

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

GEOTECHNISCHE SERIE, 28. LIEFERUNG

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft
von der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

DIE KOHLENVORKOMMEN DES KANDERTALS IM BERNER OBERLAND

VON RUDOLF BECK

Kommissionsverlag:
Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Bern
1948

Druck: Hallwag AG, Bern

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ

GEOTECHNISCHE SERIE, 28. LIEFERUNG

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft
von der Geotechnischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

DIE KOHLENVORKOMMEN DES KANDERTALS IM BERNER OBERLAND

VON RUDOLF BECK

Kommissionsverlag:
Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Bern
1948

Druck: Hallwag AG, Bern

Reproduktion und Veröffentlichung der technischen Aufnahmen und der Landeskarte 1:50 000
in vergrößerterem Maßstab mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 10. 1. 1948

Vorwort der Geotechnischen Kommission

An der Sitzung vom 20. Dezember 1947 nahm die Geotechnische Kommission die Promotionsarbeit (Universität Bern) von Herrn Dr. R. Beck: «Die Kohlenvorkommen des Kandertales im Berner Oberland» zur Aufnahme in die «Beiträge» entgegen. Es handelt sich um eine monographische Beschreibung dieser eigenartigen Lagerstätten eozänen Alters, in welcher, neben den geologischen und technischen Verhältnissen, besonders die Kohlenpetrographie eingehend behandelt ist.

Die Aufnahme der reich mit Tafeln und Textfiguren versehenen Arbeit war der Kommission nur dadurch möglich, dass erhebliche Subventionen von der Arbeitsgemeinschaft «Pro Helvetia», der Stiftung Dr. J. de Giacomo der S.N.G. und vom Regierungsrat des Kantons Bern zur Verfügung standen. Die Kommission ist diesen Spendern für ihre Unterstützung der Forschungsarbeit sehr zu Dank verpflichtet. Sie dankt ferner Herrn Prof. Dr. J. Cadisch, Bern, für seine Bemühungen um das Werk, sowie dem Autor für seinen finanziellen Beitrag.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, Dezember 1947.

Für die Geotechnische Kommission
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Der Präsident: Prof. Dr. P. Niggli

Der Aktuar: Dr. F. de Quervain

Vorwort des Verfassers

Im Frühjahr 1944 hatte ich Gelegenheit, im Auftrag von Herrn PD. Dr. R. Rutsch, für das Bergbaubureau des Kriegs-, Industrie- und Arbeitsamtes grössere Gebiete der Kandertaler Kohlengruben Horn und Lindi geologisch zu untersuchen. Dabei reifte der Entschluss zur wissenschaftlichen Bearbeitung der gesamten Kohlenvorkommen des Kandertales. Herr Prof. Dr. J. Cadisch wies mir in der Folge diese Arbeit als Dissertationsthema zu, dessen Behandlung unter seiner Leitung die vorliegenden Ergebnisse brachte. Ihm gebührt mein grosser Dank, sowohl für die ungezählten wertvollen Hinweise und Anregungen als auch für seine Hilfe bei der Beschaffung von Literatur, Vergleichsmaterial und Apparaten.

Herrn Dr. R. Rutsch verdanke ich die Anregung zu dieser Arbeit. Er führte mich in die allgemeinen geologischen Verhältnisse des zu untersuchenden Gebietes ein. Mit ihm zusammen konnten in zahlreichen anregenden Diskussionen an Ort und Stelle viele Fragen tektonischer und stratigraphischer Natur erörtert werden.

Die beabsichtigte Oberflächenkartierung der Grubengebiete musste unterbleiben, da Blatt 527 der Landeskarte der Schweiz, 1 : 50 000, viele, für eine Detailaufnahme wesentliche topographische Einzelheiten der steilen Felshänge des Kandertals ganz ungenügend darstellt und neue Grundbuchpläne noch fehlen. Es blieb mir daher nur die Möglichkeit, von der jeweils gegenüberliegenden Talseite aus die verschiedenen Grubengelände mittelst Teleobjektiv zu photographieren. Die so erhaltenen Bilder dienten als Vorlage für geologische Oberflächenzeichnungen. Sie eigneten sich vorzüglich zur Eintragung sämtlicher geologischer Einzelheiten, welche sich aus der eingehenden Untersuchung der schwer begehbaren und steinschlaggefährdeten Bergflanken ergaben.

Anfänglich boten die kohlenpetrographischen Untersuchungen grosse Schwierigkeiten. Bis heute wurde dieser wichtige geologische Forschungszweig in der Schweiz wegen Fehlens eigener grösserer Kohlenlager kaum beachtet. Daher konnte ich mich nur anhand der Fachliteratur über die modernen Arbeitsmethoden der Präparatherstellung und -untersuchung orientieren. Es bedurfte vieler Versuche, bis es mir mit improvisierten Mitteln gelang, ähnliche Ergebnisse zu erreichen, wie sie von ausländischen Kohlenpetrographen in modernen, mit Spezialapparaten ausgerüsteten Laboratorien erzielt werden. Die mikrophotographischen Arbeiten litten besonders unter dem kriegsbedingten Mangel an geeigneten Spezialfilmen und Photopapieren. Wenn gleichwohl befriedigende photographische Resultate erzielt werden konnten, so verdanke ich das zum guten Teil der tatkräftigen und sachkundigen Unterstützung durch Herrn A. Sommer, Präparator am Geologischen Institut.

Herr Prof. Dr. H. Huttenlocher stellte mir die Einrichtungen und Apparate des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Universität Bern zur Verfügung.

Von Herrn Prof. Dr. E. Gagnebin, Lausanne, erhielt ich eine Probe der Kohlen von Diablerets, während Herr Prof. Dr. G. B. Dal Piaz, Padova, mir neben Kohlenmustern erschöpfende Angaben über die Kohlen der Istri-schen Halbinsel übermittelte.

Die Herren Prof. Dr. W. Rytz und Dr. J. Schuhmacher in Bern bemühten sich um die Bestimmung von Pflanzen und Foraminiferen aus den Brackwasserschichten meines Untersuchungsgebietes.

Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Zürich übernahm durch das Entgegenkommen ihres Direktors, Herrn Prof. Dr. P. Schläpfer, die kostenlose Ausführung der chemischen Analysen einiger meiner Kandertaler Kohlenproben.

Herr Dr. E. A. Ritter gestattete mir, das von ihm ebenfalls untersuchte Grubengebiet von Schlafegg eingehend zu studieren.

Allen Genannten spreche ich für ihre tatkräftige Unterstützung meinen herzlichsten Dank aus.

Da ich nicht als Geologe der drei Bergbaugesellschaften amtierte, war ich für meine Aufnahmen unter und über Tag meist auf mich selbst angewiesen. Immerhin gewährten mir die Betriebsleiter der Gruben ihre Unterstützung stets, wenn es galt, verlassene und einsturzgefährdete Reviere zu untersuchen oder schwierige Begehungen an der Oberfläche auszuführen. Den Herren Ing. H. Kästli, Grube Lindi, W. Dubach, Grube Horn, und F. Ressnig, Grube Schlafegg, gebührt für ihre vielseitige Hilfe mein aufrichtiger Dank. Gerne gedenke ich auch der Vorarbeiter und Arbeiter, die mir in guter Kameradschaft stets dienstbereit zur Seite standen.

Die Veröffentlichung meiner Dissertation wurde erst möglich, als die Arbeitsgemeinschaft Pro Helvetia, die Stiftung Dr. J. de Giacomi der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft und der bernische Regierungsrat mir wesentliche Druckkostenbeiträge gewährten. Ich bin den genannten Institutionen sehr verpflichtet. Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. P. Niggli als Präsidenten der Geotechnischen Kommission der S.N.G. und deren Adjunkten, Herrn Dr. Fr. de Quervain für ihre Bemühungen um die Herausgabe der vorliegenden Arbeit in der Geotechnischen Serie der «Beiträge zur Geologie der Schweiz».

R. Beck.

Inhalt

A. Einleitung	7
1. Problemstellung	7
2. Historisches	7
a) Geschichtliche Daten	7
b) Ältere bergbauliche Berichte und Gutachten	9
c) Neuere geologische Untersuchungen	11
3. Tektonische und stratigraphische Übersicht des Gebietes	12
 B. Die Lagerstätten	14
I. Geographische Lage der Kohlengruben	14
II. Stratigraphie der Brackwasserschichten und ihrer angrenzenden Schichtglieder	14
III. Tektonik	19
1. Allgemeines	19
2. Grube Schlafegg	20
3. Grube Horn	25
4. Grube Lindi	27
5. Andere Vorkommen kohlenführender Brackwasserschichten	28
a) Schürfstelle «Gygens Baracke»	28
b) Schürfstelle Balmen	28
c) Übrige Aufschlüsse von Brackwasserschichten	29
 C. Petrographische und chemisch-technologische Untersuchung der Kandertaler Kohle	30
I. Petrographische Untersuchung	30
1. Probenahme	30
2. Makroskopische Beschaffenheit der Kohle	30
a) Hartkohle	30
b) Konglomeratkohle	31
c) Mulmkohle	31
d) Augenkohle	31
e) Brandschiefer	33
3. Das Kohlengefüge und seine genetische Deutung	34
a) Untersuchungsmethode	34
b) Kohlengefügebestandteile	34
1) Pflanzenorgane	34
2) Asche	36
3) Pyrit	37
a. Zur Frage der Schwefelanreicherung in Karstkohlen	37
b. Ausbildungsformen des Pyrits	37
c. Das Problem der vererzten Bakterien	38
c) Genetische Deutung des Kohlengefüges im Vergleich mit andern Eocaenkohlen.	39
Die Kohle von Häring (Unterinntal, Tirol)	39
Die Kohle von Beatenberg (Thunersee)	39
Die Kohle von Arsa (Istrien)	40
Die Kohle von Anzeindaz (Diablerets)	40
4. Migrationserscheinungen der Kohle	42

II. Chemisch-technologische Untersuchung.	43
1. Allgemeines	43
2. Unterscheidung Steinkohle-Braunkohle	44
3. Spezifisches Gewicht	44
4. Ergebnisse der Immediat- und Elementaranalysen	44
5. Ergebnisse der Schwelanalysen	44
6. Darstellung der Inkohlung	45
7. Zusammensetzung und Schmelzbereich der Kohlenasche	45
8. Grubengase	46
D. Fördermengen	47
E. Zusammenfassung	48
Literaturverzeichnis	51
Abstract	53

A. Einleitung

1. Problemstellung

Mit vorliegender Arbeit versuchen wir, das Werden dreier alpiner Kohlenlagerstätten einer Abklärung näherzubringen. Ein solches genetisches Problem umschliesst naturgemäss mannigfaltige Einzelfragen aus verschiedenen Wissensgebieten und verlangt zu seiner Deutung besonders stratigraphische, tektonische, kohlenpetrographische und kohlenchemische Untersuchungen.

Neben dieser geologischen Aufgabe stellt sich die volkswirtschaftliche, die darin besteht, eine Prognose zu geben über qualitative und quantitative Abbauwürdigkeit der heute noch vorhandenen Kohlenlager in künftigen Mangelzeiten.

2. Historisches

a) GESCHICHTLICHE DATEN

In seiner Monographie «Die postkarbonischen Kohlen der Schweizeralpen» hat Leo Wehrli (Lit. 33) in sehr ausführlicher Weise die Entwicklung des Kohlenbergbaues im Kandertal bis Ende des 19. Jahrhunderts dargelegt. Deshalb sollen hier, um grössere Wiederholungen zu vermeiden, nur die wichtigsten geschichtlichen Ereignisse zusammengefasst, zum Teil berichtigt und ergänzt werden.

1759 Erstes Konzessionsbegehren zur Ausbeute von Steinkohlen am Mittelgrat (Elsighorn) bei Frutigen, der Berner Regierung eingereicht von Johannes Klopfer aus Frutigen.

1765 Neues Konzessionsbegehren von alt Seckelmeister Rudolf Trüchen und Hans Pieren aus Frutigen. Da Klopfer «die ihm anvertrauten Patenten in keinem Effect gesetzt», übertrug die Regierung den Schürfschein an die beiden Gesuchsteller. Das Unternehmen blieb ziemlich erfolglos, immerhin machte es die Berner Regierung auf diese Steinkohlenvorkommen aufmerksam. Wie aus den Akten des Staatsarchivs zu ersehen ist, wurden von der Obrigkeit Berns im 17. und 18. Jahrhundert viel Geld und Mühe zur Erschliessung der Bodenschätze aufgewendet. Ziegelhütten und Kalkbrennereien benötigten Ummengen Holz; allein die Staatswaldungen des Amtes Frutigen lieferten von 1772 bis 1778 6000 Klafter. Dieser Raubbau trieb die Holzpreise stark in die Höhe, so dass die Regierung bereits 1767 Prämien für die Aufindung von Steinkohlenlagern aussetzte.

1787 Die Regierung beschliesst am 7. September, auf Grund eines Gutachtens von Bergverwalter Johann Caspar Deggeller und nach Versuchen mit Kohlenproben in Kalk- und Ziegelbrennereien, ein «Hochobrigkeitliches Steinkohlenbergwerk» in Kandergrund zu errichten. Deggeller wird zum Direktor ernannt.

Ende 1787 lässt Deggeller bei der Engibrügg, wo Kohlenspurten auftreten, einen Stollen vortreiben. Ferner erwähnt er ein fünf Schuh mächtiges Flöz an der Schlafegg-Fluh.

Ende 1790 wird der staatliche Bergwerkbetrieb eingestellt, da die Kohle ihrer schlechten Qualität wegen nicht abgesetzt werden kann. Die gesamte Kohlenförderung in den drei Jahren betrug 13 523

Bergzentner zu 115 Pfund. Trotz seines ziemlich unrühmlichen Endes hatte das staatliche Kohlenbergwerk für das Tal eine gewisse volkswirtschaftliche Bedeutung. Die Staatskasse wendete mehr als 4000 Kronen dafür auf, wovon etwa 3000 Kronen (ungefähr 10 000 damaligen Tagelöhnen entsprechend) im Lande blieben.

- 1795 unterbreitet Bergdirektor Joh. Sam. Gruner aus Aarau der Berner Regierung einen Bericht über einen eventuellen Wiederangriff der Steinkohlengruben zu Frutigen. Die Regierung ist aber, durch ihre schlechten Erfahrungen gewitzigt, für ein solches Unternehmen nicht mehr zu gewinnen.
- 1797 bildet sich in Thun eine Aktiengesellschaft für Ausbeutung der Kohlenminen im Frutigtal. Sie kann ihre Pläne wegen der politischen Ereignisse des Jahres 1798 nicht ausführen.
- 1801 erteilt die Helvetische Bergwerksadministration dem Komitee der Oberländischen Blei- und Steinkohlenwerke einen Schürfschein zur Ausbeutung der Kandertalerkohlen. Ob diese Gesellschaft die Konzession ausnützte, sagen die Akten im Staatsarchiv nicht. Jedenfalls wird ihr 1840 die Bewilligung wegen Nichterfüllung der Bedingungen wieder entzogen.
- 1842 werden die alten Gruben in den Fluhbändern des Mittagorns (Elsighorn) neu eröffnet.
- 1843 verleiht die Regierung zwei neue Konzessionsbezirke für die Ausbeutung von Anthrazitlagern der rechten (östlichen) Talseite an Richtersäss Christian Reichen im Hasli und Abraham Thönen, Amtsgerichtsweibel in Schwandi, und 1844 einen weiteren an Unterstatthalter Joh. Thönen in Frutigen. Doch war bereits Ende 1844 nach einem Bericht des Regierungsstatthalters von Frutigen die Ausbeutung von Steinkohlen gänzlich erloschen.
- 1860 erhält Tuchfabrikant Samuel Brügger aus Kien eine umfassende Konzession für die Ausbeutung von Steinkohlen in der Gemeinde Kandergrund. Er fördert am Elsighorn einige hundert Zentner und treibt den Engibrüggstollen ohne grossen Erfolg weiter vor. Die von Brügger geförderte Kohle vermag aber nach dem Anschluss der Schweiz an das europäische Eisenbahnnetz nicht mehr mit den rheinischen und französischen Steinkohlen zu konkurrieren. Die Regierung lehnt daher im Frühjahr 1866 ab, sich an einer von Brügger beabsichtigten Gründung einer Aktiengesellschaft finanziell zu beteiligen. Da Brügger die Staatsgebühren nicht bezahlt und überdies konkursiert, wird seine Konzession 1875 gelöscht und
- 1876 für ein Jahr an Hylarius Rhyner, Schiefermeister von Elm, und Jakob Trummer, Badbesitzer in Frutigen, übertragen. Die beiden beabsichtigen den Engibrüggstollen in anderer Richtung neu vorzutreiben. Über den Erfolg dieser Grabungen ist nichts zu erfahren.
- 1896 lässt Leo Wehrli im Auftrag der Kohlenkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft die damals bekannten Kandergrunder Vorkommen frisch anschürfen. Seine Befunde waren, was aufgeschlossene und eventuell zu fördernde Kohlenmengen anbetrifft, ziemlich negativ. Da auch H. Adrian (Lit. 1) nach eingehender geologischer Untersuchung der Kandertaler Region den gefundenen Kohlenspurten keine wirtschaftliche Bedeutung zumisst, ist es nicht verwunderlich, dass während der Mangelzeiten des Weltkrieges 1914—1918 neue Schürfversuche unterbleiben.
- 1906—1913 Beim Bau der Lötschbergbahn stösst man im Bunderbach-Kehrtunnel auf vereinzelte Steinkohlenschichten von bis 30 cm Mächtigkeit. Laut Angaben des leitenden Ingenieurs mögen etwa 30—40 Zentner Kohlen gewonnen worden sein, welche, mit Anthrazit gemischt, als Heizmaterial dienten.

- Der zweite Weltkrieg von 1939-1945 erweckt den Kandertaler Kohlenbergbau zu neuem Leben.
- 1940 entdeckt ein Vorarbeiter der Zündwarenfabrik Kandergrund namens Iten mit seinen Söhnen die alten Grubenbaue des ehemaligen Staatsbetriebes. Er bewirbt sich um eine Konzession und gründet zusammen mit dem Besitzer der Tonwarenfabrik von Arx in Holderbank, in die

er inzwischen übergetreten ist, trotz abschlägiger geologischer Gutachten, eine G.m.b.H. zur Förderung von Kanderkohlen. Bereits im April 1940 setzt der Abbau mit bescheidenen Mitteln ein. Ende des zweiten Jahres geht die Grube in den Besitz der Kanderkohle A.G., Kandergrund, über, die die Produktion Ende April 1946 wegen Erschöpfung des Kohlenlagers einstellen muss.

Da bei der herrschenden Kohlenknappheit die schweizerischen Kohlengruben bald zu begehrten Spekulationsobjekten werden, beginnt sich der Kandergrunder Zündholzfabrikant Walther Gehring ebenfalls für die schwarzen Bodenschätze seiner engern Heimat zu interessieren. Er lässt an verschiedenen Stellen des westlichen Talhanges schürfen und bei Balmen und «Gygens Baracke» Sondierstollen vortreiben. Die Ergebnisse entsprechen nicht den Erwartungen, dagegen wird ein neu entdeckter Aufschluss in 1662 m Höhe ungefähr 350 m südwestlich der Alp Horn fündig. Trotzdem ein eingeholtes geologisches Gutachten ganz ungünstig lautet, wird

1942 die erworbene Konzession ausgenützt und im April mit dem Abbau begonnen. Der Optimismus erweist sich als gerechtfertigt. Unter der Firma Bergbaugesellschaft Kandergrund A.G. entwickelt sich das Unternehmen im Laufe des Krieges zur bedeutendsten Kandertaler Kohlengrube, die noch heute im Betrieb steht.

1942 werden grosse Industrieunternehmungen auf die Kohlenvorkommen der östlichen Talseite aufmerksam. Da günstige geologische Prognosen und verschiedene Schürfungen Erfolg versprechen, gründen Ciba A.G., Basel, Cellulosefabrik Attisholz A.G., Zuckerfabrik und Raffinerie Aarberg A.G. und die Ludwig von Roll'schen Eisenwerke in Gerlafingen die Bergwerk Schlafegg A.G., welche im Sommer 1943 südöstlich der Alp Schlafegg über dem Grimer in den untersten Fluhbändern die ersten Stollen vortreibt. Auch diese Grube arbeitet während des ganzen Krieges bis Anfang März 1946.

b) ÄLTERE BERGBAULICHE UND GEOLOGISCHE BERICHTE UND GUTACHTEN

Die erste genauere Beschreibung von Kohlenfundstellen der westlichen Talseite stammt von einem Bergknappen Baumann, dessen Bericht am 14. September 1786 von Bergverwalter Deggeller an Artilleriehauptmann von Steiger, Mitglied der Bergwerkskommission, weitergeleitet wurde. Die genaue Fundstelle wird nicht bezeichnet; es handelt sich jedenfalls, da ein verlassener Stollen erwähnt wird, um den alten Abbau in der Konzession Trüchen und Pieren. Baumann erklärte Deggeller, «dass dieses Flöz sich gänzlich auf den Kopf gestürzt und sein Fallendes in die Theuffe zu machen das Ansehen habe, dass das Flöz an der linken Seite am Gebirg von der Theuffe hinauf seine Verflechtung genommen, und sich gegen die rechte Seite gestürzt.» Dieses Wesen sei nicht «als ein Flöz, sondern vor ein Stockwerk zu halten. Die Kohlen in der Theuffe sollen durch Prob besser als die oberen gebrannt, aber doch keine Flammen gegeben haben.» Ferner habe Baumann «10—11 Lachter (ca. 20 m) rechter Hand hinauf des Gebirgs einen Schurf geworfen und ein Flöz von 10 bis 18 Zoll (26—47 cm) mächtig mit weit besseren und brennbareren pfauenschweifichten mit Blumen versehenen Kohlen angetroffen.» (Dass diese merkwürdige Beschreibung mehr als nur blühende Phantasie ist, wird später gezeigt werden). «Dieses Flöz gleicht dem ersten gar nichts, weilen diese Kohlen eine gänzliche Bäch-arth (Pech-art) mit sich führen sollen, auch soll dieses Flöz das Ansehen haben, als wan es under dem vorgemelten ersten Flöz durchzusetzen verlangte.» Auf Grund dieses Berichtes vermutete Deggeller, dass die beiden Flöze ins Gebirge hinein fortsetzen und an Mächtigkeit und Qualität zunehmen könnten.

Als die Kohlen des staatlichen Bergwerkbetriebes nicht den erwarteten Absatz fanden, liess die Regierung 1788 durch den preussischen Oberbergrat Joh. Jac. Ferber in Bern Versuche mit Kandergrunder Kohle anstellen. In seinem Befinden vom 8. August stellt Ferber fest:

- « 1. Dass dieselben zwar langsam zünden, aber nachher eine starke und lange anhaltende Flamme und Hitze ergeben.
2. Dass sie wenig Schwefel enthalten, indem nach dem Feuerfangen zwar ein vitriolsaurer Geruch empfunden wird, der aber, sobald sie in Glut gerathen, verschwindet. Die Schmiede können also die Kohlen gebrauchen, ohne Furcht, dass der Schwefel das Eisen angreife.
3. Dass sie nach dem Brennen weder Asche noch Schlacke, sondern eine steinigte Masse von der Gestalt der Kohle zurücklassen. Diese Erscheinung beweist zwar, dass sie kein häufiges Bitumen enthalten

und sich nicht zu Coaks abschwefeln und gebrauchen lassen; dass sie aber dennoch Bitumen genug enthalten, um lange zu brennen und eine starke Flamme und Hitze zu geben, so können sie zum Kalk- und Ziegelbrennen, zum Destilliren und zu verschiedenem anderen ökonomischen Gebrauch mit Nutzen angewandt werden.

