,6 und 14,7. Wesentlicher als marine Beeinflussung wirkt sich jedoch Sauerstoff-Armut oder Sauerstoff-Reichtum aus. Bei guter Durchlüftung des Absatzmediums finden sich Mn:Sr-Werte bis zu 15 und 20, während in durch Bor-Gehalt und Mikrofossilien als marin ausgewiesenen Schiefertonen nur Verhältniszahlen zwischen 0,3 und 3,0 auftraten.

Bei den Gesteinen Nr. 1—7 läßt sich eine Abhängigkeit des Mn:Ti-Gehaltes von der Gesteinsart nicht ermitteln. Das ist bei der starken Bindung des Titans an Tonminerale erstaunlich. Die Werte schwanken nur zwischen 0,209 und 0,309. Erst bei den Gesteinen Nr. 8—10 tritt ein wesentlicher Anstieg des durchschnittlichen Mn:Ti-Verhältnisses auf, das beim Gestein Nr. 9 sein Maximum mit 1,610 erreicht. Wenn auch die Durchschnittswerte der Gesteine Nr. 1—7 nur geringfügig schwanken, so gibt es doch bei den Einzelwerten große Streuungen. Tabelle 16 sind die Extremwerte für die Gesteine sowohl für das Mn:Ti-Verhältnis als auch für das Mn:V-Verhältnis zu entnehmen.

Vergleicht man das Mn:Ti-Verhältnis in den durch Mikrofossilien als marin ausgewiesenen Horizonten über den Flözen Albert 2, Wellington und Helene, so ergeben sich bei den hier vorliegenden Schiefertonen Verhältniszahlen von rd. 0,1—0,3. Diese Werte liegen wesentlich unter dem Durchschnitt (Tab. 15). Ein sehr deutlicher Rückgang des Mn:Ti-Verhältnisses tritt auch jeweils im unmittelbaren Hangenden der Flöze ein. Diese Erscheinung ist sowohl auf eine Mn-Verarmung als auch auf eine Ti-Anreicherung zurückzuführen. Auf die Verarmung an Mn im unmittelbaren Hangenden der Flöze hat DEGENS (1958, 1959) bereits hingewiesen und diese Erscheinung mit der stärkeren Mobilisierung des Mn durch die Wirkung der bei der Inkohlung entstehenden Kohlensäure erklärt. (Bildung von $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$) Titan, das fast ausschließlich an Tonminerale gebunden ist, muß im unmittelbaren Hangenden von Flözen, das im allgemeinen als terrestrisch anzusprechen sein wird, fast ausschließlich den Ti-Gehalt des sedimentliefernden Materials

Tabelle 16
Extremwerte des Mn : Ti-Verhältnisses und Mn : V-Verhältnisses in Gesteinen
des Schächtes 3 Westerholt

	Gestein Nr.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mn : Ti	0,012 1,214	0,005 9,315	0,010 3,333	0,007 2,000	0,013 2,533	0,057 0,571	0,082 0,462	0,074 12,500	1,610	0,722 1,644
Mn : V	0,357 26,667	0,238 29,032	0,435 75,758	0,500 20,000	0,895 42,222	4,722 13,333	4,000 30,000	3,750 40,000	6,600	6,778 11,000

wiedergeben, da eine Lösung der Ti-Mineraie infolge des zu hohen Redoxpotentials am Kontakt Wasser/Sediment kaum eintritt (DEGENS 1959). Bei den extrem hohen Werten handelt es sich um Analysen aus toneisenstreifigem Gestein oder gar kleinen Knolleneinlagerungen. Sichere Aussagen über den Einfluß von mehr oder weniger gut durchlüfteten Absatzmedien lassen sich noch nicht machen. Es zeichnet sich jedoch die Tendenz ab, daß mit besserer Durchlüftung ein Anstieg des Mn : Ti-Gehaltes verbunden ist.

Auch beim durchschnittlichen Mn : V-Verhältnis läßt sich keine Abhängigkeit von der Gesteinsart erkennen. Die Durchschnittswerte der Gesteine schwanken beträchtlich, in einem noch größeren Umfang jedoch die Einzelwerte (s. Tab. 16). Grundsätzlich läßt sich bei mariner Fazies keine enger begrenzte Verhältniszahl angeben. Denn von erheblich größerem Einfluß als das marine Milieu sind Sauerstoff-Reichtum oder Sauerstoff-Armut des Wassers. Als Beispiel sei der Horizont über Flöz Präsident (Z. Flöz Helene) angeführt (s. Tab. 3). Es handelt sich hier um mittel- bis dunkelgraue Schiefertone (Gestein Nr. 3), also um Übergänge zwischen sauerstoffreicherer und sauerstoffärmerer Fazies, durch B₂O₃-Gehalt und Mikrofossilien als marin ausgewiesen. Das Mn : V-Verhältnis schwankt zwischen rd. 4,1 (O-Armut) bei 616,50 m und 11,2 (O-Reichtum) bei 617,50 m Teufe. Der geringe Wert von 1,935 bei 618 m Teufe, also unmittelbar über dem Flöz, ist auf die Mobilisierung des Mangans infolge bicarbonatischer Wässer zurückzuführen, die während der Frühdiagenese oft wirksam werden (s. o.). Im übrigen werden die Verhältniszahlen weiterhin deutlich durch die Bindung des Vanadiums an die Tonminerale und an die organische Substanz beeinflusst. Ein besonders auffälliges Beispiel gibt die Analyse einer Probe von 425,49 m—425,82 m Teufe. Für diesen Schieferton (Gestein Nr. 1) wurde durch die Röntgenanalyse ein Illit-Gehalt von 80 bis 90% ermittelt. Naturgemäß mußte sich damit ein Anstieg des Vanadiumgehaltes und eine Verkleinerung des Mn : V-Verhältnisses ergeben. In der Tat wurde ein Mn : V-Verhältnis von nur 0,357 errechnet. Auch bei den übrigen an Ton-

minerale gebundenen Spurenelementen ergaben sich wesentlich kleinere Verhältniszahlen dem Mangan gegenüber. So wurden folgende Verhältniszahlen ermittelt:

Mn : Ba	0,222	(2,179)	Mn : Sr	0,417	(5,593)
Mn : Cr	0,400	(3,305)	Mn : Ti	0,012	(0,309)

Die Zahlen in Klammern geben die Durchschnittswerte für das Gestein Nr. 1 an.

Beim durchschnittlichen Ni : Sr-Verhältnis ergibt sich ein gleichmäßiger Anstieg mit dem Rückgang des Ton-Anteils der Gesteine (Tab. 15); da beide Elemente eine Anreicherung mit Zunahme des marinen Einflusses erfahren. Da Strontium an Tonminerale gebunden ist, müssen sich bei den Schiefertonen kleinere Verhältniszahlen ergeben als bei Sandsteinen. In marin beeinflussten Schiefertonen liegt das Ni : Sr-Verhältnis zwischen rd. 1,1—3,6. Dabei verschiebt sich das Ergebnis bei schlechter Durchlüftung gegen die untere Grenze (Bereich über Flöz Wellington) und bei guter Durchlüftung entsprechend gegen die obere Grenze (Bereich über Flöz Präsident).

Während bei den Gesteinen Nr. 1—6 die Durchschnittszahlen des Ni : Ti-Verhältnisses ohne Tendenz springen, zeigt sich bei den Gesteinen Nr. 7—9 (Sandstein) eine deutliche Anreicherung. Sie ist zu erwarten, da Titan fast ausschließlich an Tonminerale gebunden ist und daher mit Abnahme des Ton-Anteils der Gesteine zurückgehen muß. Untersucht man die durch B_2O_3 -Gehalt oder Mikrofossilien als brackisch-marin ausgewiesenen Horizonte, so zeigt sich, daß gegenüber den durchschnittlichen Verhältniszahlen in den Bereichen über den Flözen Präsident (Z. Flöz Helene) und Wilhelm (Z. Flöz Johann) einerseits und in den Bereichen über den Flözen Albert und Wellington andererseits wesentliche Unterschiede vorliegen. So steigt das Ni : Ti-Verhältnis über Flöz Wilhelm bis auf 0,13, während es über Flöz Wellington zwischen 0,032 und 0,054 liegt und im Albert-Bereich in einer Probe auf 0,027 fällt. Diese Unterschiede können nur zum Teil auf bessere oder schlechtere Durchlüftung des Absatzmediums zurückgeführt werden. Möglicherweise wirkt sich die verzögerte Sedimentation im Bereich der Flöze Wellington und Albert durch eine Titan-Anreicherung aus und verursacht den Rückgang des Ni : Ti-Verhältnisses auf etwa 0,03. Schon E. DEGENS (1958) hat auf die Titan-Anreicherung bei Stillstand der Sedimentation hingewiesen.

Im Ni : V-Verhältnis zeichnet sich die Tendenz zum Anstieg mit Abnahme des Tonanteils der Gesteine viel klarer ab (Tab. 15). Die Verhältniszahlen reichen von 2,083 (Gestein Nr. 2) bis 5,200 (Gestein Nr. 9). In den als hochbrackisch bzw. marin ausgewiesenen Horizonten schwankt das Ni : V-Verhältnis im Schiefertone zwischen 1,3 und 3,5, also wesentlich unter und über dem Durchschnitt. Die besonders hohen Werte zwischen 3,0 und 3,5 liegen im Hangenden von Flöz Albert 1, also dicht unter der Kreide.

Eine Analyse des Basiskonglomerates der Kreide ergab einen Ni-Gehalt von 0,055 % und einen V-Gehalt von 0,045 % im Gestein Nr. 5. Beide Werte liegen weit über dem Durchschnitt von 0,037 % Ni bzw. 0,013 % V. Diese Ni-Anreicherung kann durch die Verwitterung an der Karbonoberfläche oder durch das Kreide-See bedingt sein.

Auffällig ist weiterhin das überhöhte Ni : V-Verhältnis von 1,9—2,9 im Hangenden von Flöz Wilhelm. Wie sich aus den übrigen Spurenelementen ergibt, handelt es sich hier um einen gut durchlüfteten marinen Bereich, in dem es im Verhältnis zum Vanadium zu einer stärkeren Ni-Anreicherung kam. In den übrigen marinen Horizonten liegt das Ni : V-Verhältnis in Schiefertonen zwischen 1,3—1,9.

Da sowohl Strontium als auch Titan an Tonminerale gebunden sind, ergeben sich keine Abhängigkeiten des Sr : Ti-Verhältnisses von der Gesteinsart (Tab. 15). Die Werte für die marinen Bereiche schwanken so stark, daß Aussagen nicht gemacht werden können. Es sei jedoch erwähnt, daß viele Werte unter dem Durchschnittswert liegen. Die Strontium-Anreicherung des marinen Milieus ist hier durch eine noch stärkere Titan-Anreicherung mehr als ausgeglichen.

Auch beim Sr:V-Verhältnis läßt sich keine Abhängigkeit von der Gesteinsart feststellen (Tab. 15). Dagegen wird bessere oder schlechtere Durchlüftung empfindlich angezeigt. Die Werte schwanken in mariner Fazies zwischen 2,0 und 0,6, wobei 2,0 auf gute Durchlüftung weist.

Das durchschnittliche Ti:V-Verhältnis zeigt in Abhängigkeit vom Gestein nur geringe Schwankungen. Infolge der Bindung beider Elemente an die Tonminerale ist dieses Ergebnis erklärlich. In marin beeinflussten Schiefertonen schwanken die Werte zwischen 21 und 65. Besonders niedrig ist das Ti:V-Verhältnis im marinen Hangenden von Flöz Präsident (Zechenbezeichnung „Flöz Helene“ s. Taf. 3), das als sauerstoffärmere Fazies anzusprechen ist. Die Werte liegen hier bei 24—34, also erheblich unter den Durchschnittswerten (Tab. 15).

6. Vergleich der Spurenelemente von einigen organischen und anorganischen Bildungen

Während des Abteufens wurde in 854,3 m Tiefe ein Baumstamm freigelegt, der durch den im Schachtquerschnitt liegenden Sprung in zwei Teile zerrissen war. Der Stamm war zum Teil verkieselt und zum Teil mit weißem Karbonat und Kaolinit ausgefüllt. Da die Sprungkluft stark vererzt war und außerdem in diesem Horizont Wasser mit einer Temperatur von 46° C angefahren wurde (~ 1000 l/min), wurden von beiden Stammteilen wie auch vom Nebengestein Proben analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 wiedergegeben.

Gegenüber dem Durchschnitt des Gesteins Nr. 10 sind im Nebengestein des Stammes Ba, Ca, Fe, Mn, Sr und Ti deutlich angereichert. Vergleicht man die Gehalte der beiden Stammteile mit ihrem Nebengestein, so kann man gegenüber dem Nebengestein eine Anreicherung an Ca, Cr, Fe, Mn und Sr feststellen. Aber auch die Gehalte an Ba, Co, Ni und Ti sind erstaunlich hoch. In welchem Umfang die erzbringende Sprungkluft zur Anreicherung der Spurenelemente im Baumstamm beigetragen hat, ist schwer zu entscheiden. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist jedoch die Anreicherung durch die organische Substanz erleichtert worden. Dies gilt besonders für Co, Cr und V.

Um einen Überblick über die Spurengehalts-Konzentrationen in Toneisensteinlagen bzw. -Knollen zu erhalten, wurden drei derartige Proben spektralanalytisch untersucht. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse festgehalten.

Während bei Eisen und Mangan eine sehr starke Zunahme des Gehaltes vorliegt, zeigen alle anderen untersuchten Elemente gegenüber der Umgebung eine zum Teil beträchtliche Verarmung (vgl. Abb. 3 und 4, Taf. 3, Proben aus 447,5 m, 474,9 m und 501,1 m Teufe).

7. Die Spurenelemente der Flöze

Neben den Gesteinen des Schachtes 3 wurden auch die Flöze spektralanalytisch untersucht. Diese Analysen sollten die Kohlen-Untersuchungen ergänzen und prüfen, ob in den Flözen wirtschaftlich nutzbare Spurenelement-Konzentrationen vorhanden sind. In Abb. 8 sind die Element-Gehalte in der Asche der Steinkohlenflöze dargestellt, während Abb. 9 die auf die Kohlensubstanz umgerechneten Gehalte wiedergibt. Wie die Abbildungen zeigen, sind weder in den Flözen noch in ihrer Asche wirtschaftlich ausbeutbare Spurenelement-Konzentrationen vorhanden. Es muß jedoch festgestellt werden, daß in den Kohlen des Schachtes 3 einige Spurenelemente in einem Gehalt vertreten sind, der zum Teil weit über den in der Literatur für Kohlen genannten Werten liegt. Zum Vergleich wurden in die von LEUTWEIN & RÖSLER (1956) für die Oberkarbon-Kohlen Mitteldeutschlands genannten Gehalte an Spurenelementen denjenigen des Schachtes 3 gegen-

Tabelle 17

Spurenelemente (‰) in einem im Konglomerat über Flöz Plaßhofsbank befindlichen
Baumstamm und im Nebengestein (854,30—854,40 m Teufe) Schacht 3 Westerholt.

Probe Nr.	Al	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V
103	1	0,010	rd. 25	0,012	0,004	0,03	rd. 10	0,27	0,019	0,3	0,017	0,051	0,008
104	rd. 10	0,023	20	0,016	0,053	0,03	3—5	0,32	0,030	0,3	0,027	0,170	0,008
204	rd. 10	0,034	4	0,016	0,007	0,03	rd. 3	0,26	0,040	0,3	0,010	0,260	—
*	rd. 10	0,013	1	0,018	0,006	rd. 0,1	rd. 1	0,078	0,050	0,3	0,007	0,065	0,010

Probe Nr. 103 Baumstamm (verkieselt)

Probe Nr. 104 Baumstamm hell (Kaolinitausfüllung)

Probe Nr. 204 Nebengestein des Stammes (Gestein Nr. 10)

* Durchschnittswert für Gestein Nr. 10

Tabelle 18

Spurenelemente (‰) in Toneisenstein und Toneisensteinknollen aus Schacht 3 Westerholt

Probe Nr.	Al	Ba	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	V
130	rd. 10	0,010	rd. 1	0,010	0,01	0,03	rd. 40	0,40	0,017	0,036	0,0048	0,032	0,01
469	rd. 3	0,017	1	0,012	0,005	0,03	rd. 35	0,63	0,031	rd. 0,03	0,0076	0,014	—
*	rd. 10	0,021	rd. 1	0,015	0,007	0,03	rd. 25	0,38	0,028	0,03	0,0090	0,15	0,0088

Probe Nr. 130 Gestein Nr. 8, 494,70 m Teufe

Probe Nr. 469 Gestein Nr. 3, 500,60 m Teufe

* Gestein Nr. 5, 501,10 m Teufe

Flöz	Aschegehalt Teufe %		Gehalt an chemischen Elementen in %																				
			Al	Ba	Be	Ca	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	Mg	Mn	Mo	Ni	Pb	Si	Sn	Sr	Ti	V	Zn
			20 40	0,10 0,20	0,005 0,010	5 10	0,05 0,10	0,030 0,060	0,10 0,20	20 40	0,005 0,010	+++ +++ +++	+++ +++ +++	0,50 1,00	0,010 0,050	0,05 0,10	0,10 0,20	5 10	0,010 0,050	0,100 0,200	0,10 0,20	0,050 0,100	0,10 0,20
Z Wellington	443,82-444,01	11,5																					
Z Wellington	444,01-444,24	12,3																					
Z Wellington	444,24-444,49	10,9																					
Z Wellington	444,49-444,79	6,9																					
Z Wellington	444,95-446,18	30,3																					
Z Wellington 2	462,0	88,6																					
Z Karl Unterbank	475,06-475,12	16,85																					
Z Karl "	475,12-475,23	78,9																					
Z Karl "	475,35	5,5																					
Z Karl "	475,65	53,4																					
Z Karl "	476,05	74,5																					
Z Karl "	476,20	3,8																					
Z Karl "	476,30	4,1																					
Z Blücher	482,06	12,95																					
Z Jda	498,20	40,2																					
Z Jda	498,35	22,74																					
Z Jda	498,45	21,0																					
Z Jda	498,60	15,1																					
Z Jda Utbk.	499,00	26,6																					
Z Jda "	499,10	22,97																					
Z Jda "	499,20	74,4																					
Z Jda "	502,0	6,8																					
Z Jda "	502,16	5,6																					
Z Jda "	502,20	11,4																					
Z Röttgersbank 1	513,05-513,15	10,8																					
Flözstreifen	523,80	23,0																					
Flözstreifen	529,57-529,66	76,8																					
Z Röttgersbank 2	537,10	17,9																					
Flözstreifen	538,40	14,5																					
Flözstreifen	549,05-549,10	21,3																					
Flözstreifen	549,55-549,60	62,6																					
Z Johann	577,20	10,5																					
Z Helene	618,43-618,53	1,1																					
Flözstreifen	629,91-630,04	3,5																					
Flözstreifen	692,80	2,2																					
Wasserfall	736,30	3,5																					
Z Sonnenschein 1	747,85	3,2																					
Flözstreifen	796,62-796,79	4,3																					
Z Plaßhofsbank	877,50-878,57	10,5																					