4. Dass sie von den Schmieden zu Eisenarbeiten mit viel Vortheil gegen die Kosten der Holzkohlen zu gebrauchen sind. Wenn man gleich vorgegeben hat, dass sich kein Eisen mit diesen Kohlen gut schweissen lasse, so haben doch die dessfalls in der Eisenhammerschmiede an der Matte bei Bern angestellten Versuche das Gegentheil hinlänglich dargetan...

Ganz anders urtheilte wenig später ein neuer Begutachter namens Claiss. In einem «Pro Memoria» an die Regierung Berns vom 15. März 1789 schreibt er: «Die Steinkohlen von Frutigen, so ich vergangenes Jahr gesehen zum Ziegelbrennen gebrauchen, waren nichts anderes als eine Taube-Kohl, die man anderen Orten auf die Halden stürzt. Es ist nicht zu vermuten, dass dieses Flöz ohne eine derbe Pechkohl, in einer grösseren Teuff sich vorfinde.» Da dieser Schatz der Natur aber ein wohldienendes Mittel für den Wohlstand der Stadt Bern sei, schlägt Claiss der Regierung, trotz seines vernichtenden Befundes, vor, nicht bei einer Probe stillzustehen und die Sache wieder in Vergessenheit geraten zu lassen. «Nein, es muss guter Wille, Ohnverdrossenheit und Vatterlandsiebe den Director dieses Unternehmens beseelen, der alle Hindernisse zu beseitigen und nur an gute, nützliche Aussichten sich zu heften weiss.» Die gegenteiligen Ergebnisse der Ferber'schen und Claiss'schen Untersuchungen mögen wohl daher rühren, dass Ferber seine Versuche mit möglichst reinen Kohlenstücken ausführte, welche von Deggeller, dem natürlich das Fortbestehen des Bergwerkes stark am Herzen lag, selbst ausgelesen wurden, während Claiss schlechtes, vorwiegend Steine haltendes Verkaufsgut verwendete.

Da das Hochobrigkeitliche Steinkohlenbergwerk in Kandergrund nicht gedeihen wollte, holte die Bergwerkskommission ein neues Gutachten ein, dessen Kopie mit Datum 5. November 1789 ohne Verfasserangabe in den Bergbauakten des Staatsarchivs aufbewahrt ist. Der sehr ausführliche, in vielen Teilen fast modern anmutende Bericht stammt wahrscheinlich von Bergdirektor Joh. Sam. Gruner, welcher wohl zu seiner Zeit der am besten ausgebildete schweizerische Grubenfachmann war. Im ersten Abschnitt des Gutachtens werden Lage und natürliche Beschaffenheit des Grubengeländes eingehend beschrieben.

«An diesem letzteren östlichen, äusserst steilen und escarpirten Gehänge des Gebirgszuges, welches den Kandergrund auf dessen Westseite einschliesst, liegt die Grube, und zwar von dem Ende des Gebirges bey Frutigen, cirka drey Viertel Stunden südwärts und von der Fläche des Thales etwa 1½ Stunde hoch, ohngefähr an der halben Höhe des Gebirges, und man kann geographice annehmen, dass diese Grube sich zwischen den beyden kleinen im Kandergrunde liegenden Dörfern Salzgebi und Mitholz in der Gegend der auf diesem Gebirgsgrat stehenden Bergspitze, das Elsighorn genannt, liege.»

Es folgen Angaben über die nähere Umgebung der Grube, aus denen zu schliessen ist, dass es sich um die gleichen Vorkommen handelt, in denen die Grube Lindi der Kanderkohle A.G. ihre Stollen vortrieb.

Von ausgezeichneter Beobachtungsgabe und vorzüglichen geologischen Kenntnissen zeugt das Kapitel über die «Innere Beschaffenheit des Gebirges, worin dieses Kohlenflöz liegt».

«Das Gebirge, worin dieses Kohlenflöz liegt, besteht in dieser Gegend ganz aus Flözgebirgsmasse von der zweiten Entstehung, mit vielen Versteinerungen. Kalkartige, thonartige und sandsteinartige Gebirgsarten wechseln in dickeren und dünneren Schichten darin auf eine sehr verschiedentliche Art miteinander ab. Alle diese Schichten, unter deren Zahl auch die Kohlenschicht begriffen ist, schiessen unter einem Winkel von ohngefähr 10—15 Graden gegen West-Südwest ein, so daraus folgende drey wichtige Hauptverhältnisse in der Lage der Kohlenschicht entspringen:

1. Dass alle Schichten, woraus dieses Gebirge entsteht, an dem gegen den Kandergrund hinabhängenden Abhange zu Tage ausgehen, so dass an diesem Abhange, an welchem die Grube liegt, alle Profile der Schichten des Gebirgs sichtlich, und derselbe ganz aus diesen Profilen besteht.
2. Dass weil das Gebirgsjoch, in welchem diese Schicht liegt, von Süden nach Norden streicht, die Kohlengrube aber auf dem östlichen Abhange dieses Gebirgsjoches liegt, die Kohlenschichte in den Berg hinein falle müsse.
3. Dass ferner das Ausgehende sich an dieser Gebirgs oberfläche gegen Norden hoch am Gebirge, gegen Süden aber tief an demselben, und gar in der Fläche des Thals befinden müsse.»

Diese Überlegungen führen den Begutachter zur Ansicht, dass die gleiche Kohlenschicht entweder um vieles tiefer am Gebirge oder ganz im Tal etwa auf der Höhe von Mitholz ebenfalls zu finden sei. Es will ihm daher

nicht einleuchten, warum man dieses Kohlenflöz gerade auf dem allerbeschwerlichsten Punkt, der möglich ist, angegriffen hat. — Interessant ist, wie solche Ansichten heute noch in den Köpfen der Talbewohner spuken; verschiedene Schürfungen in den untersten Hangpartien der Blauseegegend bestätigen dies.

Die stratigraphische Beschreibung der kohlenführenden Schichten ist nicht besonders klar; Vergleiche mit heutigen Befunden sind schwer zu ziehen. «Das Gestein, welches dem Kohlenflöz zum Dache dient, besteht aus dicken Schichten von unreinem mit Thon und Sand gemengten Kalkstein. In der Sohle hat das Flöz ein braunes Gestein, welches einem sandigen Mergel am nächsten zu kommen scheint, ohngeachtet ich es nirgends frisch, sondern bloss verwittert gesehen habe. Dieses Gestein ist in Ansehung seiner ausgezeichneten Farbe und seiner leichten und schnellen Verwitterung wegen für die Kohlschicht und ihre Identität charakteristisch».

Über die Beschaffenheit des Kohlenflözes selbst lasse sich wenig Genaueres sagen. «Man hat nemlich die Grube just auf einem Punkte angelegt, wo ein wirklicher Gang (von den Flözbergleuten Rücken, zuweilen auch Wechsel genannt) die Kohlschicht mit allen den sie bedeckenden und ihr zur Unterlage dienenden Schichten durchsetzt. Dieser Gang, welcher an und für sich taub, und im ganzen nicht über 8—10 Zoll (21—26 cm) mächtig ist und die Kohlschicht auch nur um höchstens 2—3 Fuss (63—94 cm) verwirft, bildet aber auf dem Punkt, wo er diese Schicht durchschneidet, eine Art von Bauch und wird einige Fuss mächtig. In diesem Bauch befanden sich eine gute Parthie unordentlich und verworren übereinander liegende Steinkohlenklumpen, welche aber ungemein mit taubem Gestein gemengt waren. Dieser Bauch währte in der Länge nur einige Lachter (1 Lachter = 80 Zoll = 2,0924 m) und man sah sich genöthiget, die Steinkohlen auf dem eigentlichen Flöz aufzusuchen, welches aber wegen der Zerrüttung, die der Gang darauf gemacht, etwas intricat war». Dem Verfasser war die tektonische Zerrüttung der Lagerstätte nicht entgangen; er sah sowohl die linsige, unregelmässige Beschaffenheit des Flözes, wie auch seine Durchmischung mit taubem Nebengestein. Er schreibt: «Soviel ich auf dem eigentlichen Flöz bemerken konnte, waren auch daselbst die Kohlen nicht rein, sondern ganze Parthien schwarzer Kalkstein und eine Art glänzende thonigten Kohlschiefer darinnen gemengt».

Den Misserfolg «dieses sehr uneigentlich sogenannten Bergwerkes» sieht der Fachmann aber vor allem in der gänzlich unbergmännischen Grubenanlage. «Übrigens sind die Löcher, welche man auf diesem Kohlenflöz ausgehauen hat, so unregelmässig und zweckwidrig betrieben, dass man nicht das geringste Licht über die Natur und Bauwürdigkeit des Flözes erhalten kann; die Hamster und Dachse legen ihre unterirdischen Baue vernünftiger an, und würden den Unternehmer dieser Grube beschämen».

Um die Kohlenqualität zu verbessern, wird eine Aufbereitung des Fördergutes durch gründliches Sortieren empfohlen. Es sei nicht verwunderlich, dass diese Kohlen weder von den Schmieden noch von den Kalkbrennern verwendet werden könnten, da bisher alles, was schwarz war, als Kohle angesehen und ins Magazin transportiert wurde. «Ich kann mit Zuversicht behaupten, dass dieselben wenigstens für die Kalkbrennerei sehr tauglich wären, wenn man bloss Steinkohlen und keine tauben Steine dafür brauchte.»

Im zweiten Abschnitt des Berichtes gibt der Verfasser eine genaue Beschreibung des Grubenbaus und der Abbaumethoden. Das Ergebnis seiner Untersuchungen fasst er zusammen in den Worten: «Mir genügt, gezeigt zu haben, dass die Unternehmung in allen Theilen ohne Sachkenntnis ausgeführt worden ist, und dass daraus weder auf die Qualität der Kohlen, noch auf die Bauwürdigkeit des Flözes im geringsten zu schliessen ist».

c) NEUERE GEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Die erste stratigraphische Einordnung der Kandergrunder Kohlen stammt von Bernhard Studer (Lit. 30). In seiner 1834 erschienenen «Geologie der westlichen Schweizeralpen» beschreibt er im Kapitel über die Gebirgsmasse des Wildhorns die Vorkommen der beiden Talseiten. Nach ihm gehören die Lager in die Gruppe des Nummulitenkalkes. Wie das betreffende Profil in seinem Atlas zeigt, liegt ein Aufschluss in der verschuppten Zone unter der Elsighornantiklinale zwischen Elsighorn (Pt. 2341,3 L. K.) und Mittaghorn (Pt. 2168,5 L. K.). Studer gibt folgende Einzelheiten: «Das Lager hat bei anderthalb Fuss Mächtigkeit, und mehrere dünne Kohlstreifen laufen damit parallel. Das Nebengestein ist ein schwarzer grobschiefriger, z. T. bituminöser Kalk, ganz übereinstimmend mit dem Kalkschiefer, der auf Anzeindaz die Kohle begleitet, und besonders über der Kohle, ist dasselbe mit Trümmern von Petrefacten angefüllt, die, soweit sie sich noch erkennen lassen, mit denjenigen der Diablerets übereinstimmen. Die Grundlage der schwarzen Kalkschiefer (= Brackwasserschicht nach heutiger Bezeichnung) bildet ein rauchgrauer dichter Kalk, mit vielen Spathschüppchen, zum Körnigen sich neigend, von weissen und gelblich braunen Spathadern durchzogen, in mächtigen Schichten abgesondert (= Schrattenkalk nach heutiger Bezeichnung). Mächtige Kalkfelsen erheben sich auch über der Kohle zu hohen Abstürzen».

Von der Schlafeggseite werden Nester und Adern von Steinkohle im Sandstein erwähnt.

Über die Kohlenart schreibt Studer: «Dieselbe ist glänzend schwarz, z. Theil irisirend, auch wohl durch zersetzte Schwefelkiese rostbraun, blättrigkörnig mit kleinschligem Bruch, schwer entzündbar und einen bedeutenden erdigen Rückstand lassend. Man darf ihr vielleicht einen animalischen Ursprung zuschreiben, so sie aufs Engste mit Meerconchilien in Verbindung steht, und, so wenig als ihr Nebengestein, irgend eine Spur von Pflanzenüberresten enthält».

1896 besuchte Leo Wehrli (Lit. 33) die alten Aufschlüsse am E-Hang des Elsighorns. Er fand im sog. Flöhbalmgraben in etwa 1350 m Höhe ein kleines Kohlennest (Stollen II der heutigen Grube Lindi), dessen stratigraphische Stellung er folgendermassen kennzeichnet:

? m Kalkbänke, stellenweise diskordant auf der Unterlage

2 m Mergel

1 m Kohle, brecciös, innerlich verrutscht, an der Basis fast anthrazitisch, nach oben mit Mergeln vermischt.

? m knollige Flyschmergel mit kleinen Kohleblättchen.

Ein weiteres Flöz, welches er einem andern stratigraphischen Horizont zurechnet, liegt 150 m nach ESE und 30 m tiefer (Fuchsstollen der heutigen Grube Lindi). Einige 1—15 cm mächtige Kohleschmitzen durchsetzen stark dislozierte, knollige Flyschmergel, welche mit grobspätigen Kalkbänken wechsellagern. Die Kohle ist stark glänzend und anthrazitisch; zahlreiche Verwerfungsklüftchen geben ihr ein feinbröckliges Aussehen.

L. Wehrli's Flyschkalk lässt sich wohl mit den kohletragenden Brackwasserschichten identifizieren, da seine aus diesem «Flysch» gesammelten Fossilien wie *Cardium granulosum* LAM. und *Cerithium Diaboli* BROGN. der Stufe des oberen Parisian (nach Bestimmung und Auffassung von K. Mayer-Eymar) angehören. Die Kohlenspur der östlichen Talflanke erwähnt L. Wehrli ebenfalls. Er konnte sie von der «Roten Fluh» ob dem Grimer durch den obersten Teil der Bunderbachrunse bis gegen die Alp Tschingel verfolgen. Zwischen hangendem eocaenem Sandstein und liegendem Schrattenkalk fand er bis 2 m mächtige, kohlenhaltige Mergel, welche stellenweise dünne, kohlige Linsen einschliessen. An einer Stelle soll eine 10 cm dicke Kohlenlage eine Art Kluft im Sandstein ausfüllen.

Die vorzügliche, 1915 erschienene Arbeit «Geologische Untersuchung der beiden Seiten des Kandertales» von H. Adrian (Lit. 1) stellt die Kohlenvorkommen auf Grund umfassender Feldbeobachtungen zum ersten Mal in den Rahmen der Stratigraphie und Tektonik dieser Gebirgsgruppe. Auf die Ansichten und Ergebnisse H. Adrians muss weiter unten eingetreten werden. Hier sei nur erwähnt, dass dieser Autor die kohlenführenden Brackwasserschichten zum Teil ins (nach J. Boussac) Auversien (südlichere Fazies) zum Teil ins Priabonien (nördlichere Fazies) einordnet.

Seit 1940 ist über die Kandergrunder Kohle eine umfangreiche, allerdings fast ausschliesslich inoffizielle Literatur entstanden. Mehr als ein Dutzend Geologen verschiedener Schulen und Interessenrichtungen haben in vielen Gutachten den Bergwerkunternehmungen ihre Ratschläge erteilt. Auf diese Arbeiten soll nicht eingegangen werden, da ihre Ergebnisse fast durchwegs entweder auf vorgefassten Theorien oder auf zu wenig eingehenden Feldbeobachtungen beruhen. Dagegen müssen wir eine vorläufige Mitteilung von E. A. Ritter (Lit. 19) über die Grube Schlafegg berücksichtigen.

3. Tektonische und stratigraphische Übersicht des Gebietes

Die Kohlenvorkommen des Kandertals liegen in den beiden Berghängen des Giesenengrates und des Elsighorns, welche das Kandertal zwischen Frutigen und Blausee-Mitholz begrenzen. Sie gehören dem Gesteinsverband der Wildhorn-Decke an, die im Kandertal den Tavayannaz-Sandstein der Diablerets-Decke überfahren hat, welcher seinerseits über dem ultrahelvetischen Wildflysch des Talgrundes liegt.

H. Adrian (Lit. 1) gliedert die Wildhorn-Decke des Kandertals in Randkette mit nördlicher Fazies und Dreispitzfalte mit südlicher Fazies. Die Randkette wird nach diesem Autor aus fünf Antiklinalen und vier Synklinalen (I—IV) aufgebaut, während die Dreispitz-Falte sich aus einer Antiklinale sowie einer nördlichen (V) und einer südlichen Synklinale zusammensetzt. Die Profile H. Adrians versuchen, sämtliche tektonischen Elemente der beiden Seiten über das Tal hinweg miteinander zu verbinden, wobei der Ausgangspunkt die Parallele Hutmaadmulse (Dreispitz) - Aermigenmulse (Aermighorn) - Gollitschenmulse ist. Diese eingehende Parallelisation wurde erstmals von H. P. Schaub (Lit. 22) einer Kritik unterzogen. Der parallele Verlauf der Isopen der Eocaentransgression mit den Faltenachsen der Wildhorn-Decke zwischen Wildhorn und Dreispitz bewogen ihn zu einer neuen Gleichstellung der südlichsten Falten und Mulden der Wildhorn-Decke. Die Aermigenmulse wird zum Aequivalent der Rawilmulse; sie setzt westlich des Kandertals in das Nühorn und den

Lohnerwestgrat fort, während die nördlich anschliessende Gollitschenmulde der Iffigenmulde entspricht und nach Osten in die Tschingel-Synklinale (Synklinale IV nach H. Adrian) am Giesenengrat streicht. Die Adrian'sche Gleichstellung der nördlich anschliessenden Synklinalen über das Kandertal hinweg ist daher nicht mehr haltbar; sie wird noch besonders unwahrscheinlich bei genauem Studium des Verlaufs tektonischer Teilelemente im Bergesinnern. Die östliche Talseite zeigt eine relativ einfache Faltentektonik, wobei die hangenden Schenkel der Synklinalen teils gut erhalten, teils an ausgequetschten Schrattenkalkresten erkennbar sind. Die westliche Talseite dagegen wird charakterisiert durch die weit nach Norden ausgezogene und überkippte Elsighornantiklinale, welche sich in ihrem gleichförmigen Verlauf scharf vom Schuppenbau des liegenden Bergsockels unterscheidet.

Die Kandertaler Kohlen liegen im Gebiet der Randkette, die sich gegenüber der Dreispitzfalte stratigraphisch durch eine unvollständigere, geringer mächtige Schichtserie mit noch ausgesprochener vorherrschendem Flachmeercharakter auszeichnet. Sie umfasst nur die untere Kreide von Valanginien bis zum Barrémien (unterer Schrattenkalk) und die mitteleocaenen Schichtglieder des Priabonien s. l. Da die mittel- und obereocaene Gesteinsfolge von den Bearbeitern je nach Untersuchungsgebiet verschieden unterteilt wird, versuchen wir in Tab. 1, die gebräuchlichen Stufennamen einander gegenüberzustellen und die tertiären Schichtglieder der Randkette in dieser Tabelle einzuordnen.

	Randkette der Wildhorn- Decke im Kandertal	K. Mayer-Eymar 1887	Arnold Heim 1908	J. Boussac 1909	Bassin de Paris nach Leriche & Gignoux 1936	Hampshire basin nach P. G. H. Boswell in Evans & Gignoux 1936	W. Leupold Helvetische Decken 1946
Oberes Eocaen	fehlt	unteres Li- gurian	Ludien	Priabonien	Ludien	Bartonian (Marinesian)	Priabonien
	Globigerinen- schiefer Lithothamnienkalk Sandschiefer etc.	Bartonian s.l.	Bartonien s. str. (Wemme- lien)		Lédien	Ledian (Auversian)	
Mittleres Eocaen	Hohgantschiefer Hohgantsandstein Brackwasser- schichten s. l.		Auversien	Auversien		-	
	fehlt	Parisian	Lutétien	Lutétien	Lutétien	Lutetian	Lutétien

Tab. 1. Übersicht der Stufeneinteilung des mittleren und oberen Eocaens

Im ganzen untersuchten Gebiet liegen die kohleführenden Brackwasserschichten auf unterem Schrattenkalk. Lokale Lagerung auf Drusbergschichten kann beobachtet werden, stets handelt es sich aber um tektonisch bedingte Kontakte (Schlafegg Hauptbruch 3). Das Hangende der Brackwasserschichten bildet, durch das von Süden nach Norden erfolgte Vorrücken der Eocaentransgression bedingt, in den südlichen Falten und Schuppen Hohgantsandstein, während in den nördlichsten tektonischen Elementen Lithothamnienkalk unmittelbar über dem Flözhorizont zur Ablagerung gelangte.

B. Die Lagerstätten

I. Geographische Lage der Kohlengruben

Auf Kartenausschnitt und Übersichtsphotos (Taf. I) ist die genaue geographische Lage der drei Gruben und der anderen Kohlenfundstellen eingetragen.

Grube Schlafegg E-Seite des Kandertals (Fig. 1).
Mundloch des Hauptstollens Koord. 619 258/155 777 L. K. Kote 1798,0 m.
Zugangsweg über Rüteni-Grimer (siehe Kartenausschnitt).

Grube Horn W-Seite des Kandertals (Fig. 2).
Mundloch des Hauptstollens Koord. 615 542/154 988 L. K. Kote 1662,38 m.
Zugangsweg über Balmen-Horn (siehe Kartenausschnitt).

Grube Lindi W-Seite des Kandertals. Tafel IV, Abb. 8.
Mundloch des Hauptstollens Koord. 616 570/153 940 L. K. Kote 1286,03 m.
Zugangsweg auf der Photo eingetragen.

II. Stratigraphie der Brackwasserschichten und ihrer angrenzenden Schichtglieder

H. Adrian (Lit. 1) unterscheidet in seinen stratigraphischen Profilen durch die Kandertaler Schichtserie Brackwasserschichten des Priabonien von solchen zwischen Schrattenkalk und Auversien. Zu den ersteren zählt er alle Vorkommen, welche Lithothamnienkalk als Hangendes haben, während die letzteren von Hohgantsandstein überlagert werden. Heute muss die Zweiteilung Auversien/Priabonien wegfallen, da W. Leupold an der letzten Flyschtagung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in Basel (27.—28. April 1946) darlegte, dass sich Mittel- und Obereocaen der helvetischen Schichtreihe vorderhand nur in Lutétien und Priabonien s. l. gliedern lassen (Tab. 1). Wir stellen daher die Brackwasserschichten der Wildhorn-Decke des Kandertals an die Basis des Priaboniens.