Abb. 8. Gehalte an chemischen Elementen in den Aschen der Flöze des Schachtes Westerkholt 3 (Z = Zeichenbezeichnung des Flöztes)

übergestellt. Aus dieser Gegenüberstellung ist ersichtlich, daß in den Kohlen des Schachtes 3 die Elemente Co, Cu, Ni, Pb, V und Zn in erhöhter Konzentration vorliegen, während eine Verarmung an den Elementen Be, Ga und Mo besteht.

Der größere Reichtum an Spurenelementen in den Flözen der mittleren Bochumer Schichten gegenüber dem in den unteren Bochumer Schichten beruht fast ausschließlich auf dem zum Teil sehr hohen Aschegehalt der untersuchten Flöze. Wie aus der Abb. 9 hervorgeht, läuft dem Aschegehalt mehr oder weniger deutlich parallel der Gehalt an Al, Ba, Co, Cr, Fe, Ni, Si, Sr, Ti und V. Außer Co, Ni und Si sind alle diese Elemente an Tonminerale gebunden, so daß sich ihre Anreicherung ohne weiteres erklärt. Auffällig ist jedoch, daß sich Beryllium und Molybdän nur in den Flözen der unteren Bochumer Schichten nachweisen lassen und daß sich auch Zinn erst an der Grenze zwischen den mittleren und unteren Bochumer Schichten anreichert. Insgesamt läßt sich in den Flözen des Schachtes 3 eine bemerkenswerte Anreicherung der Spurenelemente feststellen, wie dies auch für die Spurenelementführung des Nebengesteins schon gezeigt wurde.

LEUTWEIN (1956) hat in Abhängigkeit von der Fazies in Kohlen zwei Elementgesellschaften festgestellt, und zwar herrschen in Gyttja-Kohlen Co, Ga, Ni und V vor, während in humitischen Kohlen Ag, As, Ge, Mo, Pb und Zn überwiegen sollen. Bei den Kohlen des Schachtes 3 Westerholt läßt sich ein Parallellaufen der Gehalte an Co, Ni und V durchaus erkennen, während bei der zweiten Elementgruppe keine Beziehungen festzustellen sind. Dagegen läuft eine Gruppe Ba, Cr, Sr und Ti der Vanadium-Gruppe sehr ähnlich. Das erklärt sich daraus, daß die Elemente Cr, Sr und Ti wie auch V an Tonminerale gebunden sind. Barium und Strontium laufen weitgehend parallel, womit die Ergebnisse von LEUTWEIN (1956) bestätigt werden, der auf die Parallelität der beiden Elemente, besonders bei tonigem und sandig-tonigem Nebengestein bzw. toniger Fremdasche hingewiesen hat. Dagegen läßt sich seine Feststellung, daß sich bei tonigem Aschegehalt Vanadium anreichert und bei karbonatischem Aschegehalt Vanadium abnimmt, bei Westerholt nur mit Einschränkung bestätigen.

F. Borsäure-Gehalt als Indikator für brackisch-marine Einschaltungen im Karbon

GOLDSCHMIDT & PETERS (1932) und LANDERGREN (1945) fanden einen Zusammenhang zwischen dem Salzgehalt des Wassers im Ablagerungsgebiet und dem Bor-Gehalt der Sedimente. Zu dem gleichen Ergebnis führten Untersuchungen von ERNST, KREJCI-GRAF & WERNER (1958) im Ruhrkarbon. Auch BRINKMANN & DEGENS (1956) kamen qualitativ zu gleichen Aussagen. Als Ergebnis dieser Arbeiten kann festgehalten werden, daß marine Schiefertone höhere Bor-Gehalte als nicht-marine Schiefertone haben. Durch Untersuchungen von ERNST, WERNER & KREJCI-GRAF wurden aus zahlreichen fossilführenden Gesteinen Eichwerte für das Ruhrkarbon ermittelt. In Abb. 10 sind die Zusammenhänge zwischen dem Bor-Gehalt bzw. der Salinitätsfazies und den Fossilien dargestellt. Danach kann die Salinitätsfazies nach den B_2O_3 -Gehalten eingeteilt werden:

Marin	$\geq 0,037\%$ B_2O_3
Brackisch	$0,026 - 0,035\%$ B_2O_3
Limnisch	$< 0,026\%$ B_2O_3

1. Analysenmethode

Zur Ermittlung der Salinitätsfazies wurden 55 Schiefertone aus dem Schacht 3 auf B_2O_3 -Gehalte untersucht. Die Analysen wurden im Chemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen in Krefeld durchgeführt. Der Nachweis des Bors er-

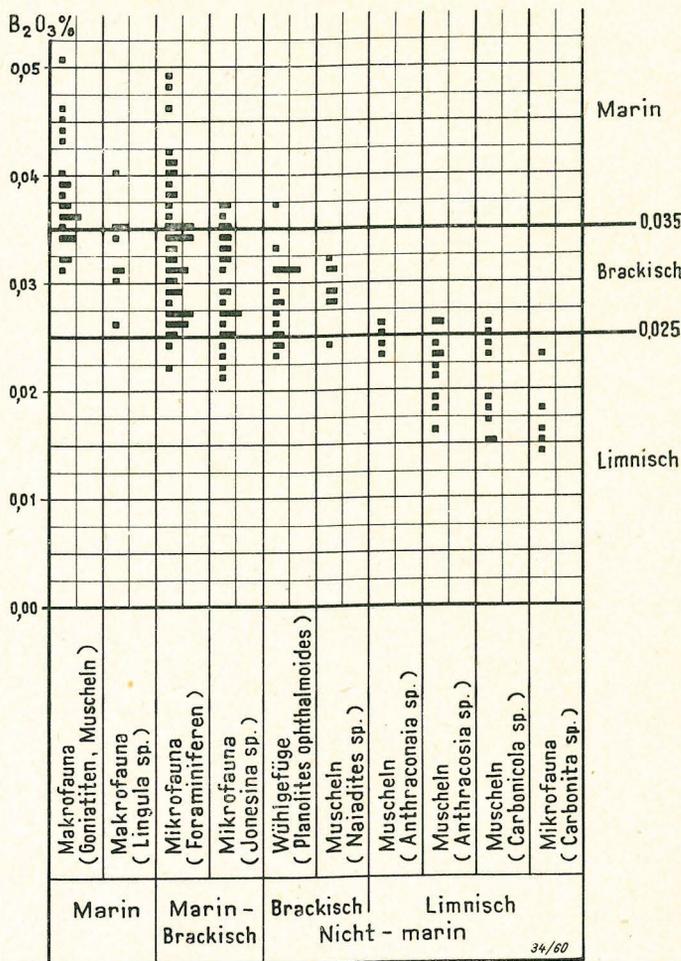


Abb. 10. Salinitätsfazies in Abhängigkeit von B_2O_3 -Gehalt und Mikrofauna

folgte nach der von WERNER (1959) verfeinerten mikrochemischen Methode von BECK & ROTH (1954). Dabei wird feinstzerriebenes Probenmaterial mit wasserfreier Soda vermisch und im Muffelofen auf $875^\circ C$ erhitzt. Die Borsäure wird aus dem Soda-Aufschluß als Methyl ester abdestilliert, mit Calciumhydroxyd verseift und zur Farbentwicklung mit 1,1'-Dianthrimid in konzentrierter Schwefelsäure 5 Stunden auf 70° erhitzt. Dabei wird eine Messerspitze Hydrazinsulfat zur Verhinderung einer gelegentlich auftretenden Braunfärbung zugesetzt. Zur Messung der Extinktion wird das Elko II (Filter J 62 und 1 cm Küvette) benutzt. — Der Analysenfehler beträgt bei durchschnittlichen Bor-Gehalten der Gesteine von $0,025\%$ B_2O_3 etwa 10% .

2. Deutung der Analysen-Ergebnisse

Die untersuchten Schiefertone haben in der Regel verhältnismäßig hohe Bor-Gehalte. Diese weisen auf brackische bis marine Verhältnisse, die auch durch das Vorkommen zahlreicher Foraminiferen in diesen Ablagerungen bestätigt wurden. Die Bor-Gehalte nehmen in einigen Horizonten unabhängig von der Art und

Ausbildung der Schiefertone zum Hangenden ab. Eine auffällige Konstanz der Bor-Gehalte zeigen die Horizonte über den Flözen Albert 1—3, Wellington, Johann und Helene (Abb. 5 und 6). Bei diesen vier Horizonten ist die brackische bzw. marine Fazies durch die Konstanz hoher Bor-Gehalte sowie durch das Vorkommen zahlreicher Foraminiferen und auch von *Planolites ophthalmoides* JESSEN (Flöz Johann, Zechenbezeichnung) unverkennbar.

Zwischen den Bor- und Illit-Gehalten der untersuchten Proben besteht eine Beziehung (vgl. Abb. 11). Untersuchungen von Tonsteinen durch STADLER hatten

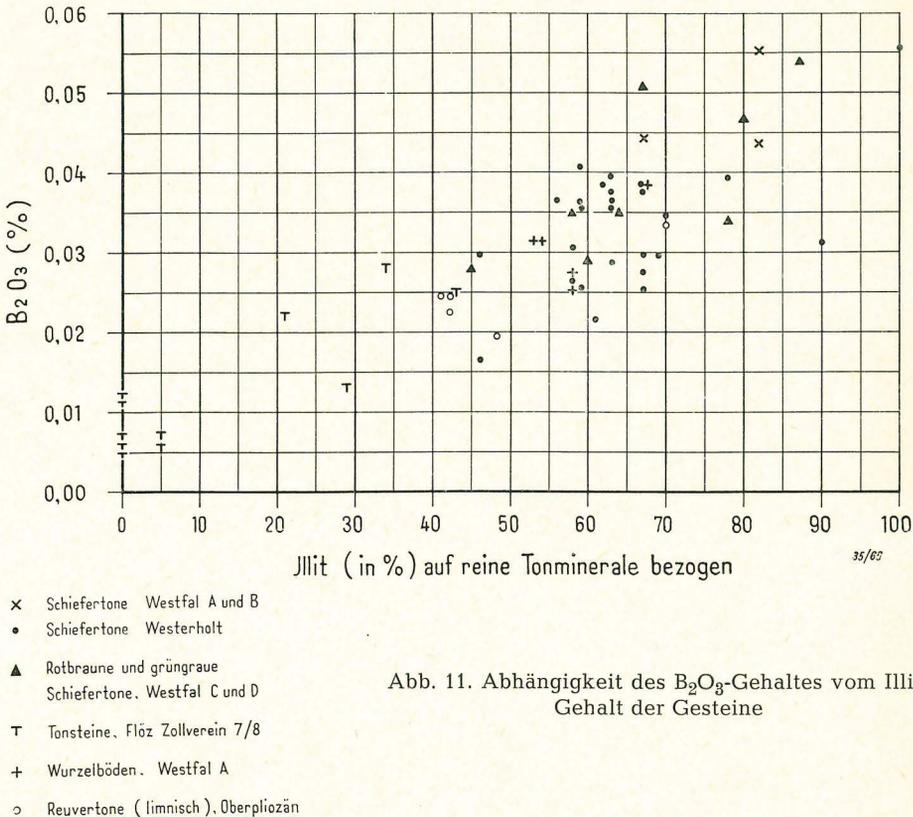


Abb. 11. Abhängigkeit des B_2O_3 -Gehaltes vom Illit-Gehalt der Gesteine

bereits ergeben, daß die Bor-Gehalte schon bei geringer Erhöhung des Illit-Anteiles steigen, während sie in reinen Kaolinit-Tonsteinen nur verschwindend gering sind. Ebenso beobachteten HARDER (1959) sowie ERNST & WERNER (1960) einen Zusammenhang zwischen Bor-Gehalten und Illit. Auch bei den Schiefertonen des Schachtes 3 ist der Illit-Gehalt brackisch-mariner Ablagerungen größer als der von terrestrisch-limnischen. Eine Ausnahme ist lediglich die Probe B 826 aus einem durchwurzelten Bergemittel zwischen 425,49 und 425,82 m; der Illit-Gehalt dieser Probe ist sogar etwa um das Doppelte größer als in marinen Schiefertonen. Ebenso ist auch der Bor-Gehalt mit 0,055 % verhältnismäßig hoch. Da Wurzelböden in der Regel unter nicht-marinen Verhältnissen entstanden sind, müssen hier die hohen Illit- und Bor-Gehalte andere Ursachen haben.

Um den Einfluß weiterer im Gestein vorhandener Komponenten auf den Bor-Gehalt zu erkennen, wurde von einer Schiefertone-Probe bei 615 m (B_2O_3 0,043 %)

Tabelle 19
B₂O₃-Gehalte und Mikrofossilien von Schiefertonen in verschiedenen Horizonten
des Schachtes 3 Westerholt

Pr.-Nr.	Teufe m	Gesteins- art	Probenbeschreibung	B ₂ O ₃ - Gehalt ‰
B 152	410,60	2	Mittelgrauer Schiefertton, mild. Pflanzenstengel mit Spirorben	0,029
B 821	411,60	1	Mittelgrauer Schiefertton	0,032
B 153	412,10	1	Mittelgrauer Schiefertton, mild. Pflanzenhäcksel	0,037
B 154	416,10	1	Dunkelgrauer Schiefertton, bituminös, ton- eisenstein-streifig Kohlige Pflanzenreste (brandschieferartig), Spirorben, Ostracoden	0,039
B 822	416,60	1	Dunkelgrauer Schiefertton, schwachsandig, kohlilig, zahlreiche Pflanzenstengel, 1 Ostra- code (<i>Whipplella cenisa</i>)	0,024
B 823	416,70	1	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, kohliger Pflanzenhäcksel	0,031
B 155	418,10	1	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, Pflanzenstengel mit Spirorben	0,038
B 824	421,00	1	Mittel- bis dunkelgrauer Schiefertton mit Rutschflächen und Harnischen	0,036
B 271	421,85— 423,52	1	Mittelgrauer Schiefertton, 25—49 Forami- niferen, schlecht erhalten	0,046
B 825	421,85— 423,52	1	Mittelgrauer Schiefertton, toneisensteinstrei- fig, 50—200 Foraminiferen (<i>Hyperammina</i> , <i>Glomospira</i>)	0,035
B 826	425,49— 425,82	1	Mittelgrauer Schiefertton, ungeschichtet, völlig durch Harnische verruschelt, Pflanzenreste	0,055
B 827	426,89— 427,76	3	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, feinsandsteinstreifig (Fasern und Streifen) durchwurzelt	0,019
B 272	435,83— 438,55	1	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, 1 Ostracoden-Bruchstück (<i>Wipplella</i> -Gr.)	0,035
B 828	439,00	1	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, toneisensteinstreifig	0,029
B 273	440,00	2	Mittelgrauer Schiefertton mit Wühlgefügen	0,034
B 157	440,50	2	Mittelgrauer Schiefertton mit Wühlgefügen. 25—49 Foraminiferen (hauptsächl. <i>Hyper- ammina</i> und <i>Glomospira</i>)	0,037
B 158	441,00	2	Mittelgrauer Schiefertton, mild, mit organi- schen Resten 25—49 Foraminiferen (hauptsächlich <i>Glomo- spirella</i> und <i>Glomospira</i>)	0,030
B 159	441,50	2	Mittelgrauer Schiefertton, mild. 5—12 Foraminiferen (<i>Glomospirella</i> ?)	0,038
B 160	442,00	2	Mittelgrauer Schiefertton, mild	0,026
B 161	442,50	2	Mittelgrauer Schiefertton, mild. Lagenweise Pflanzenhäcksel, 2—4 Ostracoden-Bruchstücke (<i>Jonesina robusta</i>)	0,029
B 162	443,25	2	Mittel- bis dunkelgrauer Schiefertton, bituminös. Zahlreiche kohlige Pflanzenreste, 13—24 Foraminiferen (vorherrschend <i>Glomospirella</i>)	0,035
B 163	479,50	2	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, toneisenstein-streifig	0,033
B 164	481,00	2	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig, toneisenstein-streifig	0,036
B 165	482,00	1	Dunkelgrauer Schiefertton, bituminös	0,036
B 832	496,70	2	Mittelgrauer Schiefertton, schwachsandig	0,028