Das Liegende der kohleführenden Brackwasserschichten ist in sämtlichen untersuchten Aufschlüssen der Untere Schrattenkalk in Urgonfazies (Barrémien, untere Kreide). Der hellgraue, schlecht geschichtete, klotzige Kalk erweist sich im Schriff als organogen und stark oolithisch. Seine hauptsächlichsten Komponenten sind Milioliden, meist umkrustet, Orbitolinen, Bryozoen, Echinodermensplitter und kleine Rynchonellen. Beginnende Marmorisierung deutet auf alpine Dynamometamorphose hin. — Der Schrattenkalk zeigt alle Spuren einer alten verkarsteten Festlandfläche. Während auf Schlafegg und Horn das ehemalige Karrenrelief durch nachträgliche tektonische Über- und Verschiebungen teilweise stark abgehobelt wurde, ist es im Gebiet der Grube Lindi sehr schön erhalten geblieben. Hier treffen wir Reviere, in denen Karren von 2—3 m Tiefe die Regel bilden. Einzelne Rinnen wurden durch die Oberflächenwasser sogar bis 12 m tief ausgewaschen (Fig. 3). Charakteristisch sind Rückstände, die bei der Auflösung des Kalkes als seine unlöslichen oder schwerlöslichen Beimengungen (Ton, Fe- und Mn-Verbindungen, Quarz) zurückblieben. Diese wasserdurchtränkten, plastischen,

Fig. 1

Silo, Wohnbaracken und Schutthalde der Kohlengrube
Schlafegg

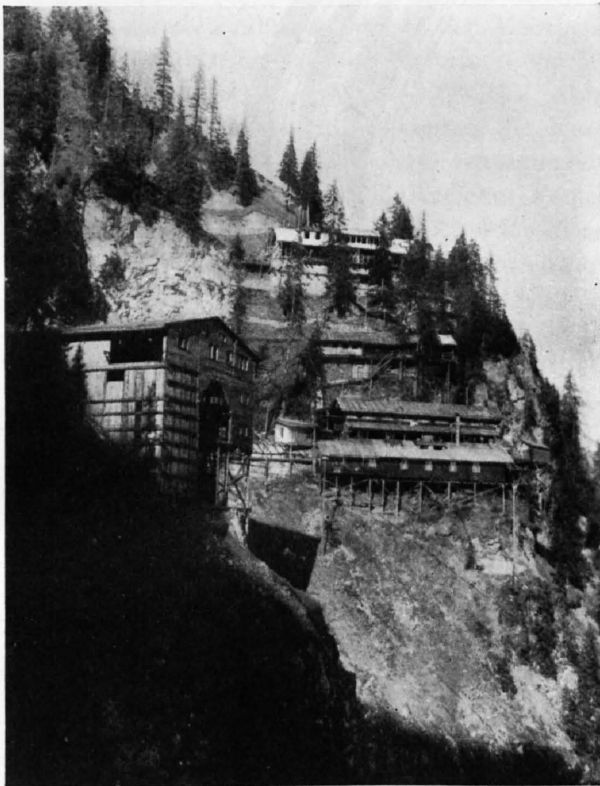


Fig. 2

Silo und Wohnbaracken der Kohlengrube Horn



Fig. 3

Grube Lindi, Stollenaufnahme, oberste Partie einer ehemals mit
Kohle angefüllten 12 m tiefen Erosionsrinne im Schrattenkalk

Fig. 4. Querprofil durch die Brackwasserschichten
der Grube Lindi

1:70

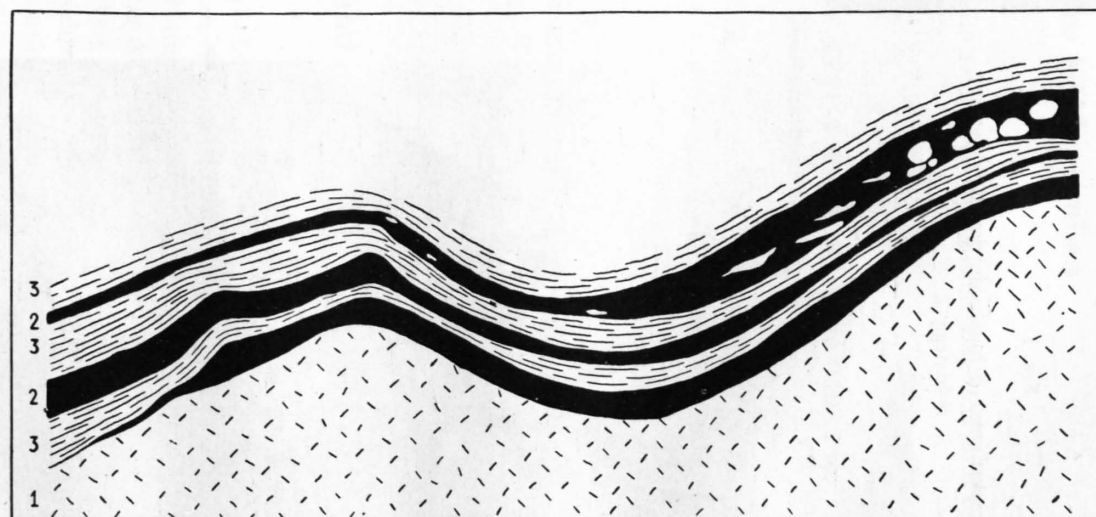
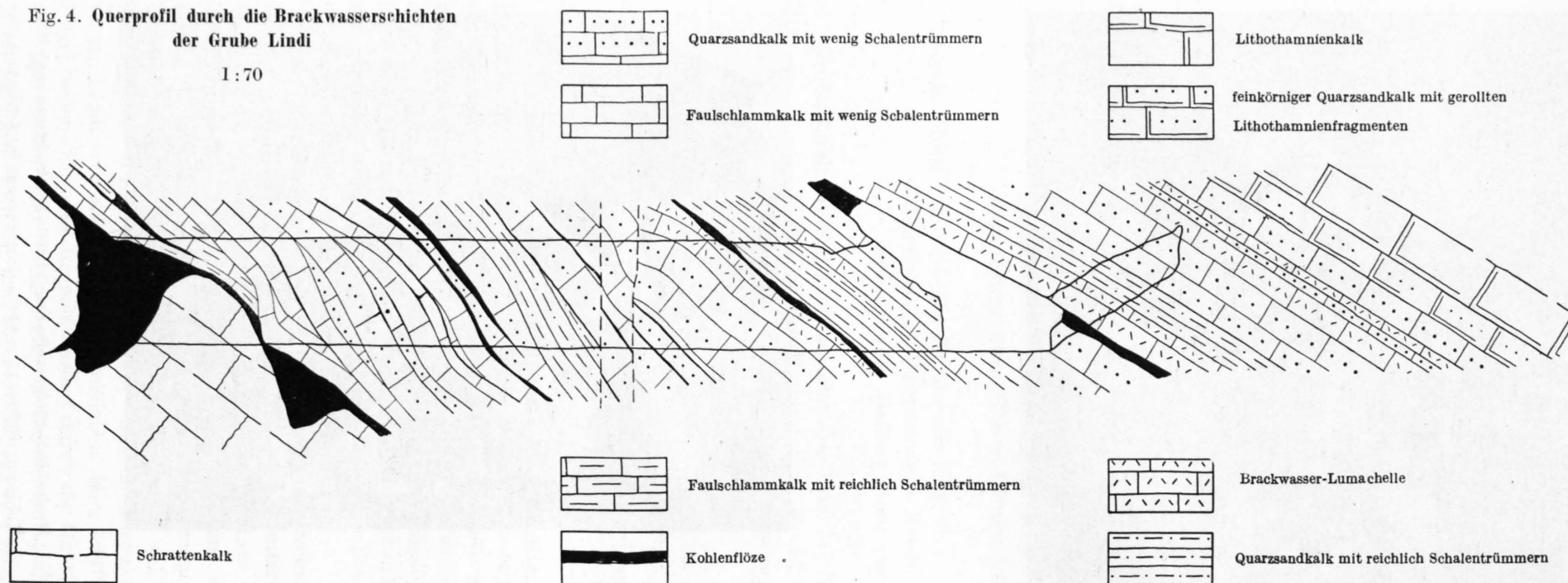


Fig. 5. Stollenprofil aus der Kohlengrube von Stermaz (Albona, Istrien) aufgenommen von Prof. Dr. R. Battaglia, Padova (ca. 1:110)

1 Kreidekalk mit unregelmässiger verkarsteter Oberfläche

2 Kohlenflöze, stellenweise mit erdig gelblichen, den Gesteinen der Schicht 3 ähnlichen Brocken

3 dunkelbraune, sandig-mergelige Schichten, gelegentlich gefaltet, darüber folgen typische Cosina-Schichten

ockerfarbigen bis rötlichbraunen Verwitterungslehme kleiden gelegentlich einzelne Karren aus und füllen grössere und kleinere Klüfte im Schrattenkalk.

Über dieser Landfläche der untern Kreide liegt der Verband kohleführender Brackwasserschichten. In seiner heutigen Erscheinungsform erweist sich dieser Horizont als weitgehend tektonisch beeinflusst. Alle tektonisch bedingten Ausbildungsformen sollen im Kapitel Tektonik erläutert werden. Hier beschränken wir uns darauf, die verschiedenartigen Brackwassergesteine mit Ausnahme der Kohlen zu beschreiben und die Sedimentationsvorgänge zu rekonstruieren.

In der Grube Lindi konnten wir in einem Querschlag ein genaues Detailprofil durch relativ wenig gestörte Brackwasserschichten aufnehmen (Fig. 4). Dieses Profil darf als typisch für sämtliche drei Gruben angesehen werden. Es zeigt stratigraphische Verhältnisse, wie sie nach E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) für Karstkohlen*) charakteristisch sind. Ihre Entstehung haben wir uns wie folgt vorzustellen:

Auf der verkarsteten Schrattenkalklandschaft entstanden in flachen, unter dem Niveau des damaligen Karstwasserspiegels liegenden Senken einzelne Niedermoore von lokaler Ausdehnung. Ihre unter warmem, halbaridem Klima gedeihende Pflanzenwelt lieferte das Ausgangsmaterial für ein unbeständiges und ungleichförmiges, dem Schrattenkalk unmittelbar aufliegendes Grundflöz, dessen Mächtigkeit, bedingt durch das verkarstete Liegende, in weiten Grenzen schwankt, jedoch ausserhalb der Rinnen und Taschen 20 cm nur selten übersteigt. An einigen Stellen liegen zwischen Schrattenkalk und Kohle ockerfarbene Verwitterungslehme oder schwarze Sandmergel. Der Dünnschliff solcher Sandmergel zeigt verschieden grosse, eckige bis schlecht gerollte Quarzkörner, welche zusammen mit Algenfragmenten locker angeordnet in der kohlendurchsetzten Mergelgrundmasse schwimmen (Taf. V; Abb. 10).

Wohl als Vorläufer des grossen tertiären Faltungsparoxysmus brachten verstärkte Senkungsbewegungen diese erste Moorlandschaft zu langsamem Absterben. Die Zufuhr von Pflanzenresten reichte nicht mehr aus, um die zunehmende Vertiefung der Moorbecken durch Torfbildung auszugleichen. Freie Wasserflächen, in denen sich zahlreiche Süsswasserformen von Muscheln und Schnecken (*Limnaea*), sowie eine reiche Algenflora, besonders Characeen, ansiedelten (Tafel V; Abb. 11), gewannen die Oberhand. Zusammen mit dem von den Algen ausgefallenen Kalkschlamm gelangten die Reste der andern Organismen in die bodennahen Wasserschichten dieser stillen, wegen Fehlens von Strömungen und grösserer Zuflüsse nur schlecht durchlüfteten Seebecken. Daher kam es zu einer Art kalkreicher Faulschlamm-Bildung, die von anaeroben Schwefelbakterien reichlich durchsetzt war. In unserem Profil werden diese ältesten Faulschlammschichten bis 150 cm mächtig. Im Handstück sind es dichte, gutgebankte, grauschwarze Stinkkalke. Unter dem Mikroskop zeigt sich eine stark pigmentierte, fleckig-schlierige, feinkörnige Kalkgrundmasse (Tafel V; Abb. 12). Pyrit als Zeuge ehemaliger Schwefelbakterientätigkeit durchsetzt sie entweder in Haufen feiner kugeligter Körner oder als grössere Einzelkristalle. In den untersten Bänken sind Muschel- und Schneckenschalenrümmer, Milioliden, sowie Chara-«Samen» (Oogonien) und zellige Algenstengelreste (Tafel V; Abb. 11 u. 13) reichlich vertreten, nach oben werden die Schalenrümmer spärlich. Einsetzende Zuflüsse brachten feinkörnigen Quarzsand in die weiterhin absinkenden Sedimentationswannen, wo er zu fossilfreiem, stark pigmentiertem und pyritdurchsetztem Sandkalk wurde. Damit war ein erster Ablagerungszyklus abgeschlossen. Die Senkungsbewegungen setzten aus, so dass es wieder zu einer allmählichen Verlandung der Seen kommen konnte. Über die in den obern Partien grobkörnigen Sandkalke legten sich wiederum von Algenresten durchsetzte Faulschlammkalke, welche durch eine dünne, 2—4 cm starke Kohlenlage unterteilt und im Hangenden durch ein weiteres, 10—12 cm dickes Flöz begrenzt werden.

Nun setzten die ersten Anzeichen der Eocaentransgression ein. Die Senkungsvorgänge wurden ruckartiger; zwischen und über den zwei folgenden 2—16 cm mächtigen Flözen lagerten sich nicht mehr Faulschlamm-Bildungen, sondern, immer noch als limnische Sedimente, kohlenpigmentierte Quarzsandkalke ab (Taf. V; Abb. 14). Allmählich erreichte das von Süden her vorrückende Meer die Süsswasserbecken und verwandelte sie in brackische Lagunen mit einer an Cerithien reichen Fauna. Die brackische Schichtserie folgt über einem dünnen, 2—5 cm mächtigen Flöz. Ihre Gesteine bestehen aus stark kohlenpigmentierten, schiefrigen Quarzsandkalken mit Schalenrümern und eigentlichen Lumachellen (Taf. V; Abb. 15). Einzelne Schichtflächen tragen gut-erhaltene Abdrücke eingeschwemmter, verschiedenartiger Pflanzenblätter. Zwei Flöze schalten sich ein. Das tiefere, 12—15 cm dicke liegt auf einer Lumachellenbank und wird von schiefrigen Quarzsandkalken überdeckt, während das höhere und zugleich oberste des ganzen kohleführenden Verbandes als 20—60 cm starke Schicht auf feinkörnigen Sandkalk folgt und als Hangendes eine Lumachelle aufweist.

*) E. v. Szádeczky bezeichnet als Karstkohlen solche Kohlen, deren Urmaterial sich in verkarsteter Umgebung anhäufte. Karstkohlen bilden ungleichförmige und unbeständige Grundflöze. Das mittelbare oder unmittelbare Liegende ist zumeist schon vorher verkarsteter Kalkstein, gelegentlich auch Ton, Rotlehm und Bauxit, event. mit Kalkkonglomeraten verbunden. Als Zwischenmittel kommt zumeist Süsswasserkalkstein, oft mit Characeenresten, bzw. dunkler bituminöser Kalkstein vor.

Damit war die Kohlenbildungsepoche abgeschlossen. Die dafür notwendigen Bedingungen bestanden nicht mehr. Transgredierendes Meerwasser drang in die brackischen Lagunen und seichten Uferbuchten ein, wobei die rasche Vorverlegung der Strandlinien verhinderte, dass neue moorige Verlandungszonen während längerer Zeit im gleichen Raum bestehen konnten. Meeresbewohner wie beispielsweise Gastropoden des Genus *Natica* begannen die brackischen Formen zu verdrängen. Die lithologische Gesteinsbeschaffenheit selber lässt den Übergang nur schlecht erkennen. Typisch sind weiterhin nun pyritfreie, feinkörnige, quarzreiche Kalke, zwischen die sich einzelne Lumachellenbänke einschalten. Unter den Fossilien überwiegen Kleinforaminiferen, besonders Milioliden und einzelne Amphisteginen. Nach oben verschwindet langsam die Kohlenpigmentierung der Kalke, ein Zeichen für die Abnahme einsedimentierter organischer Pflanzenpartikel.

3,5 Meter über dem obersten Kohlenflöz treten in einer Bank bräunlich pigmentierter, schwach sandiger Kalke gerollte Lithothamnienbruchstücke auf. Die 50 cm mächtige Schicht bildet den normalen Übergang zu den hangenden Lithothamnienkalken, welche im untersuchten Gebiet, ähnlich wie der Schrattenkalk, hellgraue Felswände bilden. Die der Familie der Steinalgen (*Corallinaceae*) angehörenden Lithothamnien charakterisieren den nach ihnen benannten Kalk als organogene Flachmeerbildung. Dünnschliffe zeigen, dass dieses Gestein etwa zur Hälfte aus zertrümmerten, knolligen Lithothamnien besteht, zwischen denen Milioliden und einzelne Discocyclusen liegen. Wie im Schrattenkalk, so zeugt auch hier zu Calcit umgewandelter Kalk von einer beginnenden Marmorisierung.

Da sowohl Schlafegg als auch Horn gegenüber Lindi in südlicheren tektonischen Einheiten liegen, wurden diese Gebiete von der Eocaentransgression früher erreicht. Es lagerte sich daher über dem Brackwasserkomplex s. l. an Stelle des Lithothamnienkalks der stratigraphisch tiefere Hohgantsandstein ab. Hier kann kein allmählicher Übergang festgestellt werden. Der Hohgantsandstein folgt als ziemlich reiner, zuckerkörniger Quarzsandstein mit kalkigem Bindemittel mit kissenartig gewölbter Unterfläche direkt über dem obersten, 1–5 cm dicken Kohlenflöz, oder, wenn dieses fehlt, über schwarzgrauen Brackwasserkalken. Vielfach zeigt er an seiner Basis grobkörnige Ausbildung, wobei gerollte, erbsen- bis nussgrosse Quarzkomponenten auftreten.

Die vertikale und horizontale Erstreckung der Brackwasserschichten unseres Gebietes wird durch stratigraphische und tektonische Faktoren bestimmt. In diesem Abschnitt soll nur über die ursprüngliche Ablagerungsmächtigkeit und Ausdehnung des kohlenführenden Horizontes ausgesagt werden. Wie dargelegt wurde, sind es Seichtwasserbildungen, die sich in mehr oder weniger zusammenhängenden Senken der Schrattenkalkunterfläche absetzten. Solche primäre Ablagerungsbecken erkennt man im Schrattenkalk der Gruben Schlafegg und Lindi (Taf. II; Abb. 5; Tafel XX) noch ohne weiteres, während in der Grube Horn tektonische Vorgänge die ursprünglichen Sedimentationsverhältnisse weitgehend verwischen. Naturgemäss weisen die Brackwasserschichten im Innern ihrer Sedimentationswannen die grösste Mächtigkeit auf. Im beschriebenen Profil aus der Grube Lindi umfasst der ganze Komplex maximal 14 Meter. Er schliesst bis 9 Flöze ein, die eine Gesamtstärke bis zu 1 Meter erreichen, wobei die Kohlen der Schrattenkalkrinnen und tektonisch bedingte Akkumulationen nicht eingerechnet sind. Der kohlenführende Ablagerungsraum beschränkt sich ziemlich genau auf die Fläche des erschlossenen Grubenareals (siehe Taf. XIX). Die primäre Mächtigkeit der Brackwasserschichten nimmt bis auf wenige Zentimeter ab; ein völliges Aussetzen konnte nicht festgestellt werden.

Auf der östlichen Talseite erscheinen die Brackwasserschichten fast im ganzen Bereich der Tschingelsynklinale (Taf. II, Abb. 5). Ihre Ablagerungen erreichen in der flachen Schrattenkalksenke von Schlafegg bis 6 Meter und schliessen höchstens 6 Flöze mit einer primären Gesamtstärke von maximal 60 cm ein. Ausserhalb des durch die Grubenbaue erschlossenen Gebietes dünnen die Brackwasserschichten an der Oberfläche und wahrscheinlich auch im Berginnern gegen Norden und Süden hin bis auf einige Dezimeter (Taf. II, Abb. 5) aus und enthalten nur noch unbedeutende Kohleschmitzen.

Im Gebiet der Grube Horn lässt sich über die ursprüngliche Mächtigkeit der Brackwassersedimente wenig aussagen. Die Schichten wurden tektonisch disloziert und umgeformt und der primäre Flözverband fast durchwegs zerstört. Bemerkenswert ist hier eine lokale Transgressionsbreccie, welche im obren Brackwasserzug (Taf. III, Abb. 7) als ca. 80 cm dicke Bank zwischen Schrattenkalk und Hohgantsandstein liegt. Ihre eckigen bis gerundeten, durchschnittlich faustgrossen Schrattenkalkkomponenten sind in einen kalkigen Quarzsandzement eingebettet. Die geologische Untersuchung des Grubengeländes ergab, dass die kohlenführenden Brackwasservorkommen, die abgebaut werden, wegen ihrer besonderen tektonischen Verhältnisse lokal begrenzt sind (Taf. III, Abb. 7, tekt. Deckblatt zu Abb. 7). Dagegen kann der obere Brackwasserzug gegen Süden in die hohen Schrattenkalk/Hohgantsandstein-Felswände hinein verfolgt werden, wo er sich als schmales grasbewachsenes Band zu erkennen gibt. In einer Schürfstelle (Taf. I, Abb. 3, Schürfst. 1) wurden einige gegen 1 Meter dicke Kohlenester in diesem bis 2 Meter mächtigen Brackwasserhorizont aufgeschlossen. Auch hier ist die ursprüngliche Ablagerungsfolge tektonisch stark gestört.

Relativ gut erhaltene Fossilien sammelten wir hauptsächlich aus den Brackwasserschichten der Grube Lindi. Eine genaue Bestimmung der einzelnen Formen ist wegen Fehlens vollständiger Exemplare sehr erschwert. Daher muss in den meisten Fällen die Ermittlung der Genera genügen.

Fauna:

<i>Limnaea</i> sp. ind.	limnisch
<i>Cerithium</i> cf. <i>tricarinatum</i> LAMARCK	
<i>Cerithium</i> cf. <i>conoideum</i> LAMARCK	
<i>Cerithium</i> cf. <i>lamellosum</i> BRUGUIERE	brackisch
<i>Cerithium tuberculatum</i> LAMARCK ?	
<i>Cytherea Vilanovae</i> DESHAYES	
<i>Septifer Euridice</i> BAYAN	
<i>Cardita</i> ?	marin
<i>Spondylus</i> ?	
<i>Natica</i> cf. <i>vapincana</i> D'ORBIGNY	

Zusammen mit Herrn Prof. Dr. W. Leupold, Zürich, hatte Herr Dr. J. Schuhmacher, Bern, die Freundlichkeit, unsere Dünnschliffe von Brackwassergesteinen nach Foraminiferen zu untersuchen. Folgende z. T. bereits aufgeführte Formen konnten beobachtet werden:

Miliolidae
Pulvinulina sp. ind.
Cristellaria sp. ind.
Rotalia sp. ind.
Amphistegina sp. ind.
Gyroidina sp. ind.
Discorbis sp. ind.
Chapmania sp. ind. (Bruchstück)
eine mit *Lockhartia Davies* verwandte Form.

Das genaue Alter der Brackwasserschichten lässt sich mit dieser zu wenig eingehend bestimmbar Fauna nicht festlegen. Immerhin fällt auf, dass einige der gefundenen Cerithien gut vergleichbar sind mit Formen, welche nach J. Boussac (Lit. 5) als charakteristisch für das Lutétien des Pariserbeckens gelten.

Flora:

Herr Prof. Dr. W. Rytz, Konservator des Botanischen Gartens der Universität Bern, unternahm in sehr liebenswürdiger Weise den Versuch, die von uns aus den Brackwasserschichten der Grube Lindi gesammelten Fragmente fossiler Pflanzenblätter zu bestimmen. Er konnte drei verschiedene Blattarten unterscheiden, für deren Familienzugehörigkeit nach seinen Angaben in Betracht fallen:

1. *Myricaceen*, ev. die Gattung *Myrica*, welche im Tertiär grossen Formenreichtum erreicht.
2. *Salicaceen*, ev. die Gattung *Salix*.
3. *Thymelaeaceen*, ev. die Gattung *Daphne*.

Einzelne schlecht erhaltene Abdrücke mögen von Schilfstengeln stammen. Da keine Früchte oder Samen gefunden werden konnten, war eine genauere Bestimmung nicht möglich.

Häufig sind besonders in den Faulschlammkalken die bereits erwähnten, nicht näher bestimmbar Reste von Algenstengeln und Oogonien von Characeen.

III. Tektonik

1. Allgemeines

Die Gesamttektonik der Kandertaler Gebirgsgruppe bedingt zusammen mit den bereits erläuterten stratigraphischen Faktoren eine relativ enge Begrenzung der einzelnen Grubenreviere. Für den Abbau selber spielt sie nur eine untergeordnete Rolle, da keine für sämtliche drei Gruben typischen tektonischen Leitlinien erkenn-

bar sind. Gesamttektonische Profile, wie sie H. Adrian (Lit. 1) für unser Gebiet auf Grund seiner Oberflächen-aufnahmen konstruierte, besitzen für den Bergbau nur den Wert einer ersten allgemeinen Orientierung. Vergleiche zwischen Oberfläche und Bergesinnerem haben ergeben, dass die über Tag bestehende geologische Situation im Berge schon nach kurzen Strecken ein ganz neues Gesicht zeigen kann. Daher vermögen nur genaue Profile durch die Abbaufelder die Kleintektonik der Lagerstätten abzuklären. Auch sie lassen kaum mehr als allgemeine Aussagen über die zu erwartenden geologischen Verhältnisse in benachbarten noch nicht erschlossenen Gebieten zu. Der Grubengeologe muss sich daher beim Festlegen neuer Vortriebsrichtungen mehr von seinem Gefühl als von exakten Berechnungen leiten lassen.

2. Grube Schlafegg

(Taf. II, XIII-XVI)

Die tektonische Gesamtsituation erscheint relativ einfach, da die Brackwasserschichten im Gesteinsverband der gut erhaltenen Tschingelsynklinale liegen (Synklinale IV nach H. Adrian), deren Normalschenkel ohne Unterbruch von 1200 m Meereshöhe über Blausee—Mitholz bis auf über 2100 m in den Gerihorn Gipfel ansteigt.

Schon von der gegenüberliegenden Talseite aus erkennt man in den markanten Schrattenkalkbändern eine grosse Zahl von Querbrüchen, welche die beiden Synklinalschenkel schollenartig zerhacken. Durch diese verschieden grosse Verstellungen aufweisenden Brüche passten sich die relativ starren Gesteinsplatten dem Relief des liegenden tektonischen Elementes an. Nähere Angaben über den Mechanismus dieser Bruchtektonik lieferte vorerst eine genaue geologische Kartierung des Grubengeländes im Maßstab 1 : 500. Wie schon E. A. Ritter (Lit. 19) feststellte, können zwei verschieden alte Bruchsysteme beobachtet werden. Das ältere ist an Klüfte des Schrattenkalks gebunden und dürfte eine Folge kretazischer Krustenbewegungen sein. Seine geringen Verstellungen bewirkten wohl zum Teil die Stufen und Absätze, wie sie die Schrattenkalklandschaft besonders in der Grube Lindi aufweist. Die jüngeren, während der «Mise en place» der Wildhorn-Decke aufgerissenen Brüche durchsetzen entweder mit ebenfalls nur geringen Verstellungen Hohgantsandstein und Lithothamnienkalk oder zerschneiden den ganzen Synklinalschenkel mit bedeutenden Sprunghöhen, wobei sie in einzelnen Fällen wahrscheinlich den bereits zur Kreidezeit angelegten Bewegungsbahnen im Schrattenkalk folgten. Drei solche Verwerfungen liegen im Gebiet der Grube Schlafegg. Sie wurden auf Taf. II, Abb. 5 als Hauptbruch 1—3 bezeichnet. Hauptbruch 1 mit einer Verstellung von etwa 70 Metern begrenzt das Grubengebiet gegen Norden. Er ist im Bergesinnern nicht angeschnitten worden, da die abnehmende Mächtigkeit der Brackwasserschichten gegen Norden einen Vortrieb in dieser Richtung nicht zu lohnen schien. Die Brüche 2 und 3 dagegen waren für den Bergbau von besonderer Bedeutung. Alle andern an der Oberfläche sichtbaren kleineren Verwerfungen klingen im Berge mehr oder weniger rasch aus und werden von andern lokalen Störungen abgelöst.

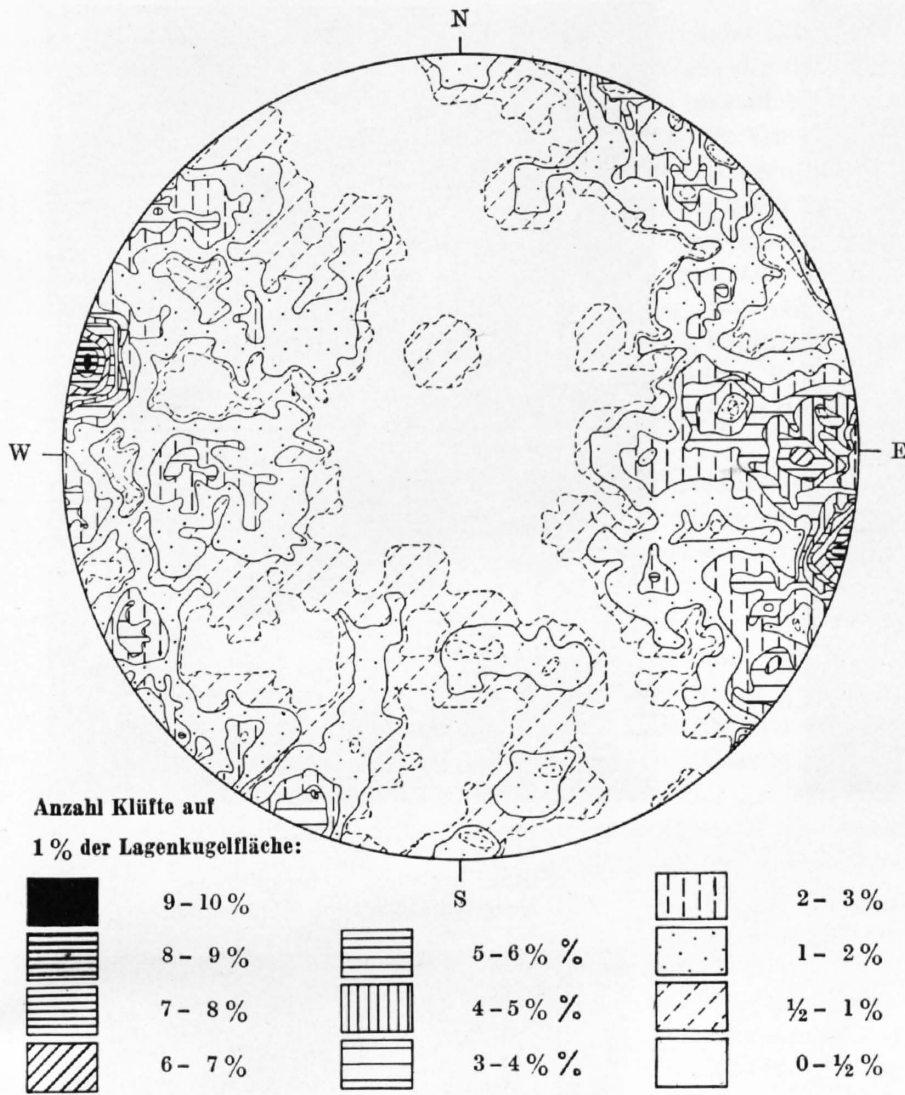
Die Aufschlussarbeiten zeigten bald, dass alle wichtigeren Kohlevorkommen nicht in den Brackwasserschichten liegen, sondern an Verwerfungen und Schrattenkalkklüfte gebunden sind. Während der Deckenüberschiebung bildeten die relativ weichen Brackwasserschichten den Gleithorizont, an dem sich die starrereren liegenden und hangenden Gesteinsplatten aneinander bewegten. Die Kohle übernahm die Rolle des Schmiermittels, und ihre Hauptmenge gelangte dabei zusammen mit grösseren Brackwasserkalkpartien aus dem ursprünglichen Schichtverband zwischen Verwerfungsflächen und in einzelne Schrattenkalkklüfte hinein.

Im gesamten erschlossenen Grubengebiet von Schlafegg durchsetzen 50 kohlenführende Klüfte den Schrattenkalk. Um die Hauptrichtungen dieser Klüfte zu ermitteln, konstruierten wir mit Hilfe von 210 Messungen ein Kluftdiagramm (Fig. 6). Dieses ergab zwei nahezu rechtwinklig aufeinanderstehende Systeme, von denen das Hauptsystem eine mittlere Lage von N 194°/86° WNW, das Nebensystem eine solche von N 114°/80° SSW aufweist. Da der Schrattenkalk im Mittel N 54° E streicht, bilden diese beiden bevorzugten Kluftrichtungen dazu einen Winkel von 40° bzw. 60°. In einem zweiten Diagramm sind von den 210 gemessenen Klüften nur die 50 kohlenführenden eingetragen (Fig. 7). Es zeigt sich, dass ihre häufigste Richtung (N 197°/86° WNW) ziemlich genau mit der allgemeinen Hauptkluftrichtung übereinstimmt.

Die grösste dieser Kohlenklüfte wurde zur bedeutendsten Lagerstätte auf Schlafegg. Sie erstreckt sich als grosse, im allgemeinen senkrechte, bis zu 8 Meter breite Spalte in WNW—ESE-Richtung (durchschn. Streichen N 112° E) auf eine Länge von ca. 230 Metern im Schrattenkalk und spaltet diesen in seiner ganzen Mächtigkeit 60 Meter tief bis auf die Drusberg-Schichten hinunter (Fig. 8). Nach oben wird die Kluft sowohl an ihrem westlichen als auch gegen das östliche Ende zu von der Verwerfungsfläche des Hauptbruchs 2 abgeschnitten, während sie in ihrer Mittelpartie von der alten Schrattenkalkoberfläche ausgeht. Recht- bis spitzwinklig zweigen von ihr mehrere apophysenartige, ebenfalls kohlenführende Nebenklüfte ab. Aus Grubenplan und Profilen ergibt sich die ziemlich unregelmässige Form der Hauptkluft. Fast in jedem Querschnitt beobachtet man eine obere und

Fig. 6

Kluftrichtungen im Schrattekalk der Grube Schlafegg. Diagramm der gemessenen Kluftflächen in flächentreuer stereographischer Projektion in die obere Halbkugel. Darstellung durch Kurven, welche Punktlagen gleicher Flächenanzahl miteinander verbinden



Kohlengrube Schlafegg

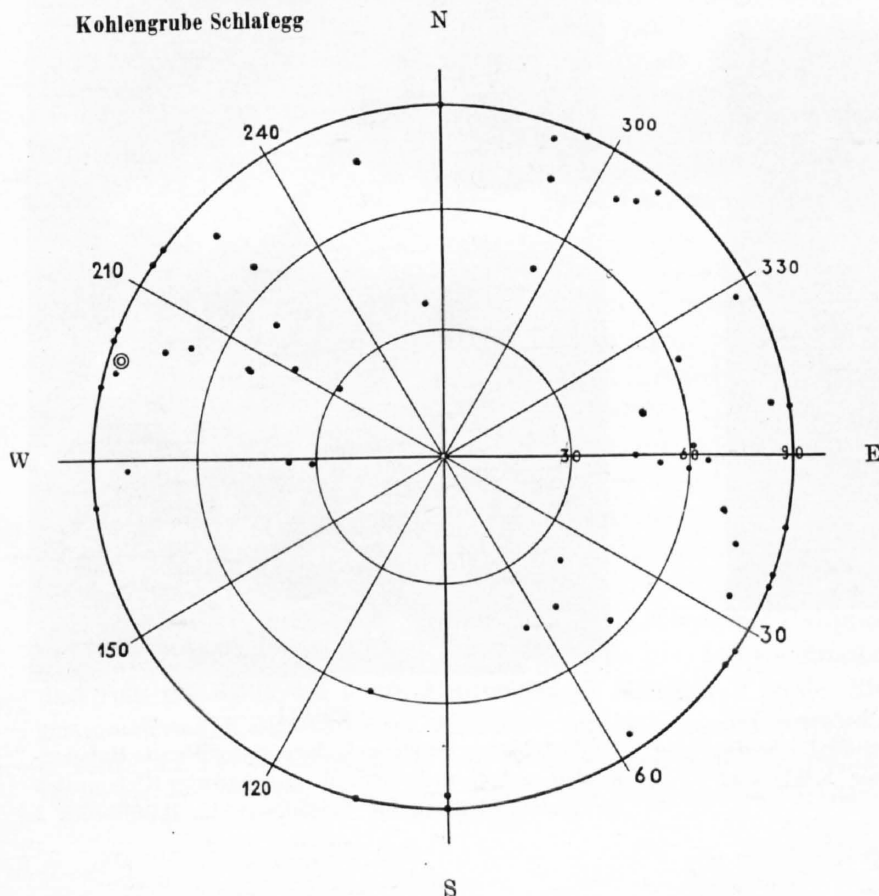


Fig. 7

Diagramm der kohlenführenden Klüfte im Gruben-
gebiet von Schlafegg in flächentreuer stereogra-
phischer Projektion in die obere Halbkugel

Punkte: Projektionspunkte von Flächenpolen
auf der Äquatorebene

Doppelkreis: Zentrum der einprozentigen Äquator-
fläche, welche die dichteste Kluft-
besetzung aufweist

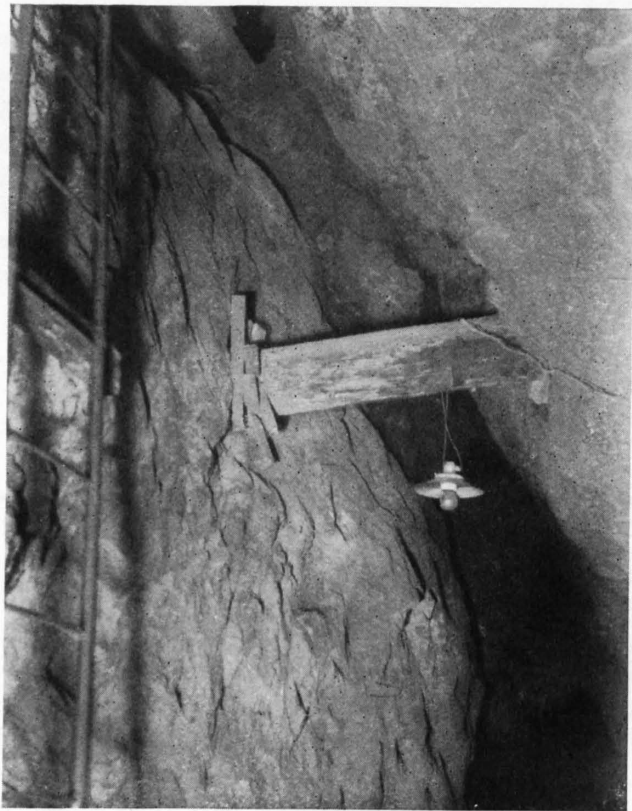


Fig. 8

Grube Schlafegg, Stollenaufnahme
Hauptkluft — «Flaschenhals». Die Kohle ist abgebaut.
Über dem Rundholz Klemmpakete aus Brackwasserkalk



Fig. 9

Grube Schlafegg, Stollenaufnahme
kohlengefüllte Kluft im Schrattenkalk

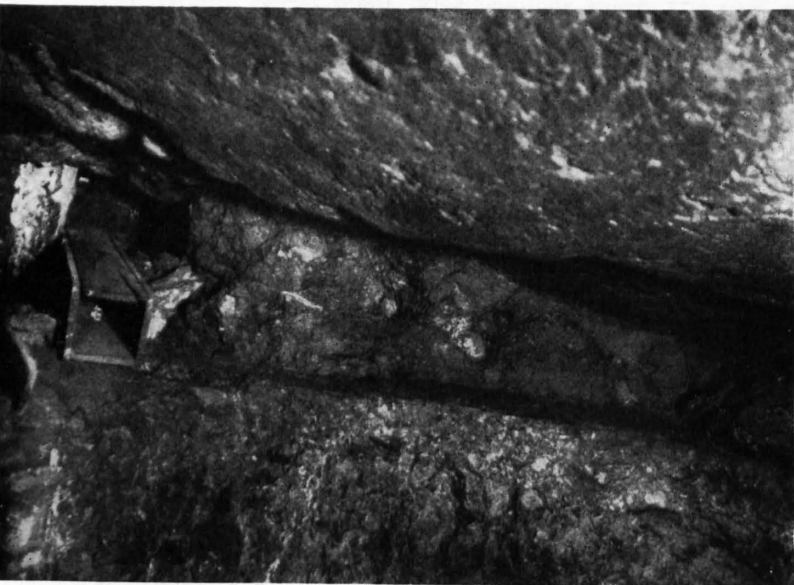


Fig. 10

Grube Schlafegg, Stollenaufnahme.
Hauptbruch 2 schräg von unten photographiert, a) hangende Ver-
werfungsfläche des Schrattenkalks, b) liegende Verwerfungsfläche des
Schrattenkalks, c) Kluftfüllung aus eingeschleppter Kohle und
Brackwasserkalken



Fig. 11

Grube Schlafegg, Stollenaufnahme. mylonitisierte Hohgant-
sandsteinscholle (hell) und calcitdurchadertes Klemmpaket
als mulmkohlenumhüllte Schürflinge im Hauptbruch 2

eine untere Ausweitung, die durch einen «Flaschenhals» (Fig. 8) von wenigen Zentimetern Breite miteinander verbunden sind. Der grösste Teil des Klufttraumes war vor dem Abbau mit Konglomeratkohlen (siehe Seite 31) gefüllt, welche grössere Brackwasserkalkpartien und mächtige Schrattenkalkbrocken, von denen einzelne mehrere 100 m³ messen, einhüllte (Tafel XV, Profil 2). Vor allem in den tieferen Kluftregionen stiess man auf ockerfarbene Letten und Mulmkohle (siehe Seite 31), gelegentlich auch auf leere Räume zwischen den Schrattenkalkwänden. Aus der Kluft gelangten kleinere, aber noch abbauwürdige, zum Teil mulmige Kohlenmengen zwischen die Grenzflächen von Drusbergsschichten und Schrattenkalk. Wo dies geschah, zeigt der Kalk an seiner Basis karstartige, lettenverkleidete Höhlenbildungen. Oft schaltet sich zwischen Kluftwand und Kohle salbandartig eine dünne Calcitschicht ein, die sich aus 1—5 cm grossen, idiomorphen Einzelkristallen zusammensetzt. In kleineren Spalten konnten auch grössere Gipskristalle gefunden werden. Alle andern Kohlenklüfte weisen, wenn auch in viel kleinerem Maassstab, ähnliche Füllungsverhältnisse auf. Bei den meisten schwankt die Spaltenbreite zwischen 1 und 20 Zentimetern (Fig. 9), bei einzelnen abbauwürdigen zwischen 100 und 150 Zentimetern.

Nach der Ansicht von E. A. Ritter (Lit. 19) gelangte die Kluftkohle von Schlafegg in flüssigem Zustand als noch nicht inkohlte Humussubstanz in den Schrattenkalk. Diese Auffassung können wir nicht teilen. Auf Grund unserer tektonischen und kohlenpetrographischen Untersuchungen gelangen wir zu folgender Deutung der Lagerstätten-Genese: Während der Festlandperiode zwischen unterer Kreide und Eocaentransgression dürften geringfügige Krustenverstellungen die starke Durchklüftung des Schrattenkalkes geschaffen haben. Es kam entlang Bruchflächen zu Schollenhebungen und -senkungen, welche als wichtigste Ursache die Kohlenflözbildung ermöglichten. Als Folge relativ tiefgründiger Verwitterung füllten sich vor allem die oberflächennahen Klufttrisse mit Rückstandsletten, und das im Kalk versickernde Wasser führte zu Anfängen unterirdischer Karstbildung. Die heute meist senkrecht stehenden Kohlenklüfte können aber kaum als Karrenphänomen gedeutet werden, da sie ja zu der ursprünglich horizontalen Schichtlage einen durchschnittlichen Winkel von höchstens 50° bilden, während Karren immer mehr oder weniger senkrecht stehende Auflösungsfurchen sind. Es ist auch nicht anzunehmen, dass bereits während der Festlandperiode einzelne dieser Klüfte (im besondern die Hauptkluft auf Schlafegg) als eigentliche Spalten klafften; sie wären sonst weitgehend mit festländischen Verwitterungsprodukten zugefüllt worden. Auch hätten über solchen Spalten kaum Torfmoore entstehen können. Dagegen bildeten sie als relativ geschlossene Klüfte die Bahnen für zirkulierende, vorwiegend kalk-, aber auch gipshaltige wässrige Lösungen, aus denen sich die grobkristallinen Kluftwandbeläge absetzten.

Die kohlenführenden Klüfte liegen, wie das betreffende Diagramm (Fig. 7) zeigt, im allgemeinen quer zur Streichrichtung der Schichten. Daher kann angenommen werden, dass bei der Deckenüberschiebung durch Wirkung von Zerrkräften einzelne der Querklüfte aufrissen und sich mit hineinstürzenden oder hineingepressten Kohlen, Brackwasserkalk- und Schrattenkalkschürflingen ausfüllten. Dagegen sind die grossen Schrattenkalkschollen in der Hauptkluft wohl nicht eingeschleppt, sondern von den Kluftwänden abgesprengt worden, da sie alle in der Kluftausweitung unterhalb des «Flaschenhalses» auftreten.

Auch an Verwerfungen wurden bedeutende Kohlen- und Brackwasserkalkmengen eingeschleppt. An den Hauptbrüchen 2 und 3 entstanden eigentliche Lagerstätten mit Kohlenmächtigkeiten bis zu 2 Metern (Fig. 10). Hier kam die Kohle auch mit Drusbergsschichten in Kontakt (Tafel XV, Prof. 1). Grosse Reibungsdrucke müssen während der Verstellungen wirksam gewesen sein. Im Hauptbruch 2 finden wir zum Beispiel eine 20 cm dicke, grobspätige «Marmor»-Schicht an der liegenden Schrattenkalk-Verwerfungsfläche, ferner mulmkohlenumhüllte, vollständig zu weissem Mehl mylonitisierte Hohgantsandsteinschollen, «gequälte» calcitdurchaderte Brackwasserkalkpartien (Fig. 11) und braungelbe Reibungsletten.