Tabelle 19: Fortsetzung

Pr.-Nr.	Teufe m	Gesteins- art	Probenbeschreibung	B ₂ O ₃ - Gehalt* %
B 166	498,10	2	Dunkelgrauer Schieferton, bituminös z. T. kohlenstriemig	0,034
B 167	511,50	4	Mittelgrauer Schieferton, sandig	0,035
B 168	528,00	3	Mittelgrauer Schieferton, sandig	0,039
B 156	528,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig. Pflanzenhäcksel	0,033
B 169	529,50	2	Dunkelgrauer Schieferton, sandig, feinglimmerig. Kohliger Pflanzenhäcksel, Kohlenstriemen bis 3 mm	0,029
B 170	535,50	3	Mittelgrauer Schieferton, sandig, feinglimmerig, feinsandstreifig, Grabgangzapfen	0,033
B 171	536,50	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig. Wühlgefüge und 5—12 Foraminiferen (unbestimmbar)	0,040
B 172	548,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig, toneisenstreifig, 2—4 Foraminiferen (unbestimmbar)	0,027
B 173	549,00	2	Mittelgrauer Schieferton, mild, mit Rutschflächen	0,028
B 174	569,00	3	Mittelgrauer Schieferton, sandig, zahlreiche Feinsandstreifen bis mm-Stärke. Kohliger Pflanzenhäcksel	0,025
B 175	572,00	2	Mittelgrauer Schieferton, sandig, Feinsandstreifen bis mm-Stärke	0,021
B 276	572,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,035
B 176	573,00	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig, <i>Planolites</i> cf. <i>ophthalmoides</i> JESSEN	0,035
B 177	573,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig, feinglimmerig	0,035
B 277	575,00	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,037
B 278	575,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig, mm-starke Sandstein-Streifen	0,035
B 279	576,00	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,040
B 274	576,50	2	Mittel- bis dunkelgrauer Schieferton, toneisenstein-streifig. <i>Planolites</i> cf. <i>ophthalmoides</i> JESSEN	0,037
B 275	577,00	2	Mittel- bis dunkelgrauer Schieferton	0,036
B 834	593,00	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,031
B 835	598,10	2	Mittelgrauer Schieferton, rein	0,028
B 280	598,20	2	Dunkelgrauer Schieferton, an Kohle und Brandschiefer angrenzend	0,027
B 265	615,50	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,043
B 266	616,00	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,041
B 267	616,50	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig. 2—4 Foraminiferen (unbestimmbar)	0,041
B 268	617,00	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig. 5—12 Foraminiferen, schlecht erhalten	0,039
B 269	617,50	3	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig. 5—12 Foraminiferen (unbestimmbar)	0,041
B 270	618,00	3	Mittel- bis dunkelgrauer Schieferton, organische Reste	0,041
B 836	627,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig Pflanzenreste, 5—12 fragl. Foraminiferen	0,016
B 837	628,50	2	Mittelgrauer Schieferton, schwachsandig	0,025

* Marine Fazies über 0,036 % B₂O₃
 Brackische Fazies 0,026—0,035 % B₂O₃
 Limnische Fazies 0—0,025 % B₂O₃

ein Dünnschliff angefertigt, der quantitativ auf Schwerminerale untersucht worden ist. 0,01 Vol. % der Probe besteht aus Schwermineralen. Der Turmalin-Anteil dürfte nicht mehr als 0,005 betragen und somit keinen wesentlichen Einfluß auf den Bor-Gehalt des Gesteins haben. Im übrigen wurde auch durch die Spektralanalyse nachgewiesen, daß sich der Gehalt an Schwermineralen auf den Gehalt der Gesamtprobe kaum bemerkbar macht (s. S. 10).

Auf Grund des relativ hohen Bor-Gehalts sind die meisten der untersuchten Horizonte als brackisch oder marin anzusehen. Zu dem gleichen Ergebnis führten die mikrofaunistischen Untersuchungen (Tab. 19). Die mittleren Bochumer Schichten im Schacht 3 Westerholt sind also offensichtlich stärker marin beeinflusst worden — ähnlich wie das für diese Schichtengruppe am linken Niederrhein gilt. Als weiteres Ergebnis ist festzuhalten, daß Einzelproben zur Beurteilung der Salinitätsfazies wertlos sind. Erst die Bor-Gehalte einer Reihe von Proben, die möglichst in Abständen von 10 cm zu entnehmen sind, zeigen, ob die untersuchten Sedimente marin oder nicht-marin sind.

E. Radioaktive Untersuchungen

Bei den radioaktiven Untersuchungen sollte festgestellt werden, ob zwischen Radioaktivität, Gesteinsart und den Gehalten an chemischen Elementen Beziehungen bestehen. Die Messungen wurden vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen mit einem Scintillometer des Amtes für Bodenforschung, Hannover, sowie einem Radioskop der Firma Total durchgeführt. Insgesamt wurden 1123 Proben überprüft.

1. Abhängigkeit der Radioaktivität von der Gesteinsart und dem Gehalt an chemischen Elementen

Kohlen und Konglomerate erwiesen sich als völlig inaktiv. Mit steigendem Ton-Gehalt wurde eine stetig ansteigende Radioaktivität festgestellt. Diese Beobachtung ist durch den höheren Gehalt an radioaktivem Kalium in der Ton-Fraktion ohne weiteres verständlich.

Gesteinsproben, die auf Klüften einen Karbonat- oder Glimmerbelag aufweisen, zeigten bemerkenswerterweise auf der Belagseite z. T. erheblich höhere Impulsraten als auf der abgekehrten Seite (Tab. 20).

Bei den Glimmerbelägen kann hierfür der Kalium-Gehalt des Muskovites die Ursache sein, während bei den Karbonaten vielleicht ein geringer Strontium-

Tabelle 20
Radioaktivität auf Kluffbelägen

Teufe m	Gestein	Impulse/min		Belag
		Belagseite	abgekehrte Seite	
520,50	8	350	50	Schwerspat Schwerspat Kaolinit, Ankerit, Spuren von PbS und CuFeS ₂
520,00	8	250	50	
757,00	8	300	200	
820,50	8	200	0	Glimmerbelag
824,50	8	400	0	Glimmerbelag
881,00	8	500	0	Glimmerbelag

Anteil die Impuls-Erhöhung bedingt. Die z. T. offenen Klüfte können jedoch auch mit dem Kluftsystem in Verbindung stehen, auf dem auf der 760-m-Sohle eine warme Solquelle (PATTEISKY 1954) austritt. In den Gasen dieser Quelle wurden 4% Helium nachgewiesen, die nur als Emanation gedeutet werden können. Scintillometermessungen an Absätzen dieser Quelle, die aus Eisenoxyd, Steinsalz, Calciumkarbonat und Bariumsulfat bestehen, ergaben Erhöhungen um 1000 bis 1200 Impulse pro Minute.

2. Zusammenhänge zwischen Radioaktivität und Marinität

Vergleicht man die Kurve der Radioaktivität (Taf. 1—3) mit den Schichten, die eine marine Beeinflussung zeigen, so ergibt sich hier meist ein Anstieg der Strahlungs-Aktivität. Besonders deutlich ist dies beim marinen Horizont über Flöz Plaßhofsbank und in den marin beeinflussten Partien im Hangenden der Flöze Präsident (Zechenbezeichnung Helene) und Wilhelm (Zechenbezeichnung Johann). Aber auch in Wurzelböden wurde eine erhöhte Radioaktivität beobachtet. Auffallenderweise läßt sich nicht in allen marin beeinflussten Schichten eine erhöhte Strahlungsaktivität feststellen. So zeigen sich keine Erhöhungen in der Albert-Partie und im Hangenden von Flöz Wellington.

Ergebnis

1.

Bei dem Vergleich des im Schacht 3 untersuchten Karbonprofiles von 400,65—934,20 m Teufe mit dem Richtschichtenschnitt der Zeche Bonifacius ergab sich, daß die Zechenbezeichnung einiger Flöze offenbar nicht der Einheitsbezeichnung des Richtschichtenschnittes entspricht. Eine entsprechende Umbenennung der Flöze in Westerholt wurde deshalb vorgeschlagen. Es sind dies die Flöze Albert 1 (Zechenbezeichnung Robert 2), Albert 3 (Z. Albert 2 Utbk.), Karl 2 (Z. Blücher), Blücher 1 (Z. Ida), Blücher 2 (Z. Ida Utbk.), Ida (Z. Röttgersbank 1), Ernestine (Z. Röttgersbank 2), Wilhelm (Z. Johann) und Präsident (Z. Helene). — Ferner zeigte sich, daß der größte Teil der von H. FIEBIG aufgeführten Leithorizonte im Schachtprofil des Schachtes 3 wiederzufinden ist. Da — im Gegensatz zu dem Richtschichtenschnitt — im Schacht 3 zahlreiche Foraminiferen über den Flözen Albert 2, Wellington, Ernestine, Röttgersbank, Präsident und Helene gefunden wurden und in diesen Horizonten auch Augenschiefer auftreten, lag die Vermutung nahe, daß die mittleren Bochumer Schichten von Westerholt wesentlich stärker marin beeinflusst sind als bisher angenommen wurde. Diese Vermutung wurde durch die Ergebnisse der Bor-Analysen bestätigt, die für einen brackischen bis marinen Charakter dieser Horizonte sprechen.

2.