Ein Beweis für die tektonisch verursachte Auswanderung und Umlagerung von Kohle und Brackwasserschichten lässt sich ohne weiteres aus den Grubenprofilen ableiten. Besonders eindeutig sind die Beziehungen zwischen Hauptkluft, Hauptbruch 2 und normalen Brackwasserschichten. Die Profile 5 und 4 schneiden hier die Hauptkluft nicht. Die Verwerfungsspalte von Hauptbruch 2 klafft nur wenig. Im südöstlichen Verwerfungsflügel haben die Brackwasserschichten noch keine grössere Mächtigkeitsverminderung erfahren. Auf Profil 3 zeigt der Hauptbruch 2 seine grösste Füllung. Hier setzt auch die Hauptkluft als schmale Spalte ein. Die Brackwasserschichten des südöstlichen Verwerfungsflügels erscheinen tektonisch stark ausgedünnt, da bedeutende Partien nach NW geschleppt wurden, wobei ihre Kohle zur Hauptsache in die Verwerfung gelangte. Im Winkel zwischen abgesunkenem und stehengebliebenem Bruchflügel stauten sich die transportierten Brackwasserkalke und Teile der Kohle an. Profil 2 schneidet die Hauptkluft an der Stelle ihrer grössten Ausweitung. Mitsamt den zerquetschten Kalkbänken ist die Kohle aus den nun fast vollständig reduzierten Brackwasserschichten des südöstlichen Verwerfungsflügels zum grösseren Teil in die Hauptkluft gestürzt, zum kleineren Teil in und an den Hauptbruch 2 geschleppt worden. Gegen das Bergesinnere verengern sich Hauptkluft- und Verwerfungsspalte.

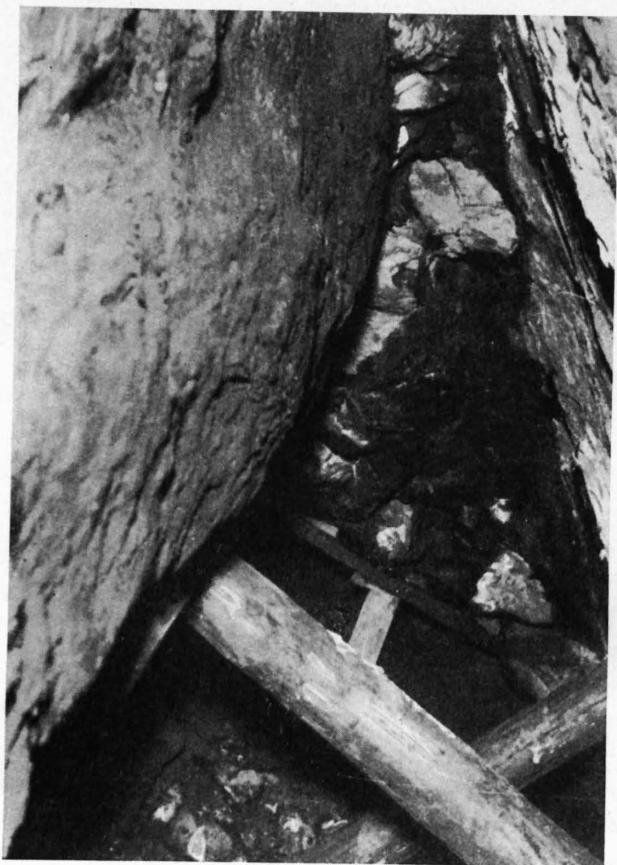


Fig. 12

Grube Horn, Stollenaufnahme. Partie aus Verwerfung 1. Konglomeratkohle mit grossen Hohgantsandsteinbrocken in die Verwerfung eingeschleppt. Linke Wand Hohgantsandstein, rechte Wand Schrattenskalk

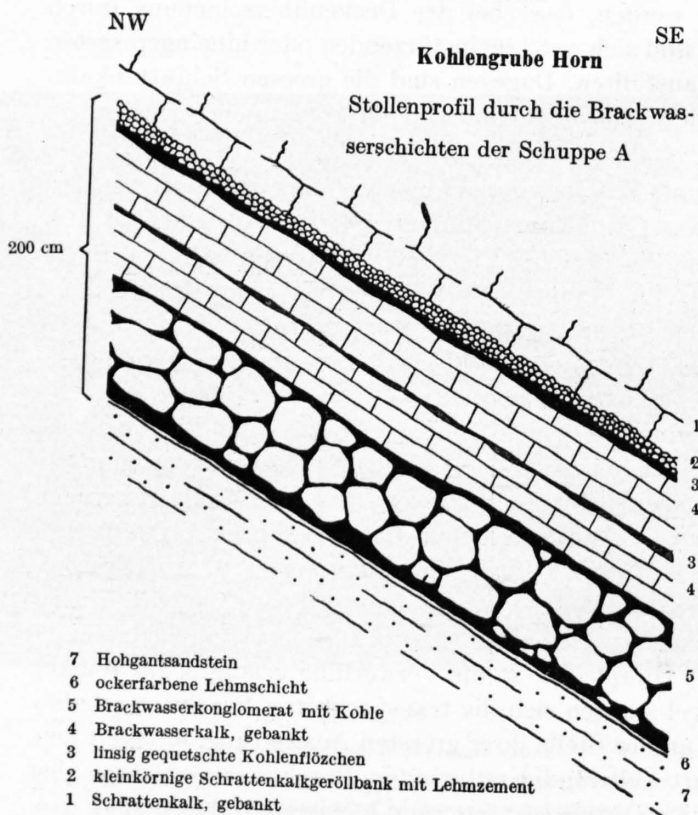


Fig. 14



Fig. 13

Grube Horn, Stollenaufnahme.

Kontakt zwischen Schrattenskalk-Konglomerat (links oben) und gebanktem Brackwasserkalk. a) unregelmässiges Mulmkohleflöz am Kontakt; b) 5-10 cm mächtiges Kohlenflöz zwischen den Brackwasserkalkbänken



Fig. 15

Grube Horn, Stollenaufnahme.

Abbaustelle an der Verwerfung 2. a) Brackwasserkalk mit zapfenförmigen Phakoiden, b) Konglomeratkohle

Profil 1 lässt erkennen, wie im südöstlichen Verwerfungsflügel die Brackwasserschichten wieder mächtiger erhalten sind. Was von ihnen verschleppt wurde, staute sich vorwiegend im Sprungwinkel des Hauptbruches 2.

Ähnliche Verhältnisse wie die oben skizzierten weisen auch die andern gegen N oder NW einfallenden Verwerfungen auf. Immer ist im stehengebliebenen südlichen oder südöstlichen Flügel die Mächtigkeit der Brackwasserschichten stark vermindert.

3. Grube Horn

(Taf. III, XVII-XVIII)

Im tektonischen Kapitel seiner Dissertationsarbeit bezeichnet H. Adrian (Lit. 1) das Gebiet von Horn als Bereich eines abgequetschten Gewölbekerns. Unsere geologischen Detailaufnahmen des Grubengeländes ergaben wesentlich kompliziertere Verhältnisse. Die Kohlenvorkommen treten hier in einer ausgesprochenen Schuppenzone auf. Diese liegt zwischen Elsighornantiklinale (E) und Lithothamnienkalkband (L), welches unter Alp Horn eine nach Norden überkippte Lokalfalte bildet. Wie das tektonische Deckblatt zu Taf. III, Abb. 7 zeigt, erkennt man drei von Brüchen zerhackte Schuppen, von denen C und B gegen Süden fortsetzen, während A einen isolierten lokalen Schürfling darstellt. Leitgestein aller drei Schuppen ist der Schrattenkalk. In Schuppe C beteiligt sich ferner Hohgantsandstein, und Schuppe B weist dazu noch Brackwasserschichten, Sandschiefer und Lithothamnienkalk auf. Schuppe A besitzt mit einer Schichtreihe vom Hauterivien-Kieselkalk bis zum Lithothamnienkalk das vollständigste Gesteinsinventar. Mit H. Adrian neigen auch wir zur Ansicht, dass die nachträglich sich verschiebende und weit nach Norden ausholende Elsighornantiklinale (E) die überfahrenen tektonischen Elemente auswalzte und verschuppte. Dabei wurde Schuppe C passiv gestreckt und zugespitzt, Schuppe B entlang dreier grösserer Verwerfungen in Schollen zerlegt und deren nördlichste zu einer Art Faltenstirn umgebogen. Das tektonische Element A stellt einen isolierten Schubsplinter dar, der sich in verkehrter Lagerung von unten in die Schuppe B hineinspiess. Die Verwerfung 2 zerlegt es in zwei Schollen, von denen die nördliche Schrattenkalk und tertiäre Schichtglieder, die südliche Kreide- und Brackwassergesteine umfasst. Bei gleichzeitiger Kippung gegen Süden ist die nördliche Scholle untervorgeschoben und im Norden durch die Verwerfung 2 abgeschnitten worden, während die südliche mit ihren Brackwasserschichten in horizontalem tektonischen Kontakt mit den liegenden Globigerinenschiefen blieb.

Diese Verschuppungsvorgänge erzeugten ganz bestimmte Lagerungsverhältnisse der kohlenführenden Brackwasserschichten. Bis heute (Ende Oktober 1945) beschränkte sich der Abbaubetrieb auf die Kohlenvorkommen der nördlichen Scholle von Schuppe A und auf das mit diesen zusammentreffende, an der Oberfläche nicht aufgeschlossene untere Flöz der Schuppe B. Daher kann nur über Verlauf und Beschaffenheit dieser Horizonte Genaueres ausgesagt werden. Wie aus Grubenplan und Profilkonstruktionen hervorgeht, besteht im ganzen erschlossenen Grubengebiet eine im allgemeinen gleiche tektonische Gesamtsituation. In allen Profilschnitten trennt Verwerfungsfläche 2 die Scholle A von der Scholle B. Während an der Oberfläche die Brackwasserschichten durch diesen Bruch scharf abgeschnitten werden, finden wir bereits in Profil 1 bis zu 30 cm mit Brackwasserkalk durchsetzte Kohle in die Verwerfung eingeschleppt. Die Brackwasserschichten von Scholle A beginnen sich, wie Profil 2 zeigt, an der Verwerfungsfläche 2 zu stauen. Noch weiter im Bergesinnern werden von Süden her ganze Schichtkomplexe samt bedeutenden Kohlenmengen an die Verwerfungsfläche geschleppt und zu senkrechter, bis in die Fallrichtung des Bruches überkippter Schichtlage verbogen (Tafel XVIII, Profile 3 und 4). — Im Norden stösst der Schrattenkalk von Schuppe B an der Verwerfung 1 mit schöner Schichtaufbiegung gegen den Hohgantsandstein der nördlichsten Scholle ab, wobei in den entstehenden, dachfirstartig begrenzten Raum brackwasserkalkdurchmischte Kohlen eingepresst wurden (Fig. 12).

Die tektonischen Bewegungen vollzogen sich innerhalb der einzelnen Schuppen an der Gleitbahn des Brackwasserhorizontes. Dabei wurden sowohl die Brackwasserschichten als auch die obersten Bänke des angrenzenden Schrattenkalks stark umgeformt. So bildet heute die ehemals karrendurchzogene Schrattenkalkoberfläche in vielen Grubenteilen eine wechselnd mächtige Geröllbank, wobei die gerundeten Schrattenkalkbrocken durch ockerfarbene Verwitterungslehme zusammengekittet sind. In der Grube lassen sich stellenweise verschiedene Entstehungsphasen von Phakoiden nebeneinander beobachten. Das Ausgangsstadium stellen verkarstete, von lehmgefüllten Klufttrissen kreuz und quer durchzogene Schrattenkalke dar. Durch Reibung und Gegeneinanderbewegung von Schratten- und Brackwasserkalk entsteht zunächst eine kopfsteinpflasterähnliche Schrattenkalkoberfläche, wobei die durch lehmgefüllte Fugen getrennten Kalkbrocken noch in ihrer ursprünglichen Schichtlage stecken. Bei fortschreitender Bewegung lösen sich die Brocken aus ihrem Zusammenhang und rollen sich gegenseitig ab zu kugeligen bis linsigen Gebilden von Nuss- bis Kopfgrösse. Ähnlich erging es den Brackwasserschichten. Zwar finden wir in ihnen auch noch einzelne flözdurchsetzte Partien, stellenweise sogar in



Fig. 16

Grube Horn, Stollenaufnahme
Konglomeratkohle mit Druckklüftung

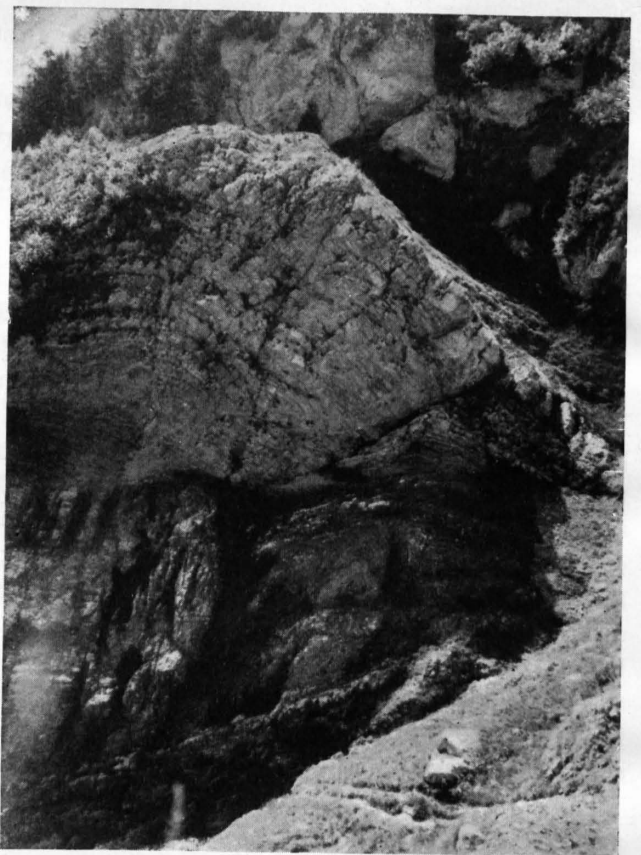


Fig. 17

Grube Lindi. Keilspitze von Schuppe A.
a) Lithothamnienkalk, b) Schrattenkalk, c) Drusbergschichten

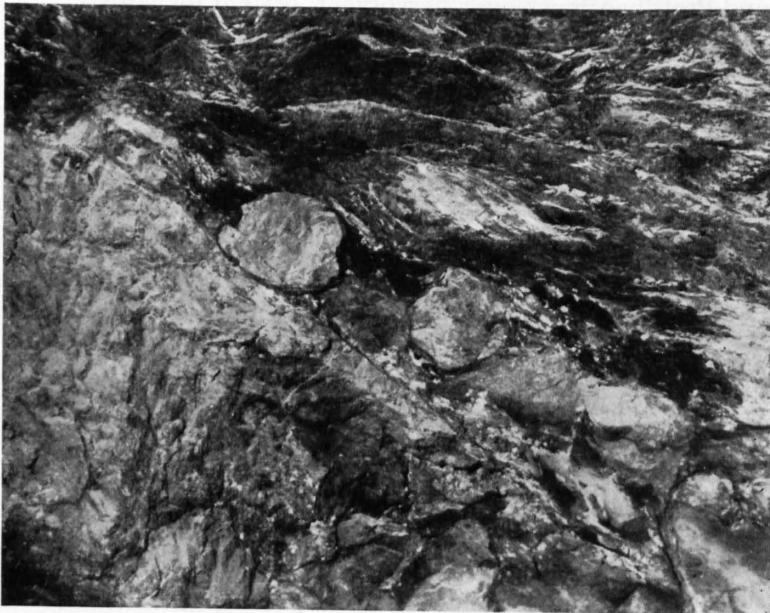


Fig. 18

Grube Lindi, Stollenaufnahme. Brackwasserkalkgerölle am Kontakt
zum Schrattenkalk. a) Schrattenkalk, b) schiefriger calcitdurch-
aderter Brackwasserkalk

Kontakt mit tektonischen Schrattenkalkgeröllen (Fig. 13). Meist ist aber die ehemalige Kohle/Kalk-Wechselagerung zerstört und in ein tektonisches Konglomerat von verschiedenartiger Ausbildungsform ausgewalzt worden, wobei die Phakoidbildung oft auf halbem Wege stehen blieb (Fig. 14, 15). Kohlenarme Schichten bilden heute Geröllbänke, deren Komponenten nur von dünnen Kohlenhüllen umgeben sind. Dagegen erscheinen ehemals flözreiche Schichten zu Konglomeratkohle umgeformt, in der Kohle die Hauptmenge bildet und locker eingelagerte, verschiedenartig gerundete Kalkbrocken umschliesst (Fig. 16). Solche konglomeratische Lager enthalten die Hauptmenge der abbauwürdigen Kohlen. Die Grösse der gerollten Brackwasserkalkkomponenten schwankt in weiten Grenzen. Einzelne, bis 20 cm mächtige Schichten setzen sich aus dichtgepackten, erbsengrossen, kohlenumhüllten Kalkkügelchen zusammen (Fig. 14). Im allgemeinen überwiegen aber Lagen mit faust- bis kopfgrossen Geröllen, in denen einzelne Brocken Durchmesser von 50 cm und mehr erreichen können.

Kohlenführende Schrattenkalkklüfte konnten auch in der Grube Horn festgestellt werden. Ihre Kohlenfüllung übersteigt jedoch wenige Zentimeter nicht, so dass sich ein Abbau nicht lohnt. Diese Klüfte sind im Verschuppungsprozess zu Verwerfungen geworden, wobei die einen nur den Schrattenkalk, die andern auch Brackwasserschichten und Hohgantsandstein durchscherten. Einzelne mögen Kreidealter besitzen. Beweisen können wir dies nicht, da wahrscheinlich in den sehr ungleichmässig beanspruchten Schuppen gleichaltrige Brüche zum Teil nur ältere, zum Teil nur jüngere Schichtglieder durchsetzen.

Über Verlauf und tektonische Verhältnisse des oberen Flözes von Schuppe B (tektonisches Deckblatt zu Taf. III, Abb. 7, K₂) vermag ein ca. 20 m langer Sondierstollen erste Anhaltspunkte zu geben, welcher an dem in Taf. I, Abb. 3 mit Schürfstelle 1 bezeichneten Punkte vorgetrieben wurde. Dieser erschliesst eine sehr unregelmässige, linsig ausgequetschte, stark konglomeratische Kohlenschicht von maximal 150 cm Mächtigkeit. Nach unserer Ansicht dürfte ein Abbau dieses Flözes am ehesten dort erfolgreich sein, wo die Verwerfung 4 die Brackwasserschichten nach Norden hinaufschuppt, da sich ja in unserem Gebiet die Kohle erfahrungsgemäss an tektonischen Störungen anreichert. Gegen Norden keilt die Kohlenschicht vollständig aus. An ihre Stelle tritt die im stratigraphischen Kapitel beschriebene Transgressionsbreccie. Im Ventilationsstollen (Tafel XVII) wurden am Kontakt Schrattenkalk/Hohgantsandstein nur noch 20 cm kohlenmulmhaltiger Lehm durchfahren.

An der Basis der südlichen Scholle von Schuppe A trieb man in den dort aufgeschlossenen Brackwasserschichten ebenfalls einen Sondierstollen vor (Taf. I, Abb. 3, Schürfstelle 4). Zwischen hangendem Schrattenkalk und überfahrenen stark verruscelten Globigerinenschiefern sind hier die Brackwasserkalke als eine bis 100 cm mächtige, vollständig in Linsen ausgequetschte Schicht eingeklemmt. Stark steindurchsetzte Kohlen liegen darin in wenigen unbedeutenden Linsen. Ihr Abbau dürfte sich nicht lohnen.

4. Grube Lindi

(Taf. IV, XIX-XX)

Wie auf Seite 19 schon erwähnt wurde, bewirkten zufällig sich kombinierende stratigraphische und tektonische Faktoren eine relativ bedeutende Kohlenakkumulation auf kleinem Raume.

Die geologische Oberflächenansicht (Taf. IV, Abb. 9) zeigt, dass das Vorkommen, analog wie dasjenige von Grube Horn, in einer intensiv verschuppten Zone des Kandertaler Westhanges liegt. Das tektonische Deckblatt zu Abb. 9 lässt vier Schuppen erkennen, von denen die aus Lithothamnienkalk bestehende Schuppe D keine direkte Beziehung zur Lagerstätte besitzt. Der kohlenführende Brackwasserhorizont gehört dem normalgelagerten, Drusberg-Schiefer bis Lithothamnienkalk umfassenden Schichtverband von Schuppe B an. An der Oberfläche kann er, gegen Norden allmählich auskeilend, in die Felswand, die den Graben über dem Elektrizitätswerk der BKW abschliesst, verfolgt werden, wo ihn die nicht zugängliche Verwerfung 1 abschneidet. Gegen Süden endet der Brackwasseraufschluss an der parallel zum Gebirgshang streichenden Verwerfung 2, welche die Drusberg-Schiefer von Schuppe C vor den Schrattenkalk der Schuppe B hebt. In die Schuppe B ist von Süden her die aus der Gegend von Blausee ansteigende, Drusberg-Schiefer und Schrattenkalk umfassende Schuppe A hineingekeilt worden (Fig. 17), und zwar derart, dass Schuppe B entlang ihrem Brackwasserhorizont in zwei Teile aufgespalten wurde.

Die geologischen Stollenaufnahmen ergaben, dass in der Grube Lindi Schuppe A nur wenig tief ins Bergesinnere fortsetzt (Taf. XIX). Dadurch wird das ganze Abbaugelände tektonisch zweigeteilt in ein südöstliches Feld, dessen Abbauverhältnisse durch den eingepressten Keil von Schuppe A bestimmt werden, und in ein nordwestliches Feld, welches die ausserhalb des Keilbereiches liegenden, mehr oder weniger normal eingelagerten Kohlen der Schuppe B enthält.

Während sich der Keil A in die Schuppe B einspiesste, schleppte er grosse Teile der überfahrenen Brackwasserschichten nordwärts und häufte sie samt ihren Kohlen an seiner Front an. Dabei wurden kleinere Partien der wie durch einen Pflug zerteilten Brackwasserschichten in die Spalte zwischen den aufgebogenen Lithothamnienkalken von Schuppe B und der Schrattenkalkstirnseite des Keils eingepresst (Taf. XX, Profile 2, 3 und 6). An ihrer Basis sind die überschobenen Drusberg-Schiefer intensiv mit Brackwasserschichten verschuppt. Hier reicherte sich die Kohle zu lokalen, oft stark verbogenen Flözlinsen an (Taf. XX, Profile 2, 3 und 6). Der vorstossende Keil wölbte die Schrattenkalkplatte der Schuppe B vor sich her zu einer Art Bugwelle auf (Taf. XX, Profile 2 und 6). Diese lokale Falte wird auf ihrer Nordseite durch mehrere kleinere Verwerfungen staffelartig zerhackt. In den Winkeln, die abgesunkene und stehengebliebene Flügel miteinander bilden, blieben grössere Mengen dislozierter Kohle liegen. Ähnliche bis 4 Meter mächtige Kohlenanhäufungen lagen, ebenfalls im Druckschatten der Gleitbewegungen, hinter Stufen und Absätzen der alten Schrattenkalk-Oberfläche (Taf. XX, Profil 1). Die meisten Unebenheiten dieser Karrenfläche hobelte der sich einschiebende Keil ab. Einzelne kohlen- und brackwasserkalkumhüllte, kubikmetergrosse Schrattenkalk-«Hobelspäne» sowie Schrattenkalkgerölle zeugen von bedeutenden Reibungsdrücken an der Gleitbahn.