Um eine Vergleichsbasis für geochemische Untersuchungen zu schaffen und eine schnelle, durch Bergleute vorzunehmende Gesteins-Ansprache zu ermöglichen, wurde eine makropetrographische Signatur angewandt und ihre Brauchbarkeit durch mikroskopische Untersuchungen erhärtet. Dabei wurde bei Sandsteinen eine qualitativ sehr eintönige Zusammensetzung beobachtet. Schwerminerale sind am Aufbau dieser Gesteine nur mit 0,1—0,2 Vol. % beteiligt. Der Karbonat-Gehalt liegt durchschnittlich bei 4,75% (demgegenüber stehen Karbonat-Gehalte im Sandschiefer von 9,4% und im Schiefertone von 20,2%). Bei den Karbonaten handelt es sich zum größten Teil um mehr oder weniger eisenhaltigen Dolomit

und Siderit. — Im allgemeinen zeichnen sich die Sandsteine des Schachtes 3 Westerholt durch eine schlechte Kornklassierung und einen relativ hohen Feldspat- und Glimmer-Anteil aus. Die Mineralführung der Sandsteine zeigt, daß saure bis intermediäre Plutonite neben aufbereiteten Sedimenten bei der Lieferung des Sedimentmaterials beteiligt waren. Dafür sprechen auch die in einigen Geröllen anzutreffenden „schriftgranitischen“ Verwachsungen. — Bei den Schiefertönen bilden Quarz, Glimmer und Karbonate 75—80% der Gesamtmenge. Mit abnehmender Korngröße nehmen vom Sandstein zum Schiefer-ton die Tonminerale auf Kosten des Quarzes zu. Durch rhythmischen Wechsel der Korngröße oder der Gemengteile ergeben sich häufig Lagengefüge.

3.

Die Untersuchung der im Schacht 3 angefahrenen Flöze ergab 1. einen höheren Schwefel-Gehalt in den marin beeinflussten Flözen und 2. eine deutliche Abnahme der Flüchtigen Bestandteile in Abhängigkeit von der Teufe (HILF'sche Regel). Die Inkohlung des höheren Westfal A ist hier wesentlich stärker als in vielen anderen Teilen des Ruhrgebietes. Auch nimmt die Inkohlung hier ungewöhnlich rasch mit der Tiefe zu. Diese Erscheinung weist auf eine magmatische Aufheizung des Gebirges, wie es R. & M. TEICHMÜLLER (1949) sowie A. PILGER (1956) vermutet haben. — Die Kohlen oberhalb des Flözes Präsident stellen ausgezeichnete Kokskohlen dar, die Kohlen der tieferen Flöze gute Magerungskohlen. — Im Zusammenhang mit der starken thermischen Metamorphose nimmt auch das Porenvolumen der Sandsteine des Schachtes 3 nach der Teufe zu außerhalb gewöhnlich rasch auf 4,7% (Durchschnitt von 584,50—664,50 m Teufe) ab und das Raumgewicht entsprechend auf 2,59 g/cm³ zu.

4.

Die Spurenelement-Führung der Karbon-Schichten wurde besonders eingehend untersucht, da hierüber bisher nur sehr wenige Beobachtungen aus dem Ruhrkarbon vorliegen. Dabei ergab sich, daß der Gehalt der Elemente Al, Ba, Cr, Fe, Sr, Ti und V mit Zunahme des Ton-Anteils der Sedimente wächst. Unabhängig vom Ton-Anteil ist offenbar der Gehalt der Elemente Ca, Co, Cu, Mn, Ni und Pb. In organischer Substanz reichern sich die Elemente Co, Cr, Cu, Ni, Pb und V und vielleicht Zn an, während Mn abnimmt. Sämtliche untersuchten Spurenelemente zeigen in den einzelnen Teufenbereichen unterschiedliche Gehalte. Dabei sind die Unterschiede beim Sandstein am größten, während sich anscheinend bei den Schiefertönen Fazies und Diagenese stärker auswirken und damit den Einfluß von Schüttung und Korngröße verdecken.

Bei der Untersuchung der Fazies-Einflüsse auf die Spurenelement-Führung bestätigten sich in der Regel die bereits bekannten Beziehungen. Die Kurven für V:Cr und Mn:Fe sind im marinen bzw. hochbrackischen Milieu gegenläufig. Im unmittelbaren Hangenden und Liegenden von Flözen wurde eine Verarmung an Spurenelementen beobachtet. In bituminösen Schiefertönen ist neben Ni und Cu Vanadium angereichert.

Von größerem Einfluß auf die Spurenelement-Führung war offenbar der Sauerstoffgehalt des Absatz-Mediums. Gegenüber den Durchschnittsgehalten reichern sich an:

Mn und Ti	bei guter Durchlüftung
Co, Mn, Ni, Sr, Ti und V	bei mittlerer Durchlüftung
Ni, Cr und V	bei schlechter Durchlüftung.

Die Verhältniszahl zweier Elemente ist weitgehend von der Bindung dieser Elemente an die organische Substanz bzw. die Tonminerale abhängig. Die Verhältniszahlen ändern sich damit sehr oft in Abhängigkeit vom Ton-Anteil der Gesteine. Das Co:Ni-Verhältnis liegt für alle Gesteine annähernd gleich bei 0,4—0,5, und zwar auch in marinen Sedimenten. Beim Co:V-Verhältnis fällt die Verhältniszahl bei Schiefertonen auf 0,75—1,0, während die Durchschnittswerte in Abhängigkeit von der Gesteinsart zwischen 1,0 und 2,0 liegen. Während beim Cr:Ni-Verhältnis die Durchschnittszahlen aller Gesteine zwischen 0,38 und 0,53 liegen, zeigt sich in Gytjten ein Anstieg auf 1,4. Die stärkere Durchlüftung des Absatzmediums führt beim Cr:V-Verhältnis zu einem Wert um 1,5, während dieser in Gytjten nur 1,1 beträgt. Besonders deutlich wirkt sich die Durchlüftung beim Mn:Ni-Verhältnis aus. Während der Durchschnittswert zwischen 2,7 und 3,9 liegt, steigt dieser in gut durchlüftetem Milieu auf 5—10 und fällt bei Sauerstoff-Armut auf 0,5—1,5. Im marinen Milieu wurden Mn: Sr-Verhältnisse zwischen 0,3 und 3,0 ermittelt. Das Mn:Ti-Verhältnis schwankt in marin beeinflussten Schiefertonen zwischen 0,1 und 0,3. Beim Ni: Sr-Verhältnis liegen in gleicher Petro-Fazies die Werte zwischen 1,1 und 3,6, wobei die untere Grenze schlechter und die obere Grenze besserer Durchlüftung entspricht. Auch beim Ni: V-Verhältnis wirkt sich eine Durchlüftung des Absatz-Mediums stark aus. Die Werte im marinen Milieu schwanken zwischen 1,3 und 2,9.

Die Spektralanalysen der Steinkohlen ergaben, daß sich hier weder in der Kohle noch in ihrer Asche wirtschaftlich ausbeutbare Konzentrationen an Spurenelementen finden. Jedoch ist der Gehalt an Spurenelementen größer als er in miteldeutschen Kohlen ermittelt wurde. Unabhängig vom Fremdasche-Gehalt der Kohlen laufen die Elemente Co, Ni und V untereinander parallel. Sehr ähnlich dieser Gruppe verhalten sich Ba, Cr, Sr und Ti. In einigen Flözen der unteren Bochumer Schichten reichern sich Be, Mo und Sn an. Oft laufen Bor-Gehalt und Illit-Gehalt der Gesteine parallel. Möglicherweise ist beim Illit neben OH-Ionen auch Borhydroxyd im Kristallgitter eingebaut oder an amorpher Substanz adsorbiert.

5.

Durch die enge Probenahme war es möglich, die Radioaktivität in kleinen Abständen zu messen. Es bestätigte sich, daß die Radioaktivität in der Regel mit dem Ton-Anteil der Sedimente ansteigt und somit größtenteils durch radioaktives Kalium bedingt ist. Maxima der Radioaktivität wurden in Wurzelböden beobachtet. Daneben zeigt sich eine verstärkte Radioaktivität auf Karbonat- und Glimmerbelägen von Klüften.

Literatur

- ADLER, R.: Feinstratigraphische Gliederung der unteren Siegerner Schichten im engeren Siegerland und ihre paläogeographische und tektonische Ausdeutung. — *Geol. Jb.* **73**, S. 357—388, Hannover 1957
- BORCHERT, H. & KREJCI-GRAF, K.: Spurenmetalle in Sedimenten und ihren Derivaten. — *Bergbauwissenschaften*, **6**, S. 205—215, Goslar 1959
- BÖTTCHER, H. & TEICHMÜLLER, M. u. R.: Zur Hiltchen Regel in der Bochumer Mulde des Ruhrkarbons. — *Glückauf*, **85**, S. 81—92, Essen 1949
- BRINKMANN, R. & DEGENS, E.: Die geochemische Verteilung einiger Elemente im Ruhrkarbon. — *Naturwissensch.*, **43**, S. 56, Berlin 1956
- BRUNE, A.: Eine neue Leitschicht in der unteren Fettkohlengruppe des Ruhrkarbons. — *Glückauf*, **63**, S. 1825—1827, Essen 1927

- DEGENS, E.: Geochemische Untersuchungen zur Faziesbestimmung im Ruhrkarbon und im Saarkarbon. — Glückauf, **94**, S. 513—520, Essen 1958
- Die Chemofazies der Sedimente. — Habilitationsschrift, Würzburg 1959
- Die Diagenese und ihre Auswirkung auf dem Chemismus von Sedimenten. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1959, S. 72—84, Stuttgart 1959
- Deutscher Normenausschuß: Mineralöl und Brennstoffnormen. — Verlag Beuth, S. 265 bis 322, Berlin 1956
- ERNST, W., KREJCI-GRAF, K. & WERNER, H.: Parallelisierung von Leithorizonten im Ruhrkarbon mit Hilfe des Bor-Gehaltes. — Geochim. et Cosmochim. Acta, **14**, S. 211—222, London 1958
- FIEBIG, H.: Der neue Richtschichtenschnitt für die Wittener (Eßkohlen-)Schichten im nieder-rheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. — Glückauf, **90**, S. 260—270, Essen 1954
- Feinstratigraphisch-fazielle Untersuchungen der oberen Bochumer Schichten (oberes Westfal A) am linken Niederrhein. — Geol. Jb., **70**, S. 611—656, Hannover 1955
- Die Ergebnisse einer feinstratigraphisch-faziellen Untersuchung der oberen Bochumer Schichten (oberes Westfal A) am linken Niederrhein. — Geol. Jb., **71**, S. 171—174, Hannover 1955
- Die Ausbildung der Wittener (Eßkohlen-) Schichten und die Gleichstellung und einheitliche Benennung der Flöze im mittleren und westlichen Ruhrgebiet. — Glückauf, **91**, S. 1181—1187, Essen 1955
- Der neue Richtschichtenschnitt für die Bochumer (Fettkohlen-) Schichten im nieder-rheinisch-westfälischen Steinkohlengebiet. — Glückauf, **93**, H. 15/16, S. 446—453, Essen 1957
- GOLDSCHMIDT, V. M., KREJCI-GRAF, K. & WITTE, H.: Spurenmetalle in Sedimenten. — Nachrichten d. Akad. d. Wissensch. Göttingen, Math.-Phys. Klasse, S. 35—52, Göttingen 1948
- GOLDSCHMIDT, V. M. & PETERS, Cl.: Über die Anreicherung seltener Elemente in Steinkohlen. — Nachr. d. Akad. d. Wissensch. Göttingen, Math.-Phys. Kl., H. 4, S. 371—386, Berlin 1933
- HAHNE, C.: Die Fettkohlenschichten (oberes Westfal A) im linksrheinischen Gebiet. — N. Jb. Min., Geol., Paläontol., **82**, S. 325—366, Stuttgart 1939
- Gleichstellung und einheitliche Benennung der Flöze der Bochumer Schichten im Gebiet Essen—Bottrop—Oberhausen—Hamborn. — Glückauf, **91**, S. 814—818, Essen 1955
- HARDER, H.: Beitrag zur Geochemie des Bors (Vortrag). — Fortschr. d. Mineralogie, **37**, H. 1, S. 82—87, Stuttgart 1959
- HECHT, F. & TOMIC, E.: Uranforschung in Österreich. — Österreichische Chemiker-Zeitung, **58**, S. 221—227, Wien 1957
- JASMUND, K.: Die silikatischen Tonminerale. — Verlag Chemie, 2. Aufl., 192 S., Weilheim 1955
- JESSEN, W.: „Augenschiefer“-Grabgänge, ein Merkmal für Faunenschiefer-Nähe im westfälischen Oberkarbon. — Z. deutsch. geol. Ges., **101**, S. 23—43, Hannover 1949
- KNEUPER, G.: Zur Petrographie der Sandsteine des flözführenden Ruhrkarbons. — Mitt. Westf. Berggewerkschaftskasse, Nr. 12, S. 47—55, Bochum 1957
- KREJCI-GRAF, K.: Geochemie — Abgrenzung und Anwendung. — Naturwiss. Rdsch., H. 8, S. 294—302, Stuttgart 1957
- LANDERGREN, S.: Contribution to the geochemistry of Boron. Ark. Kemi. Min. Geol., **19** A, S. 25—26, Stockholm 1945
- LEUTWEIN, F. & RÖSLER, H. J.: Geochemische Untersuchungen an paläozoischen und mesozoischen Kohlen Mittel- und Ostdeutschlands. — Freiburger Forsch. Hefte C. 19, Akademie-Verlag, Berlin 1956
- MILLOT, G.: Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses. — Geol. Appl. et Prospect. Minière, **2**, 1949
- MÜLLER, G.: Chemische Zusammensetzung und Mineralbestand karbonatischer Schlechtenausfüllungen aus Steinkohlenflözen des Ruhrbezirkes. — Bergbau-Rdsch. **5**, S. 6—8, Bochum 1953
- OTTE, M. U.: Spurenelemente in einigen deutschen Steinkohlen. — Chemie der Erde, **16**, S. 239—294, Jena 1953

- PATTEISKY, K. & TEICHMÜLLER, M.: Inkohlungs-Verlauf, Inkohlungs-Maßstäbe und Klassifikation der Kohlen auf Grund von Vitrit-Analysen. — Brennstoff-Chemie, **41**, S. 79 bis 84, 98—104, 133—137, Essen 1960
- PETRASCHECK, W. E., SCHUBERT, H. & VOHRZYKA, K.: Über uranhaltige Kohlen und Kohlen-schiefer in Österreich. — Berg- und Hüttenmännische Monatsh., **104**, Nr. 1, S. 1—8, Wien 1959
- PILGER, A.: Über die Teufenlage der Plutone im Ruhrgebiet. — N. Jb. Min., Mh. 6/7, S. 161—168, Stuttgart 1956
- Über den Untergrund des Rheinischen Schiefergebirges und Ruhrgebietes. — Geol. Rdsch., **46**, S. 197—212, Stuttgart 1957
- RADMACHER, W.: Die internationale Klassifikation der Steinkohlen. — Brennstoff-Chemie, **35**, S. 129—136, Essen 1954
- RADMACHER, W. & HESSLING, H.: Die Spurenelemente in Steinkohlen und ihre spektralanalytische Bestimmung. — Z. f. analyt. Chemie, **167**, H. 3, S. 172—182, Springer-Verlag Berlin—Göttingen 1959
- Ruhrkohlen-Handbuch 1954, Verlag Glückauf, Essen 1954
- SCHERP, A.: Zur Petrographie des Finefrau-Konglomerates bei Essen und einiger anderer geröllführender Sandsteine des Ruhrkarbons. N. Jb. f. Geol. u. Paläont., Mh 1956, S. 240—244, Stuttgart 1956
- TEICHMÜLLER, M. & R.: Inkohlungsfragen im Ruhrkarbon. — Z. deutsch. geol. Ges., **99**, S. 40 bis 77, Hannover 1959
- TEICHMÜLLER, M.: Anzeichen mariner Beeinflussung bei der Kohle aus Flöz Katharina der Zeche Friedrich Heinrich. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1955, S. 193—201, Stuttgart 1955

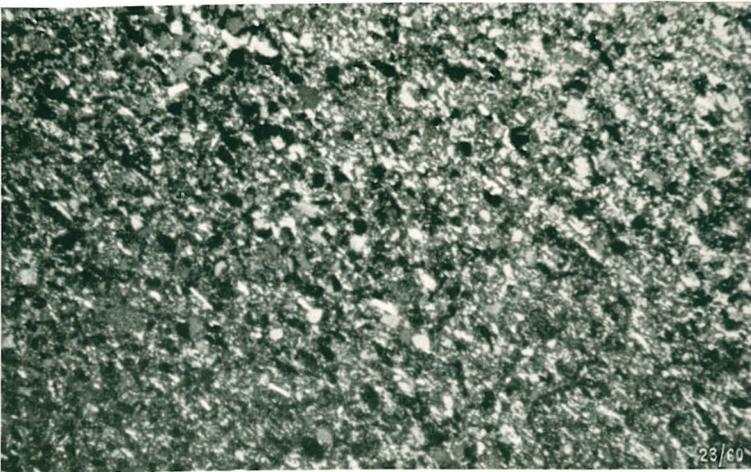
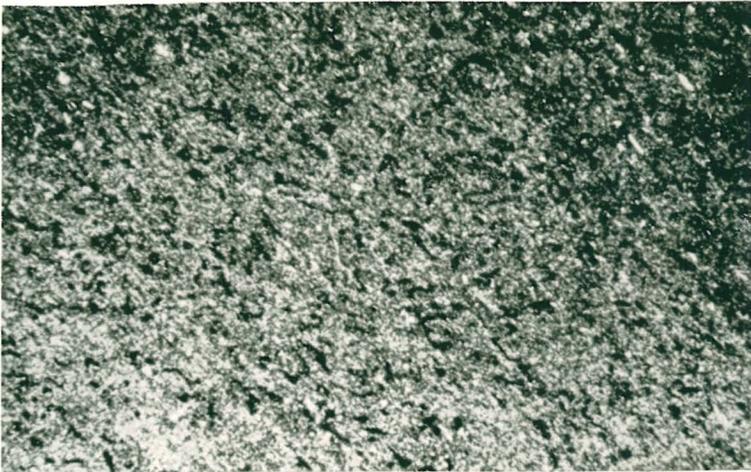
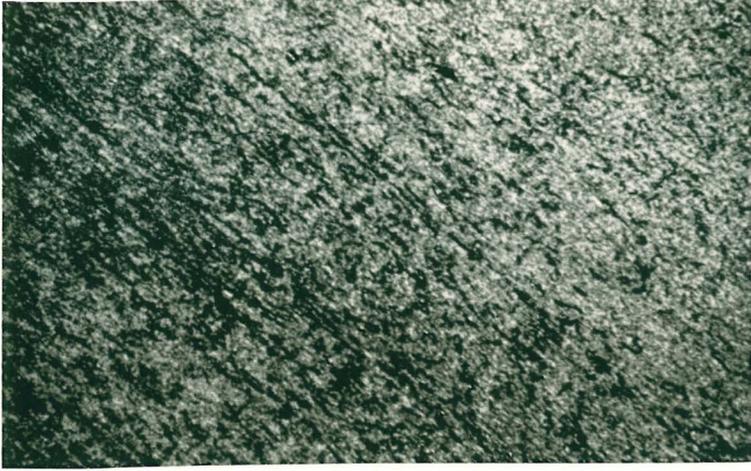
Tafel 1