Auch ausserhalb des Keilbereichs wurde der Brackwasserhorizont tektonisch stark beansprucht. Kleine, einander ablösende Verwerfungen zerlegen die kohlenführenden Schichten samt liegenden und hangenden Gesteinen in einzelne Schollen, wobei an den plastischen Flözen schöne Schleppungen beobachtet werden können. Horizontale Gleitbewegungen haben zahlreiche Spuren hinterlassen. Einmal wandelten sie die einzelnen Flöze zu vorwiegend linsenförmig ausgequetschten Lagen um. Dann sind die Brackwasserkalke stellenweise auch stark verschiefert und gefältelt. In ihnen setzten sich bedeutende Lösungen um, wovon reichlicher Calcit auf Clivageflächen und in feinen Zerrspalten sowie linsige Pyritkonkretionen zeugen. An einer Stelle trafen wir einzelne Gerölle aus Brackwasserkalk, die noch am Orte ihrer Entstehung an der Schrattenkalk-Gleitfläche lagen (Fig. 18).

Nicht eindeutig abklärbar ist die Frage, ob die Kohle der vielen Schrattenkalkkarren als ein im engsten Sinne autochthones Sediment zu betrachten sei, oder ob sie erst durch nachträgliche tektonische Verschiebungen in diese Rinnen geriet. Wir möchten die eigentliche Karstkohle aus folgendem Grunde als autochthon betrachten: Wie auf Seite 36 dargelegt wird, durchsetzt die Asche vorwiegend als Zerreibungsprodukt des Nebengesteins die Kandertaler Kohle. Daher erscheinen jene Flöze besonders aschenreich, welche durch tektonische Vorgänge gestört und umgelagert wurden. Chemische Analysen (Tab. 6) ergaben nun, dass die Kohle des Grundflözes im Durchschnitt den niedrigsten Aschengehalt aller Flöze aufweist. Diese Tatsache kann daher als Indiz für Primärablagerung gedeutet werden. Bestärkt werden wir in unserer Ansicht auch durch kohlenpetrographische Ergebnisse, da es uns gelang, in Karstkohlen der Grube Lindi Primärgefüge nachzuweisen (siehe Seite 42). Dagegen dürften die Kohlen der noch erhaltenen Rinnen im Schrattenkalk, der vom Keil A überfahren wurde, mehr oder weniger umgelagert worden sein.

5. Andere Vorkommen kohlenführender Brackwasserschichten

Im Westhang des Kandertals liegen ausser den bereits beschriebenen noch zwei weitere Schürfstellen, wo während des letzten Krieges Sondierstollen vorgetrieben wurden:

a) SCHÜRFSTELLE «GYGERS BARACKE» (Taf. I, Abb. 3, Schürfstelle 2)

Über Tag liegen hier in normaler stratigraphischer Lagerung 30 cm mächtige Brackwasserschichten zwischen Schrattenkalk und Hohgantsandstein. Im 35 Meter langen Stollen lässt der Schrattenkalk eine tektonisch zum Geröll ausgewalzte Grenzbank erkennen, während der Hohgantsandstein kleiner Verwerfungen wegen eine treppenartig verstellte Unterfläche zeigt. Der ebenfalls phakoidische Brackwasserkalk ist in kohlenarme Brandschiefer eingehüllt. Nicht abbauwürdige Mulmkohle grenzt in zwei höchstens 5 cm dicken, ausgequetschten Bändchen den Brackwasserhorizont gegen die liegenden und hangenden Schichten ab. Nichts deutet darauf hin, dass im Bergesinnern grössere Kohlenmengen anzutreffen wären.

b) SCHÜRFSTELLE BALMEN (Taf. I, Abb. 3, Schürfstelle 3)

Die etwa 1 Meter mächtigen Brackwasserschichten liegen hier verkehrt gelagert zwischen Hohgantsandschiefern und Schrattenkalk. Kleine, und wie Analysen (Tab. 6) ergaben, nicht verwertbare Brandschieferlinsen durchsetzen den zerquetschten grauen Stinkkalk.

c) ÜBRIGE AUFSCHLÜSSE VON BRACKWASSERSCHICHTEN (Taf. I)

Die Einzelbeschreibung der zahlreichen kohlenführenden Brackwasseraufschlüsse, die wir auf beiden Tal-seiten feststellen konnten, erübrigt sich, da diese keine neuen, von den bisher beschriebenen abweichende Merkmale aufweisen. Es handelt sich, mit Ausnahme des Brackwasserzugs der Tschingelsynklinale, um ganz lokale, oberflächlich nicht verfolgbare Aufschlüsse mit Kohlenspuren, die absolut keine Anhaltspunkte für eventuelle Prognosen bieten. Bemerkenswert ist nur, dass alle diese unbedeutenden Kohlenvorkommen einer mehr oder weniger verwitterten Schrattenkalk-Unterlage aufruhren, was ihren allgemeinen Karstcharakter zu beweisen scheint.

C. Petrographische und chemisch-technologische Untersuchung der Kandertaler Kohle

I. Petrographische Untersuchung

1. Probenahme

Jede systematische kohlenpetrographische Flözuntersuchung verlangt die Entnahme vollständiger und für bestimmte Grubenteile typischer Flözprofile. Diese Forderung konnte bei den Kandertaler Lagerstätten nicht erfüllt werden. Die schon geschilderten tektonischen Vorgänge haben den ursprünglichen Flözverband weitgehend gestört und die Kohle umgelagert. Mächtigkeit und Beschaffenheit der Flöze und Lager wechseln fortwährend; vollständige typische Kohlenprofile gibt es daher nicht. Um gleichwohl möglichst alle Erscheinungsformen der Kohle innerhalb eines Grubengebietes zu erfassen, wurden an sämtlichen Abbaustellen Proben entnommen. Diese horizontale Probenahme kommt einer vertikalen gleich, da alle abbauwürdigen Lager von den Kluft- und Karrenkohlen des Schrattenkalks bis zu den höchsten Linsen in den Brackwasserschichten ausgebeutet wurden.

2. Makroskopische Beschaffenheit der Kohle

Folgende Ausbildungsformen lassen sich unterscheiden:

a) HARTKOHLE

Sie bildet den Normaltypus der Kandertaler Kohlen. Ihre Farbe ist grauschwarz, mattglänzend. Das massige, homogene Gefüge lässt keine ursprüngliche Schichtung erkennen. Beim Anschlagen zerfallen grössere Stücke längs Trennungsfugen oder Kohlenklüften in polyedrische, oft prismatische Stücke mit rhomboedrischen Flächen. Es lassen sich bis vier verschiedene, sich kreuzende Kluftsysteme unterscheiden, welche die Kohlenschieferung bewirken. Die an solche Trennungsfugen grenzenden Ebenen sind meist glatt und stark glänzend. Im Bruch erzeugen diese verschieden gerichteten Glanzstellen eine Art diffuse Lichtreflexion und sind daher die Ursache des matten Kohlenglanzes. Am Kontakt zum Nebengestein, aber auch an Bewegungsbahnen innerhalb grösserer Kohlenpartien entstehen polierte Harnische mit schönen Rutschstreifen. Oft zeigen Absonderungsflächen Strukturen, wie sie sich ähnlich an Tutenmergeln beobachten lassen. Erhabene, in eine Spitze zulaufende Strahlenbündel liegen dicht nebeneinander und überdecken sich teilweise. R. Potonié (Lit. 17) erwähnt als mögliche Ursache solcher Strukturen Ineinanderpressen von Material, «osmotisches Wachstum» und Spannungserscheinungen. Wir möchten diese Erscheinung wie auch die ausgeprägte Schieferung der Kandertaler Kohle als Ergebnis verschieden gerichteten Druckes im Zusammenhang mit Spannungsausgleichsbewegungen deuten, da durch Inkohlungsschwund bedingte Klüftung oder Schlechtenbildung nirgends eindeutig beobachtet werden kann.

Manche Flözpartien bergen eine körnig-sandige, leicht zerreibbare, samtschwarze Kohle. In solchen Fällen kann von tektonischer Brikettierung gesprochen werden, da die ursprüngliche Kohlensubstanz zu feinen Körnern zerrieben und nachträglich durch tektonischen Druck zusammengepresst wurde.

b) KONGLOMERATKOHLE

Diese Ausbildungsform ist typisch für Lager in Klüften und Verwerfungen. Tektonisch gerollte Nebengesteinsbrocken verschiedenster Grösse durchsetzen ohne jede Gesetzmässigkeit die Kohle (Taf. VI, Abb. 16). Brackwasserkalk-Phakoide überwiegen, häufig sind Schrattenkalk-Komponenten, seltener solche aus Hohgant-sandstein. Fast alle Gerölle zeigen annähernd ellipsoidische und kugelige Formen, ehemals vorhandene Kanten und Ecken wurden abgeschliffen und gerundet. Die Kohlenmasse selber erscheint im Bruch sandig-körnig; sie ist leicht zerreiblich und zeigt häufig Calcit-Durchaderung und ruschelartige Absonderung mit Rutschharnischen.

c) MULMKOHLE

Als erdig-weiche, knetbare Paste füllt sie schmale Verwerfungsspalten und Klüfte im Nebengestein aus (Fig. 11). Auf Schlafegg liegt sie an einigen Stellen auch in grösseren Mengen am Grunde der Hauptkluft (Taf. VI, Abb. 18). Die Mulmkohle ist ein stark wasserhaltiges, inniges Gemisch aus feinem Kohlenstaub und ockerfarbenen Kluftletten. Charakteristisch sind darin enthaltene feinblättrige kristalline Calcitlagen. Beim Trocknen zerfällt diese Kohlenmodifikation entlang netzartig auftretender Schwundrisse zu einer krümligen Masse.

d) AUGENKOHLE

Im historischen Teil dieser Arbeit wurde ein Bericht aus dem Jahre 1786 erwähnt, in welchem Bergknapp Baumann eine aus dem Westhang des Kandertals stammende «pfauenschweifichte mit Blumen versehene» Kohlenart beschreibt. Zweifellos handelt es sich dabei um die in der Literatur als Augenkohlen bezeichnete Oberflächenbildung, eine Absonderungsart, die auch in einzelnen Gebieten der Grube Lindi gefunden werden konnte.

Solche Augenkohlen treten als höchstens 15 cm mächtige, zu linsigen Lagen ausgequetschte Streifen in Brandschieferpartien auf (Taf. VI, Abb. 17). Mehr oder weniger senkrecht zur Schichtlage und Hauptdruckrichtung sind die tiefschwarz glänzenden Linsen entlang feinen Kluftspalten in 0,1–10 mm dicke, parallel angeordnete Lamellen zerlegt, welche auf ihren Flächen sog. Kohlenaugen zeigen.

Typische derartige Gebilde sind kreisrund, doch überwiegen die verschiedensten deformierten Formen (Taf. VI, Abb. 19). Ihre Durchmesser liegen zwischen ca. 2 mm und 5 cm. Um einen Mittelpunkt legen sich in unregelmässigem Abstand konzentrische bis exzentrische Ringe, die von zahlreichen feinen radialen Rissen durchbrochen werden (Taf. VI, Abb. 20). Der senkrechte Abstand zwischen den einzelnen Ringen schwankt sehr stark, bald scharen sich diese dicht zusammen, bald streben sie auseinander (Taf. VI, Abb. 20). An Schnittpunkten mit den radialen Rissen biegen die Ringe meist gegen das Augenzentrum hin ein, dadurch erscheinen sie in vielen Augen als girlandenartige Linien. Jedes Auge besitzt ein Gegenauge mit spiegelbildlicher Ausbildung. Häufig liegt zwischen beiden als feine Haut anorganisches Mineral (Calcitkriställchen oder Eisenoxyd), welches wie eine Matrice die Struktureinheiten aufzeichnet. Die Augen begrenzen sich gegenseitig oder enden an Kluftissen oder Brandschiefereinlagerungen. Oft können zwei Augen miteinander verwachsen, indem ein oder mehrere äussere Ringe gemeinsam um beide Augen verlaufen. Übergänge von rundlichen, hohlspiegelartigen Flecken zu ringstrukturzeigenden Flächen sind häufig.

Unter der Binocularlupe kann festgestellt werden, dass die Augen sehr flache konkave Schalen, die Gegenaugen konvexe Kegel bilden. Der Mittelpunkt ist entweder eine sehr kleine Vertiefung oder eine kaum ausgeprägte Erhabenheit. Die konzentrischen Ringe sind schmale, sich nur wenige hundertstel mm über die Augenfläche erhebende Kämme (im Gegenauge feine Rillen), deren Flanken im Schnitt senkrecht zur «Augen»-Ebene als aneinandergereihte Ausbuchtungen erscheinen (Fig. 19). Die Augenschalen sind fast alle ungleichmässig gewölbt, Umkehr von konkaver zu konvexer Form tritt häufig auf. Im allgemeinen nimmt die Wölbung gegen aussen zu, wobei wohl ein Zusammenhang mit der meist dichteren Aufeinanderfolge der äusseren Ringe besteht.

Über die Entstehung der Kohlenaugen gehen in der Literatur die Meinungen stark auseinander. A. Hofmann (Lit. 8) kam nach Druckversuchen an ziemlich spröden Mischungen von Kollophonium, Asphalt und Wachs zum Schluss, dass bei bestimmter Konsistenz und Homogenität der Kohlen durch Druck senkrecht zu den Schichtflächen nicht nur mehr oder weniger glatte Klüfte, sondern auch Augen entstehen können.

Nach R. Potonié (Lit. 17) geht die Augenbildung Hand in Hand mit der Schlechtenbildung (Schlechten = Kohlenklüfte). Er vermutet, dass die Trennungsfugen in der Kohle nicht plötzlich, sondern ausserordentlich langsam entstanden und durch gelöste Humusstoffe (Dopplerit) ausgeheilt wurden. Innerhalb dieser die Spalten füllenden gallertartigen Kolloide konnten Gasblasen eingeschlossen werden, die sich bei zunehmendem Druck auf die Kluftflächen ungleichmässig ausdehnten und die doppleritische Kluftfüllung verdrängten. Dabei sollen

Schematischer Vertikalschnitt durch ein Kohlenauge
(stark überhöht)

Fig. 19

Prozentuale Zusammensetzung der organischen bzw. Restsubstanz einiger alpiner
Eocaenkohlen

Darstellung nach H. Apfelbeck; Elementaranalysen reduziert auf C, H und O+N

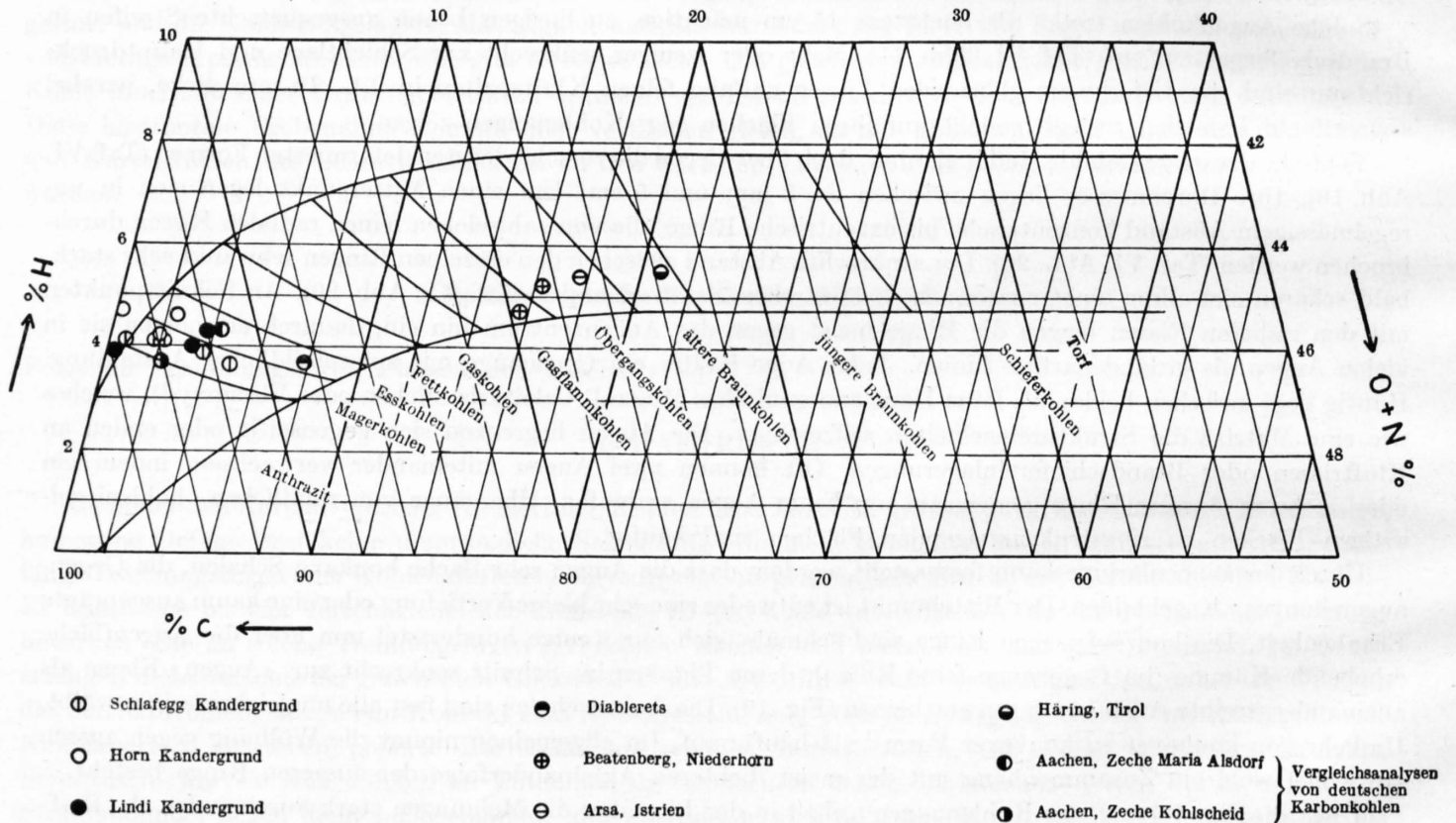


Fig. 20

die mehr oder weniger konzentrischen Ringe entstanden sein, da bei ruckweisem Vordringen des Gases Teile der kolloidalen Substanz im ursprünglichen Umfang der Blasen zurückbleiben und eine Art Wall bilden würden. Die radialen Risse betrachtet dieser Autor als nachträgliche Reduktionserscheinungen der Augenoberfläche.

O. Stutzer und A. C. Noé (Lit. 31) neigen der Ansicht A. Hofmanns zu und betonen, dass Augen nur in sehr homogenen Glanzkohlen in der Nähe von Störungen auftreten und dass sie nichts anderes als eine ungewöhnliche Art von Clivageflächen darstellten. Immerhin verweisen sie auf die Ansicht anderer Forscher, nach denen die Augen das Ergebnis von Schrumpfungsprozessen während des Inkohlungsvorganges sein könnten.

1943 veröffentlichten M. Gage und J. A. Bartrum (Lit. 7) eine ausführliche Studie über die neuseeländische Vogelaugenkohle von Greymouth. Mit Hilfe mathematischer und physikalischer Berechnungen werden zwei Entstehungshypothesen aufgestellt, die von den bisherigen stark abweichen. Nach diesen Autoren ist die konzentrische Ringbildung ebenfalls die Folge tektonischer Druckkräfte, welche zu dichtgescharten, geschlossenen Kluftflächen senkrecht zur Schichtlage führten. Die erste Hypothese nimmt an, dass sprunghafte Bewegungen im Zusammenhang mit der Kluftbildung an bestimmten Punkten Stösse verursachen, welche in sehr dünnen und elastischen Kohlenlamellen je eine Serie kegelförmiger Scherflächen mit verschiedenen Öffnungswinkeln erzeugen. Solche lokale Stösse können von Lamelle zu Lamelle übertragen werden, wodurch Serien von Kegelsätzen mit gleicher Axenrichtung entstehen, innerhalb derer jeder Satz in entgegengesetzter Richtung zum nächsten steht. Unter idealen Bedingungen, namentlich bei Homogenität des Materials (Glanzkohle) und senkrecht zu den Kluftflächen auftreffenden Stössen, ergeben Schnitte senkrecht zu den Kegelaxen typische runde Augen, während Abweichung von den idealen Bedingungen unregelmässige Formen bewirkt. Die zweite Hypothese gibt eine ähnliche Erklärung für die Ringstruktur. Durch zweiseitigen, entgegengesetzt wirkenden Stoss entstehen in benachbarten dickeren und daher weniger flexiblen Platten zwei Sätze mit den Spitzen gegeneinander stossender, gemeinsame Axe besitzender, kegelförmiger Scherflächen, wobei jeder Satz auf der die Kegelbasis bildenden Kluftfläche ein Auge erzeugt.

Nach unserer Ansicht vermag keiner der erwähnten Autoren die Augenbildung eindeutig zu erklären. Der Scherflächentheorie von M. Gage und J. A. Bartrum widerspricht die Tatsache, dass die Augen (wie die beiden übrigens selber feststellen) ganz oberflächliche Gebilde sind. Den Beweis dafür fanden wir durch folgenden kleinen Versuch: Ein einzelnes, möglichst flaches, grösseres Auge aus der Kandertaler Kohle wurde auf rotierender Tuchscheibe so lange poliert, bis die Ringstruktur verschwand. Unter dem Mikroskop erschien die neue, nur wenige tausendstel mm tiefer liegende Fläche selbst bei Anwendung stärkster Vergrösserungen vollständig gleichförmig. Von irgendwelchen konzentrischen Scherflächenspuren war absolut nichts zu bemerken. Wie das mikroskopische Bild ferner zeigte, ist die Augenkohle sehr aschearm und von äusserst homogener Beschaffenheit. Irgendwelche doppleritische Kluftausfüllungen, wie R. Potonié sie postuliert, fehlen. Wir teilen die Ansicht von O. Stutzer und A. C. Noé und betrachten die Augenstruktur als eine Abart des muscheligen Bruches, wie er besonders häufig in verhärteten kolloidalen Substanzen auftritt. An Kollophoniumstücken zum Beispiel lassen sich auf Spaltflächen sehr schöne Augen beobachten, welche sich nicht von denen der Kohle unterscheiden. Zerbricht man solche Stücke in den verschiedensten Richtungen, so zeigen die neuen Bruchflächen immer wieder die charakteristische Struktur mit mehr oder weniger konzentrischen wallartigen Ringen und radialen Rissen. Wahrscheinlich hängt die Ringbildung zusammen mit Spannungen, welche bei ungleichmässiger Alterung im Kolloid auftreten. Auf das Kolloid Kohle übertragen ergibt sich, dass der tektonische Druck nicht die Augenstruktur zu erzeugen braucht, er bewirkt wahrscheinlich nur die feine Durchklüftung, welche bereits angelegten, augenstrukturförmigen Spannungsflächen in der Kohle folgt. Die vielen radialen Risse wirken wohl spannungsausgleichend. Sie durchbrechen die konzentrischen Ringe und verstellen dieselben oft ein wenig gegeneinander (Taf. VI, Abb. 20). Wie die angeführten Beobachtungen zeigen, dürften physikalisch-chemische Versuche die Augenkohlenfrage eher abklären.

e) BRANDSCHIEFER

Als Brandschiefer bezeichnen wir ruschelige Flözpartien, welche in den Kandertaler Gruben meist in kohlenarmen Revieren dem Brackwasserkalk eingelagert sind. Von Hand lassen sie sich in kleine, von glänzenden Harnischen begrenzte, flache Linsen zerdrücken. Häufig findet man in solchen Linsen kugelige Pyritkonkretionen von Erbs- bis Walnussgrösse. Im Querbruch zeigt der Brandschiefer eine Art Schichtung, die durch den Wechsel von grauschwarzem Kalk und feinen Kohlestreifen zustande kommt. Die unbrennbaren Verunreinigungen betragen mehr als 50%. Bei starker Abnahme des Kohlengehaltes gehen die Brandschiefer in normalen Brackwasserkalk über.