Dünnschliffbilder von Gesteinen des Schachtes Westerholt 3, + Nicols. $\times 30$

Fig. 1 „Schiefer-ton“ (Gesteinstyp 1) mit feinen Kohleschmitzen, Teufe 417,6 m

Fig. 2 „Schiefer-ton“ (Gesteinstyp 2), Teufe 481,9 m

Fig. 3 „Schiefer-ton“ (Gesteinstyp 3), Teufe 452,5 m

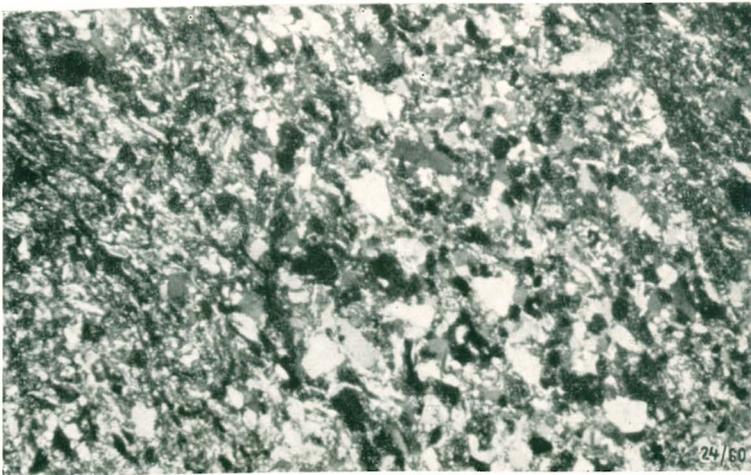
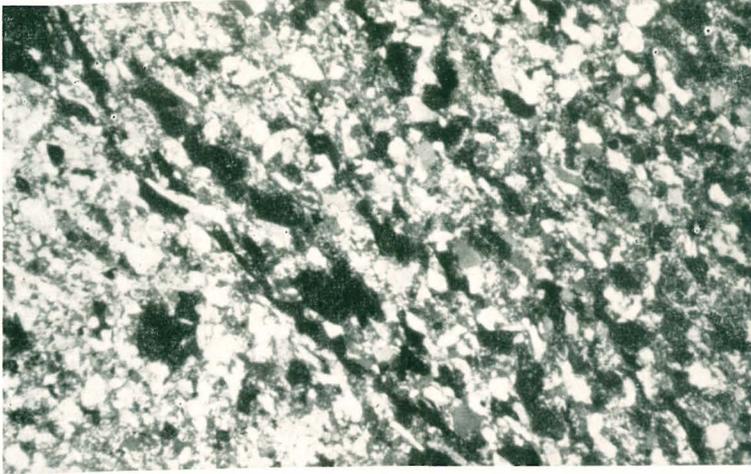
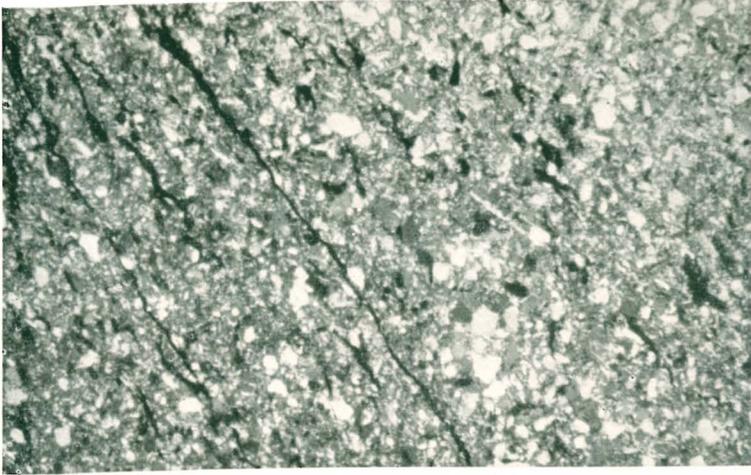


Tafel 1

T a f e l 2

Dünnschliffbilder von Gesteinen des Schachtes Westerholt 3, + Nicols. $\times 30$

- Fig. 1 „Sandschiefer“ (Gesteinstyp 4), Teufe 500,0 m
Fig. 2 „Sandschiefer“ (Gesteinstyp 5) mit Kohlenflatschen (schwarz),
Teufe 406,1 m
Fig. 3 „Sandschiefer“ (Gesteinstyp 6), Wechsellagerung feinkörnig-grobkörnig,
Teufe 639,5 m

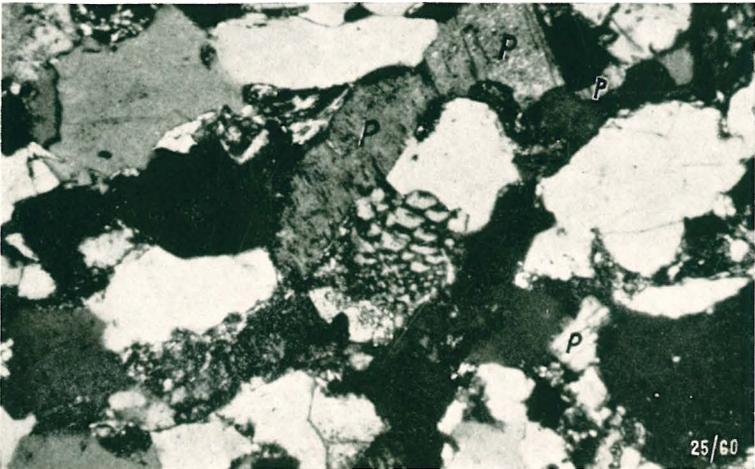
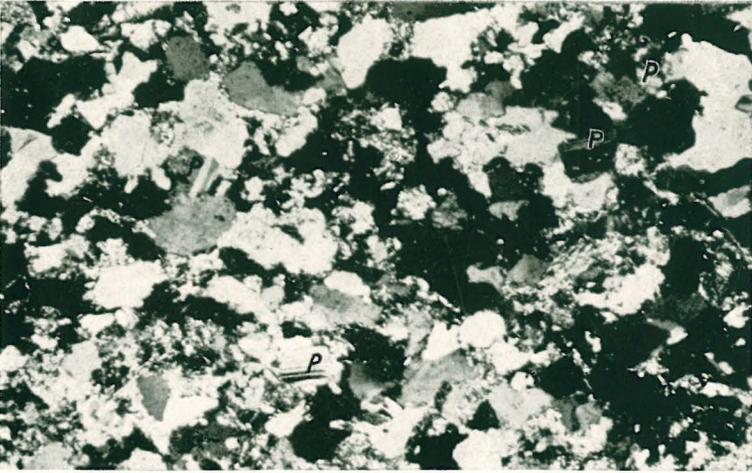
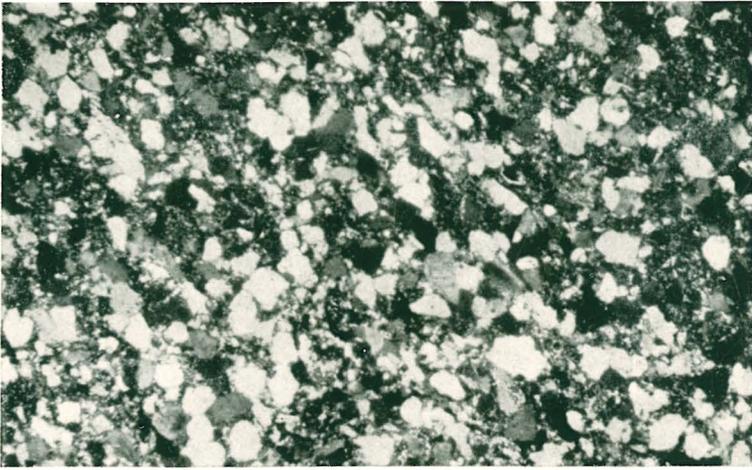


Tafel 2

Tafel 3

Dünnschliff von Gesteinen des Schachtes Westerholt 3, + Nicols,
Vergrößerung: Fig. 1 u. 2 \times 30, Fig. 3 \times 75

- Fig. 1 Sandstein (Gesteinstyp 7), Teufe 459,8 m
- Fig. 2 Sandstein (Gesteinstyp 8), Teufe 521,5 m
P Plagioklas
- Fig. 3 Sandstein (Gesteinstyp 8) mit Plagioklas (P), in der Mitte „Schriftgranit“
(orientierte Verwachsung Quarz-Plagioklas), Teufe 516,5 m



Tafel 3