3. Das Kohlengefüge und seine genetische Deutung

a) UNTERSUCHUNGSMETHODE

Die mikroskopische Untersuchung erfolgte an gegen 200 Kohlenreliefschliffen, die nach der Methode von E. Stach (Lit. 27) hergestellt wurden. Bei fast allen Proben konnte eine mehr oder weniger löcherfreie Politur erzielt werden; nur bei stark körnigen und mulmigen Kohlen waren Staubanschliffe nötig, da eine Durchtränkung der Stücke mit Kanadabalsam nicht gelang. Die Mikrophotographien wurden im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Bern mit dem grossen Metallmikroskop von Leitz aufgenommen.

b) KOHLENGEFÜGEBESTANDTEILE

In der kohlenpetrographischen Namengebung halten wir uns an die Nomenklatur, wie sie 1935 am 2. Kongress für Karbonstratigraphie in Heerlen aufgestellt wurde. Zum besseren Verständnis der folgenden Ausführungen gibt Tabelle 2 eine Zusammenstellung und Erläuterung der verschiedenen Streifenarten und Gefügebestandteile der Kohlen.

Erfahrungsgemäss lassen sich die Unterschiede zwischen den Streifenarten, bzw. Gefügebestandteilen ohne besondere Hilfsmittel (Ätzung, Betrachtung im polarisierten Licht) nur bei gering inkohlten Kohlen einwandfrei beobachten. Da die Kohlen des Kandertals in der Inkohlungsreihe unterhalb des sog. Inkohlungssturzes (Grenze Gaskohle/Fettkohle) stehen (siehe Tab. 6 und Fig. 20) sind ihre Gefügeunterschiede bereits stark verwischt und die noch erkennbaren Gefügeeinheiten schwierig zu deuten.

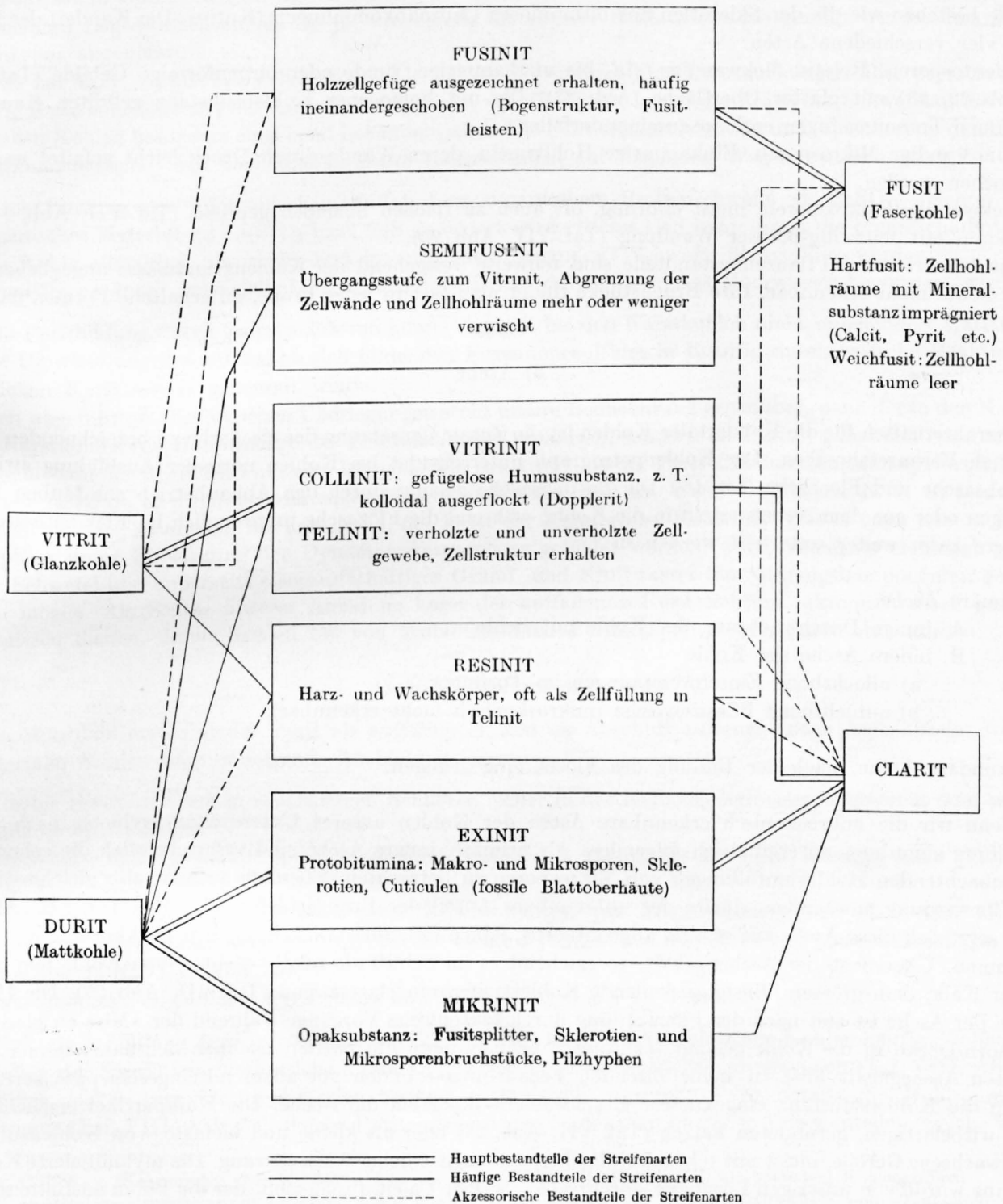
Der mikroskopische Vergleich von Proben der oben beschriebenen Kohlenausbildungsformen ergab, dass die petrographische Zusammensetzung der eigentlichen Kohlensubstanz bei allen die gleiche bleibt. Dagegen schwanken Grad und Art der Verunreinigungen in weiten Grenzen.

In einer früheren Publikation (Lit. 4) erläuterten wir die typische Zusammensetzung des Kandertaler Kohlengefüges. Diese grundlegenden Beobachtungen sollen hier kurz angeführt und durch weitere Ergebnisse ergänzt werden. Die eigentliche Kohlensubstanz ist in den meisten Proben vollständig homogen und strukturlos und gibt keinen Anhaltspunkt über die Zusammensetzung des pflanzlichen Ausgangsmaterials. Sie lässt sich gut mit gefügelosen Vitritpartien (Collinit) in echten Anthraziten vergleichen, die, wie mit Hilfe des Vergleichsokulars festgestellt werden kann, ein sehr ähnliches Reflexionsvermögen und daher einen ähnlichen Inkohlungsgrad besitzen. Selten und absolut regellos sind in diese homogene «Collinit»-Grundmasse als einzige erkennbare Pflanzenbestandteile Pilzgeflecht-Organen (Exinit) eingestreut. Zwei Arten solcher Gebilde lassen sich unterscheiden, nämlich Sklerotien und Sporen.

1) Pflanzenorgane

Sklerotien sind nach E. Stach (Lit. 27) Dauerformen gewisser Pilze, wahrscheinlich von Actinomyceten. Bei Trockenheit können sich ihre Plasmodien durch Zerfall in behäutete Zellen zu kugeligen oder strangartigen Dauerformen umwandeln. Die meisten Sklerotien, welche in Kohle oder Torf gefunden werden, treten vor allem in ehemals holzigen, zu Vitrit umgewandelten Partien auf. Es sind wahrscheinlich Formen saprophytischer Pilze, die, ähnlich wie gewisse Bakterien, holzzersetzend wirken und am Celluloseabbau teilnehmen. Wie neuere Untersuchungen von M. Schochardt (Lit. 26) ergaben, werden sämtliche Holzzellgewebearten einschliesslich Kork von solchen Pilzen angegriffen. Die Zellwände der Sklerotien bestehen aus harten Chitinstoffen, bzw. aus deren noch unvollständig bekannten inkohlungsmässigen Abkömmlingen; daher sind sie sowohl gegen diagenetische und metamorphosierende Einflüsse als auch gegen mechanische Zerstörung sehr widerstandsfähig.

Die Sklerotien der Kandertaler Kohlen haben sich verhältnismässig gut erhalten und besitzen kugelige (Taf. VII, Abb. 21) oder (wohl z. T. durch nachträgliche Pressung entstandene) ellipsoidische Form mit traubenartiger, feinporöser Oberfläche. Sie setzen sich aus mehr oder weniger zahlreichen, durch relativ dicke Scheidewände voneinander getrennten Einzelzellen zusammen, deren Trennungsfurchen oft sehr schön beobachtet werden können (Taf. VII, Abb. 21). Unter der Oberfläche liegen vorwiegend kleine Zellen, im Innern des Orga-



Tab. 2

Herleitung der Streifenarten aus den Gefügebestandteilen

nismus grosse. Homogene Kohlegrundmasse füllt die meisten Zellen aus, leere Hohlräume findet man selten, häufiger sind dagegen Pyritkörner als Lumenfüllung (Taf. VIII, Abb. 32). Diese Sklerotien dürften identisch sein mit der als *Sclerotites brandonianus* bezeichneten Art, welche wir, wie Taf. IX, Abb. 42 zeigt, auch in schweizerischen Molassehartbraunkohlen neben andern Formen antreffen.

Im Gegensatz zu den Sklerotien sind Pilzsporen keine Holzzerstörer. Ihre widerstandsfähigen, harten Wände bestehen wie die der Sklerotien aus bituminösen Chitinabkömmlingen (Kutin). Die Kandertaler Kohle zeigt vier verschiedene Arten:

- a) Teleutosporen. Relativ dickwandige, ein- bis vierkammrige, runde oder birnenförmige Gebilde (Taf. VII, Abb. 22, 23) mit glatter Oberfläche (Abb. 23). Die mit homogener Kohlensubstanz gefüllten Kammern können Trennungsfugen entlang auseinanderfallen.
- b) Dünnwandige Mikrosporen. Einkammrige Hohlkugeln, deren Wände durch Druck leicht gefaltet und zerbrochen werden.
- c) Dickwandige Mikrosporen, meist eiförmig, oft auch zu flachen Scheiben gepresst (Taf. VII, Abb. 24).
- d) Sporen mit feinzellig-poröser Wandung (Taf. VII, Abb. 25).

Die beschriebenen Pflanzenbestandteile sind teilweise weitgehend der Kohlegrundmasse angeglichen und daher kaum mehr erkennbar. Ihre Bruchstücke findet man fast in jeder Probe, guterhaltene Formen dagegen selten.

2) Asche

Charakteristisch für die Kandertaler Kohlen ist die Zusammensetzung der als Asche zu bezeichnenden mineralischen Verunreinigungen. Der Kohlenpetrograph unterscheidet bei Kohlen normaler Ausbildung zwischen Betriebsasche und Flözasche (Lit. 16). Die Betriebsasche gelangt durch den Abbaubetrieb aus tauben Einlagerungen oder aus dem Nebengestein in die Kohle, während die Flözasche ursprünglich im Flöz enthalten ist. Letztere kann weiter unterteilt werden in:

1. primäre Asche

- A. innige Durchwachsung der Kohle mit Schiefer,
- B. innere Asche der Kohle
 - a) allochthone Einschwemmungen im Torfmoor,
 - b) autochthone Pflanzenasche (mikroskopisch nicht erkennbar),

2. sekundäre Asche, nach der Bildung des Flözes eingedrungen.

Wenn wir die mikroskopisch erkennbare Asche der Kohlen unseres Untersuchungsgebietes nach dieser Einteilung einordnen, so ergibt sich folgendes: Als primäre, innere Asche sind wahrscheinlich die sehr selten zu beobachtenden Hohlraumfüllungen von Mikrosporen zu betrachten. Ebenfalls primär, also gleichzeitig mit der Flözwerdung entstanden, dürfte der unbrennbare Anteil der Brandschiefer sein. Wie Taf. VII, Abb. 26 zeigt, setzt sich diese Asche aus streifig angeordneten, feinen Calcitkriställchen, kleinen Kalkkörnern und Pyrit zusammen. Überwiegt der Aschegehalt, so erscheint er im Schliff als relativ dichter, von Kohle fein durchsetzter Kalk, dem grössere, linsig auskeilende Kohlestreifen eingelagert sind (Taf. VII, Abb. 27). Die Hauptmenge der Asche ist erst nach der Flözwerdung durch tektonische Vorgänge während der «Mise en place» der Wildhorn-Decke in die Kohle gelangt. Tektonisch beanspruchte Flözpartien zeichnen sich daher immer durch erhöhten Aschegehalt aus. In kohleführenden Verwerfungen bilden vor allem miteingeschleppte zerriebene und in die Kohlensubstanz eingeknetete Brackwasserkalkpartien die Asche. Die Kalkpartikel erscheinen in meist wirbelartigen, gerundeten Fetzen (Taf. VII, Abb. 28) oder als kleine und kleinste, von Kohlensubstanz durchwachsene Gerölle, meist mit tektonisch bedingter oberflächlicher Auflockerung. Die mylonitisierte Kohlensubstanz wurde von wässrigen Lösungen durchtränkt, welche Calcit abschieden, der die Poren ausfüllte und im Verein mit tektonischem Druck die Kohle wieder verfestigte. Die Kohle zeigt daher ein mosaikartiges Gefüge, das von nachträglich aufgebrochenen, ebenfalls durch Calcit ausgeheilten feinen Spalten durchsetzt wird. Typisch für wenig verunreinigte Hartkohlen aus Klüften und Karren ist eine mehr oder weniger rechtwinklige Anordnung von Absonderungsflächen. Die einen verlaufen immer parallel zum Streichen der Kohlenklüftwände und dürften durch deren schraubstockartige Druckwirkung entstanden sein, während die anderen wohl Setzungsvorgänge als Ursache haben. Beide Absonderungssysteme wurden bis in die feinsten Verzweigungen durch Calcit ausgefüllt (Taf. VII, Abb. 29), wobei die Calcitgänge oft eckige Kohlenbrocken einschliessen.

3) Pyrit

a. Zur Frage der Schwefelanreicherung in Karstkohlen

Nach einer von W. Petraschek (Lit. 15) zuerst erkannten Regel weist Kohle einen erhöhten Schwefelgehalt auf, wenn unmittelbar im Liegenden oder Hangenden derselben Kalk auftritt. Dies trifft für die von uns untersuchten Lagerstätten zu, da sie ja, wie bereits an anderer Stelle (Seite 17) gezeigt wurde, dem Karstkohlentypus angehören.

1939 hat E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) seine grundlegenden Untersuchungen über paleocaene bis eocaene Karstkohlenarten*) des Adria-Donauebietes veröffentlicht, in der die Frage der Schwefelanreicherung in solchen Kohlen besonders eingehend behandelt wird. Die Schwefelanreicherung und -speicherung der Kohlen in Kalknachbarschaft soll nach diesem Autor hauptsächlich auf folgenden Wegen vor sich gehen:

- a) durch Bindung von anorganischem Sulfat- bzw. organischem Proteinschwefel als CaSO_4 , welches durch organisches Material zu $\text{Ca}(\text{SH})_2$ bzw. CaS reduziert wird. Dieses CaS kann durch die organische Substanz der Kohle allmählich absorbiert und in «organisch gebunden» Schwefel übergeführt werden.
- b) Unmittelbar durch Schwefelbakterien, deren Gedeihen durch Ca-reiches Moorwasser begünstigt wird.

Die Pyritbildung durch Sulfatreduktion könne dagegen bei den Karstkohlen nicht unbehindert stattfinden, da die Umwandlung des anfänglich sich bildenden Eisenmonosulfides in Bisulfid durch basische Reaktion des Ca-reichen Karstwassers gehemmt werde.

Den angeführten theoretischen Überlegungen steht unsere Beobachtung gegenüber, nach der in den Kander-taler Karstkohlen die Hauptmenge des Schwefels nicht organisch, sondern im Pyrit*) gebunden ist. Für diese Ausnahme von der Regel fehlt uns eine hinreichende Erklärung, da der Pyrit an seinen Ausbildungsformen nicht erkennen lässt, ob er primärer oder sekundärer Aschenbestandteil ist. Wenn die Theorie E. v. Szádeczkys zu Recht besteht, so müssen wir annehmen, der Pyrit der Kander-taler Kohlen sei erst in einer höhern Inkohlungsphase unter Einwirkung der Dynamometamorphose gebildet worden, wobei einerseits organisch gebundener Schwefel und andererseits eisensulfathaltiges Grund- und Kluftwasser die Ausgangskomponenten geliefert haben mögen. Als Stütze unserer Annahme kann der auffallende Pyritreichtum tektonisch stark gestörter Flözpartien dienen, deren Kohlen oft von grobkristallinen Pyriteinsprenglingen durchsetzt werden.

b. Ausbildungsformen des Pyrits

Im Mikrobild erscheint der Pyrit als auffälligster weil im Anschliff aufleuchtender Aschenbestandteil. In Kander-taler Kohlen zeigt er folgende Ausbildungsformen:

- a) Winzige Kieskügelchen, in rauchartigen Schlieren locker in der Kohlengrundmasse eingestreut oder wolkige Anhäufungen bildend;
- b) verschieden dicht gepackte, kugelige Zusammenballungen zahlreicher einzelner Kieskügelchen (Taf. VIII, Abb. 31);
- c) verschieden geformte, gelstrukturzeigende Zellenfüllungen von Pflanzenteilen (Taf. VIII, Abb. 33);
- d) gut ausgebildete, meist in Zügen angeordnete kleine Pyritkristalle mit drei-, vier- und sechseckigen Querschnitten (Taf. VIII, Abb. 30);
- e) makroskopisch erkennbare Pyritwürfel mit Kantenlängen bis zu 1 cm.

Pyrit als Zellfüllung gewisser organischer Gebilde trifft man in schwefelreichen Kohlen häufig. Vielfach sind die Zellen der Sklerotien durch solche kristallin gewordene Eisenbisulfidgele ausgegossen (Taf. VIII, Abb. 32), oft füllen locker gepackte, mehr oder weniger geometrisch begrenzte Pyritkristalle die Hohlräume von Sporen aus (Taf. VIII, Abb. 33). Solche Pyriteinlagerungen findet man immer in Pflanzenteilen, welche vor der

*) Nach E. v. Szádeczky charakterisieren folgende Eigenschaften die Karstkohlen als besondere Kohlengruppe:

1. Aschenzusammensetzung mit auffallend hohen Werten an Calciumoxyd und oft auch an Schwefel und Magnesiumoxyd.
2. Hoher Schwefelgehalt der Kohle selbst.
3. Petrographisch sind es Mischkohlen von humussapropelitischen Ursprung (verhältnismässig hohe Ausbeute an Urteer mit mässigem Phenolgehalt).
4. Auffällige Strukturlosigkeit der Humusbestandteile.

*) Nach H. Winter und G. Free (Lit. 34) kann von einer bestimmten chemischen Zusammensetzung des Schwefelkieses in Kohlen nicht gesprochen werden, da das Schwefeleisen meist durch Gangart, Sulfate, Karbonate, Oxyde und Kohle mehr oder weniger verunreinigt ist. Rein mineralogisch handelt es sich vielfach um ein Gemisch von Pyrit und Markasit.

Inkohlung aus schwefelhaltigen, eiweissähnlichen organischen Verbindungen, wie Kutin, Suberin und Sporopollenin aufgebaut wurden. An den Grenzflächen zwischen Kandertaler Augenkohlen und ihren Brandschieferzwischenlagen sind Pyrit-«Salbänder» entstanden. Diese setzen sich aus feinen Kieskügelchen, kugeligen Aggregaten und Einzelkriställchen zusammen (Taf. VIII, Abb. 34). Gegenüber dem pyritreichen Brandschiefer ist die mikroskopisch fast asche- und pyritfreie Kohle auffallend. Die eigenartige Anreicherung von Schwefelkies dürfte auf die an solchen Grenzflächen besonders intensive Einwirkung reduzierender organischer Substanz auf den Eisensulfatgehalt der Kalkzwischenlagen zurückzuführen sein.

Die beschriebenen Ausbildungsformen des Kohlenpyrits können als für die meisten Kohlenarten typisch angesehen werden, doch sind es nicht die einzig möglichen. In claritischen Lagen der Hartbraunkohle von Mionnaz (Westschweiz, subalpine Süsswassermolasse des Aquitanien) (Lit. 9) beobachteten wir radialstrahlige Gebilde, die vermuten lassen, dass sie durch skelettartiges Wachstum von einem zentralen Pyritkeim aus entstanden seien (Taf. VIII, Abb. 35). — Mehr oder weniger richtungslos angeordnete, stäbchenförmig aneinandergereihte Pyritkügelchen fanden wir in der schwefelreichen Hartbraunkohle von Bacu Abis (SW-Sardinien, Eocaen des Bacino di Gonnese). Diese Pyritstäbchen liegen immer in Vitritlinsen, und zwar als Ausfüllung feiner Schwundrisse (Taf. VIII, Abb. 36).

c. Das Problem der vererzten Bakterien

Die im vorigen Abschnitt unter b. aufgeführten Erscheinungsformen des Pyrits besitzen auffallende Ähnlichkeit mit Gebilden, welche von H. Schneiderhöhn (Lit. 24) und H. Neuhaus (Lit. 14) als «vererzte Bakterien» bezeichnet werden. H. Schneiderhöhn stellte in bituminösen Lagen der Mansfelder Kupferschiefer einzeln oder kolonienweise auftretende, 4—20 μ grosse Erzanhäufungen fest, deren häufigste kugelige Form aus ziemlich gleichgrossen, dichtgepackten und sehr feinen glänzenden Punkten von Kupferkies besteht. Er deutete diese feinstruierten Gebilde als selektiv vererzte Schwefelbakterien, wobei er das aber, wie er später feststellt (Lit. 25) nicht so verstanden haben will, dass das betreffende Kieskügelchen immer eine genaue «Pseudomorphose» des ehemaligen Bakteriums sei. Dieses habe vielmehr nur den Anlass zur Ausfällung des Eisensulfidgelkügelchens gegeben. Andererseits könnten solche Gebilde auch anorganisch entstehen, wobei wahrscheinlich besondere Oberflächenspannungsverhältnisse ihre eigenartige Form verursachten. — In schlesischen Kupfermergeln fand H. Neuhaus ebenfalls solche «vererzte Bakterien». Er beschreibt in seiner Arbeit zwei verschiedene Formen, nämlich häufigere Kieskügelchen und seltenere Kiesklümpchen. Die Kieskügelchen sind identisch mit den von H. Schneiderhöhn beschriebenen, während die 20—40 μ grossen Kiesklümpchen sich aus 3 bis 8 μ grossen Einzelkriställchen zusammensetzen. H. Neuhaus betrachtet beide, durch Uebergänge miteinander verbundene Formen nicht als nachträgliche Aggregationen, sondern als Wachstumsgebilde, welche nicht aus Kupferkies, sondern immer aus Pyrit bestehen, und deren Bildungsmechanismus folgendermassen erklärt wird: Wie rezente kugelige Schwefelbakterien der Gattung *Thiophysa* zeigen, handelt es sich bei diesen Organismen um mit Schwefeltropfen beladene Zellen, welche von einer Membran umgrenzt sind. Sterben solche Bakterien in einer verdünnten Fe-Sulfatlösung, so können unmittelbar nach dem Absterben Fe-Ionen durch die Zellmembran hindurchdiffundieren, welche beim Zusammentreffen mit den hochaktiven Schwefeltröpfchen sogleich Sulfidkeime bilden. Diese Keime wachsen bei gleichmässigem Antransport der Metallionen entweder bis zu gegenseitiger Berührung (dichte Packung der Kieskügelchen) oder bis zur Aufzehrung der Schwefeltröpfchen (lockere Packung der Kieskügelchen) weiter. Da rein anorganische Kristallwachstumsgesetze der sulfidischen Substanz die endgültige Gestalt der so entstehenden Gebilde bestimmen, dürfen auch nach der Ansicht von H. Neuhaus weder Kieskügelchen noch Kiesklümpchen als getreue Abbilder der ehemaligen einzelligen Organismen angesehen werden.

Wie bereits erwähnt treten in der Kandertaler Kohle ebenfalls «vererzte Bakterien» auf, und zwar sowohl als «Kieskügelchen» (Taf. VIII, Abb. 37) wie auch als «Kiesklümpchen» (Taf. VIII, Abb. 38). Ihre Grösse schwankt zwischen 6 und 30 μ , während die sie zusammensetzenden winzigen Pyritkörner 0,2—1 μ , die grösseren Pyritkristalle durchschnittlich 5 μ messen. Trotzdem sich diese Gebilde weder in Form noch Grösse noch in der Anordnung ihrer Strukturelemente grundsätzlich von denen der Kupferschiefer unterscheiden, führen unsere Beobachtungen und Überlegungen doch zu einer wesentlich andern Deutung ihrer Entstehung:

Der Bildungsmechanismus, wie ihn H. Neuhaus sieht, kann in Karstkohlen nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen, da ja nach E. von Szádeczky die Alkalinität bzw. der Ca-Reichtum des Karstmoorwassers die Entstehung von Eisenbisulfid weitgehend verhindert. Wohl mag der Schwefel in den Kandertaler Kohlen zum grossen Teil von abgestorbenen Schwefelbakterien stammen. Seine Umwandlung zu Pyrit muss aber nach unserer bereits weiter oben geäusserten Ansicht in einer höhern, tektonisch beeinflussten Inkohlungsphase geschehen sein. In ungeheurer Zahl durchsetzen Pyritkügelchen manche Kohlenpartien. Durch tektonische

Vorgänge, die den ursprünglichen Kohlenverband weitgehend zerstörten, wurden die Kieskügelchen umgelagert, wobei es zu Häufungen verschiedenster Dichte kam. Innerhalb solcher wolkiger Haufen entstanden nun «vererzte Bakterien» als rein sekundäre Zusammenballungen. Taf. VIII, Abb. 31 zeigt nebeneinander fünf verschiedene Aggregatstadien. Interessant ist dabei die Beobachtung, dass die dichteste Körnerpackung den Übergang bildet zu geometrisch begrenzten Pyritkristallen. Solche Einzelkristalle können also nicht nur durch direkte Ausfällung, sondern auch über den beschriebenen Umweg der Aggregierung entstehen. Durch analoge Zusammenballungen einzelner grösserer Pyritkristalle bilden sich die den Neuhaus'schen Kiesklümpchen entsprechenden Formen (Taf. VIII, Abb. 38), wobei ihre polygonal verzahnte Packung wohl durch bestimmte Oberflächenspannungen zustande kommen dürfte.

In sardischen, istrischen und verschiedenen schweizerischen tertiären Hartbraunkohlen lassen sich die oben beschriebenen typischen Pyritaggregate ebenfalls beobachten. Im Gegensatz zu jenen der Kandertaler Kohle möchten wir diese im Sinne von H. Neuhaus als «vererzte Bakterien» deuten. Nachträgliche Zusammenballungen einzelner Erzkörner scheinen zu fehlen. Ihre Einregelung im schichtigen Kohlengefüge (Taf. VIII, Abb. 36) spricht dafür, dass es sich um primäre, im Verforungsprozess entstandene Formen handelt.

c) GENETISCHE DEUTUNG DES KOHLENGEFÜGES IM VERGLEICH MIT ANDERN EOCAENKOHLN

Die Kohle von Häring (Unterinntal, Tirol)

Die obereocaene Karstkohle von Häring folgt nach O. Ampferer (Lit. 3) als 1—10 m mächtiges, von bituminösen Mergelschiefer- und Kalkzwischenlagen durchsetztes Flöz über einer tertiären Grundbreccie aus Buntsandstein-, Kalk- und Dolomitbrocken, welche ihrerseits dem Buntsandstein aufliegt. Bei der uns zur Verfügung stehenden Probe, von welcher wir Reliefanschliffe herstellten, handelt es sich um eine Pechbraunkohle mit typischer Augenstruktur. Das mikroskopische Bild zeigt bei Vergrösserungen ohne Ölimmersion einen völlig gefügelosen, fast aschefreien Vitrit (Collinit), der sich nur durch sein schwächeres Reflexionsvermögen von der Kandertaler-Kohlensubstanz unterscheidet. Benützt man jedoch Ölimmersionen-Objektive, so erscheinen in der weiterhin gefügelosen Grundmasse scharf begrenzte, runde und bänderartige Flecken, die wohl als ehemalige Harzkörper aus Holzzellgeweben anzusprechen sind (Resinit). Diese Einlagerungen können als Hauptträger des für Karstbraunkohlen typischen hohen Bitumengehaltes (9,9% Urteerausbeute) angesehen werden (Taf. IX, Abb. 39). Nach der Klassifikation von G. Stadnikoff (Lit. 28) lassen sich die Kohlen von Häring in die Gruppe der gemischten Humussapropelitkohlen mit vorherrschendem Humusanteil einordnen. Der bedeutende Schwefelgehalt (Tab. 6) dürfte hier nach der Theorie von E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) zum überwiegenden Teil «organisch gebunden» sein. Pyrit beobachteten wir nur in sehr kleinen Mengen als lockere Anhäufungen äusserst kleiner Körner im Innern der verschiedenartig geformten Harzkörper.

Die Kohle von Beatenberg (Thunersee)

Ganz andere Beschaffenheit zeigt das Kleingefüge der Halbkarstkohlen*) von Beatenberg (Niederhorn-Randkette der Wildhorndecke). Die untersuchten Proben stammen aus dem Niederhorn-Flöschhornflöz, welches 2—30 cm mächtig dem Hohgantsandstein 50 m über seiner Basis eingelagert ist (Lit. 23). Dieses wirtschaftlich unbedeutende Kohlenvorkommen ist unserer Ansicht nach durch Zusammenschwemmung von Pflanzenresten, also allochthon, entstanden. Die stellenweise eingelagerten, von Kohlensubstanz stark durchsetzten und zusammengebackenen Zwischenmittel aus locker gepackten Quarzsandkörnern scheinen unsere Annahme zu bestätigen. Es handelt sich um eine bröcklige, bräunlichschwarze, matt glänzende Kohle, die auf Bruchflächen senkrecht zur Sedimentationsrichtung feine Schichtstreifen aufweist. Diese Streifen erscheinen im Mikrobild als Wechsellagerung schmaler Vitritbänder mit Claritlagen. Die Vitritlinsen bestehen aus völlig gefügelosem Collinit und sind von Schwundklüften stark durchsetzt. Diese während des Inkohlungsprozesses aufgebrochenen Klüfte wurden durch ein ebenfalls strukturloses doppleritartiges Humushydrogel ausgeheilt, während junge Trocknungsrisse offen blieben (Taf. IX, Abb. 40). Die mattglänzenden Kohlenanlagen möchten wir als claritisch

*) Nach E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) entstehen Halbkarstkohlen in Mooren mit kalkiger, jedoch nicht verkarsteter Umgebung. Sie können sich auch dann bilden, wenn das Liegende zwar mittelbar nicht aus verkarstem Karbonatgestein besteht, die Umgebung des einstigen Mooregebietes, also das korrelierte Abtragungsgebiet aber daraus aufgebaut ist. Die «Karstwirkung» wird dann durch die vom Abtragungsgebiet dem Moor zufließenden kalkreichen Gewässer ausgeübt.

bezeichnen, da sie zur Hauptsache als stark homogenisierte humose Stoffe erscheinen. Selten schalten sich exinitreiche Lagen mit hohlen und gepressten Pilzsporen, Teleutosporen, Sklerotien, linsigen Harzkörpern und Kutikulabbruchstücken ein (Taf. IX, Abb. 41—44). Schwundrisse im Clarit sind ebenfalls durch Humusgele ausgefüllt. Der petrographische Befund ergibt also, dass die Beatenberger Kohle im Gegensatz zu der des Kandertals ein primär entstandenes Gefüge besitzt, welches sich nur durch höhern Inkohlungsgrad von schweizerischen Molassehartbraunkohlen, z. B. des Typs Blapach (Emmental, S-Trubschachen; obermiocaene Süßwassernagelfluh) (Taf. IX, Abb. 45—47), oder von noch schwächer inkohlten sardischen Pechkohlen des Typs Bacu Abis unterscheidet (Taf. X, Abb. 48—49).

Die Kohle von Arsa (Istrien)

Durch die freundliche Vermittlung von Herrn Prof. Dr. G. B. Dal Piaz in Padova erhielten wir eine Probe der dinarischen Karstkohle von Arsa (Istrien) zur petrographischen Untersuchung. Die Kohlenflöze der Istrischen Halbinsel bilden zusammen mit dunklen mergeligen Stinkkalken als brackisch-lagunär-sumpfiger Schichtkomplex das untere Eocaen oder die Liburnische Stufe, welche mehr oder weniger diskordant über verkarstete Oberkreidekalke transgrediert. Es können bis 36 Flöze gezählt werden, deren Mächtigkeit zwischen 5 cm und über 3 m schwankt (Lit. 20, 21). Aus einem von Herrn Prof. Dr. R. Battaglia, Padova, gezeichneten und uns liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellten Stollenprofil aus der Grube Stermaz (Arsa bei Albona) ist ersichtlich, dass die Kohle des Basisflözes ähnlich wie im Kandertal der unregelmässigen, verkarsteten Oberfläche des Kreidekalkes aufrucht (Fig. 5).

Leider besitzen wir keine Angaben, welchem Flöz die uns zugesandte Probe entstammt. Da die an ihr beobachteten petrographischen Merkmale mit den Angaben von E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) weitgehend übereinstimmen, können sie wohl für die istrische Karstkohle als typisch gelten. Das Handstück zeigt eine braunschwarze, schwach glänzende, feinstreifige Hartkohle. Claritlagen überwiegen und wechseln mit dünnen Bändern glänzender Vitritlinsen. Strichfarbe sowie chemisch-technologische Untersuchungen (Tab. 3 u. 6; Fig. 20) weisen auf einen Übergangs-Kohlentyp hin. Im Schliff bildet Vitrit den Hauptbestandteil der Claritlagen. Diese werden von feinen, aus dem ehemaligen Moorwasser ausgefallenen Fetzen von Primärasche dicht durchsetzt. Der humose Anteil, d. h. ehemals lignin- und zellulosereiche Pflanzenteile, ist meist strukturlos (collinitisch), doch lassen sich in den Vitritlinsen und -streifen gelegentlich einzelne Reste ehemaliger Korkzellgewebe (Telinit) sowie harzkörperähnliche Gebilde (Resinit), wie sie in der Häringer-Kohle (Taf. IX, Abb. 39) auftreten, erkennen. Als bituminöse Bestandteile (Exinit) liegen zahlreiche Pilzsporen und Sklerotien einzeln verstreut oder haufenweise im Clarit (Taf. X, Abb. 50—51) und seltener auch als Einschlüsse in vitritischen Linsen. Ihre Zellräume erscheinen überwiegend leer, oft aber von calcitreicher Asche oder von feinkörnigem Pyrit ausgefüllt. Andere Exinit-Komponenten, z. B. Blattkutikulen sowie Fusitlinsen fanden wir keine.

Dieser petrographische Befund zusammen mit chemischen Untersuchungsergebnissen anderer Autoren zeigt, dass die Flöze von Arsa als Sapropelithumuskohlen mit vorherrschendem Sapropelitanteil zu bezeichnen sind.

Unter dem Mikroskop erweist sich der reichlich vorhandene Pyrit als ein sehr auffälliges Merkmal. Fein verteilt durchsetzt er die Claritlagen, wobei sich oft verschieden dicht gepackte, sekundäre Zusammenballungen einzelner winziger Kieskügelchen beobachten lassen. Wahrscheinlich vermochte das basische Karstwasser die saure Reaktion des Torfwassers nicht genügend herabzusetzen, um dadurch die Pyritbildung ernsthaft zu hemmen.

Die Kohle von Anzeindaz (Diablerets)

Die Kohle von Anzeindaz, Diablerets, Pas de Cheville (Lit. 12 und 33), welche dem Schichtverband der Diablerets-Decke angehört, gleicht makroskopisch dem als «Hartkohle» bezeichneten Kandertaler Typ. Das bis 4 m dicke kohleführende Band folgt über 9 m grauen Kalkbänken und schwarzen Mergeln, deren Liegendes ein bis 20 m mächtiger Eisensandstein ist. Diese Siderolithbildung füllt die Taschen und Schlote der stark verkarsteten Urgonkalke. Stratigraphisch kann diese typische Karstkohle in die Basisschichten des Bartonien s. l. (nach Arn. Heim) gestellt werden. Reflexionsgrad, Strichfarbe und chemische Analysen (Tab. 3 und 6) ergeben, dass die Kohle von Anzeindaz einen ähnlichen Inkohlungsgrad erreichte, wie jene unserer Gruben. Dagegen ist ihr Gefüge nicht so homogen. Der Reliefschliff zeigt völlig strukturlose Kohlestreifen, wechselnd mit heterogen zusammengesetzten Partien (Taf. X, Abb. 52). Wir gehen kaum fehl, wenn wir eine Parallele zu den analogen Wechsellagerungen zwischen Vitrit und Clarit im Beatenberger Kohlengefüge ziehen. Bestimmbare Pflanzenreste konnten ausser einer sehr kleinen, runden Pilzspore keine gefunden werden. Dagegen lassen sich häufig Limonitinfiltrationen beobachten, die entweder Risse und Hohlräume ausfüllen oder in fein-

körnigen, wolkenartigen Aggregaten die schwach struierte Kohlengrundmasse durchsetzen (Taf. X, Abb. 53). Wahrscheinlich stammt dieses Erz aus dem liegenden Eisensandstein, von wo es durch wässrige Lösungen kapillar in die Kohle gelangte. Die typische Ablagerungsart auf und an Kluftrissen dürfte seine Entstehung aus verwittertem Kohlenpyrit ausschliessen.

Die angeführten Beobachtungen liessen einen engen genetischen Zusammenhang zwischen Diablerets- und Kandertaler Kohlen vermuten. Dies bestätigte sich, als es uns gelang, in der Grube Horn eine kleine Kohlenlinse zu finden, die ein sehr ähnliches Kleingefüge aufwies, wie die Probe von Anzeindaz. Einen weiteren Hinweis zur Genese der Kandertaler Kohlen gab uns eine Probe aus dem Berner Naturhistorischen Museum. Sie stammt von einer Fundstelle auf der W-Seite des Kandertals. Leider fehlt die genaue Ortsangabe, so dass es uns nicht möglich war, selbstgeschlagene Handstücke zu untersuchen. Makroskopisch handelt es sich jedenfalls um eine typische Kandertaler Hartkohle. Der Reliefschliff aber enthüllte neben völlig homogenen «collinitischen» Flächen auch Partien mit geschichteter feiner Struktur, die sich, verglichen mit Beatenberger Kohlen, als «claritisch» bezeichnen lässt. In diesem «Clarit» liegen in Zügen angeordnet hellgraue und dunkelgraue Gebilde. Während die einen zweifellos gepresste Sporen und Sklerotien sind, können die andern als ehemalige Harzkörper gedeutet werden.

Diese kohlenpetrographischen Untersuchungen überzeugten uns, dass die homogene Kandertaler Kohle nicht eine besondere Kohlenart, sondern nur ein Endglied in der Inkohlungsreihe tertiärer alpiner Kohlen darstellt. Im Folgenden soll diese Ansicht erläutert werden: Neue Ergebnisse der Kohlenforschung zeigen, dass der Inkohlungsprozess aus einer ersten biochemischen Phase, der Vertorfung (Diagenese), und einer zweiten geochemischen Phase, der Kohlenveredelung (Metamorphose), besteht. Die Vertorfung als ein Vorgang anaërob biologischer Mikrobentätigkeit führt bis zum Stadium der Braunkohle. Ihr Ergebnis, die Bildung von Humusstoffen, ist eine selektiv arbeitende, mehr oder weniger weitgehende Homogenisierung der ursprünglichen Pflanzenreste, wie sie zum Beispiel in Braunkohlen des Typs Bacu Abis oder Blapbach beobachtet werden kann. Unserer Ansicht nach dürfte sich die pechartige Beschaffenheit dieser beiden Kohlen aus der relativ fortgeschrittenen, spektorartigen Umbildung der Pflanzenreste ergeben haben. Die bakterielle Tätigkeit vermochte aber nicht, die einzelnen Kohlegefügebestandteile zu homogenisieren. So zeigt zum Beispiel der Vitrinit noch sein ehemaliges Holz- und Korkzellgefüge (Taf. IX, Abb. 46—47). In Karstkohlen dagegen ist, wie wir an den Beispielen der Häringer und Arsakohlen erkennen konnten, die Homogenisierung der Humusbestandteile im allgemeinen weiter fortgeschritten. E. v. Szádeczky erklärt diese Beobachtung folgendermassen: «Da das Karstwasser die saure Reaktion des Torfwassers herabsetzt, wird auch die antiseptische Wirkung der tieferen Torfschichten abnehmen. In Karsttorf kann dadurch die Zerstörung des pflanzlichen Materials, insbesondere seiner Zellulose durch Bakterien, bzw. Pilztätigkeit auch in grösseren Tiefen ziemlich ungehindert erfolgen».

Als Hauptursache der geochemischen Inkohlungsphase wird heute von den meisten Autoren der Faltungsdruck (dynamischer Druck) bei gebirgsbildenden Vorgängen angesehen, wobei die Mächtigkeit der die Kohle überlagernden Schichten (statischer Druck) ebenfalls eine bedeutende Rolle spielt. Diese bisherige Deutung des Inkohlungsverlaufes versucht der belgische Kohlengeologe X. Stainier mit einer 1943 erschienenen Publikation (Lit. 29) zu widerlegen. Er zieht aus den in allen bisher angenommenen Gesetzmässigkeiten des Inkohlungsverlaufes auftretenden Anomalien, Ausnahmen und Unregelmässigkeiten den Schluss, dass die Hauptfaktoren der Inkohlung nicht Kräfte sein können, welche streng mathematisch formulierbaren physikalischen Gesetzen gehorchen. Es müsse sich um geschmeidigere Agentien biologischer, klimatischer oder floristischer Natur handeln. Die Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Kohlenarten und -varietäten, sowie ein guter Teil ihres physikalischen Charakters seien bereits erworben, bevor die Ablagerung kohlenbildender Substanz beendet sei, und bevor ein Kohlenlager von gebirgsbildenden Vorgängen erfasst werde. Auf Grund seines umfangreichen zitierten Tatsachenmaterials spricht X. Stainier der Dynamometamorphose und dem statischen Druck überlagernder Schichten jede grössere Bedeutung als Faktoren des Inkohlungsprozesses ab. Nach seiner allerdings noch hypothetischen Überzeugung sind die verschiedenen Kohlentypen aus ganz bestimmtem pflanzlichem Ausgangsmaterial durch die Tätigkeit von Mikroorganismen (Pilze, Bakterien) und ihrer über lange Zeiträume wirksamen Fermente entstanden.

Es steht uns nicht an, die Theorien X. Stainiers einer kritischen Würdigung zu unterziehen. Seine Argumente gegen die Wirkung der Dynametamorphose als Inkohlungsfaktor scheinen beweiskräftig und werden wohl in vielen Fällen zur Änderung bisheriger Ansichten führen. Leider lässt das Werk die Inkohlungsverhältnisse in alpinen Lagerstätten, wohl in Ermangelung diesbezüglicher systematischer Untersuchungen, unberücksichtigt. Dass die gewaltige tektonische Beanspruchung der alpinen Flöze ohne Einfluss auf die Reife ihrer Kohlen sein könnte, erscheint uns wenig wahrscheinlich. So haben wir auch keine Beweise für eine grundsätzlich verschiedene chemische Zusammensetzung der in nahenachbarten Gebieten geologisch fast gleichzeitig zur

Ablagerung gelangten Pflanzenreste, aus denen die so stark voneinander abweichenden Kohlentypen des Kandertals und des Beatenbergs schon vor der Deckenüberschiebung hätten entstehen können. Gerade am Beispiel der Beatenberger-, Diablerets- und Kandertaler Kohlen zeigt sich unserer Auffassung nach die Beziehung zwischen Inkohlungsgrad und tektonischen Vorgängen in eindrucklicher Weise.

In der Niederhorn-Randkette waren die umwandelnden Druckkräfte verhältnismässig gering. Einerseits trägt die Kohle eine nur etwa 100 m mächtige Gesteinsdecke, andererseits traten in der ungefalteten Niederhorn-Hohgantscholle während der Deckenüberschiebung keine grossen tektonischen Druckkräfte auf. Immerhin genügten sie, um die Flöze bei Erhaltung des ursprünglichen Sedimentationsverbandes die Reife von Übergangs- bis Gasflammkohlen zu geben (Tab. 6, Fig. 20). Die relativ ausgeprägte Strukturlosigkeit dieser Halbkarstkohlen dürfte aus weiter oben (Seite 41) dargelegten Gründen zum guten Teil das Ergebnis der biochemischen Inkohlungsphase sein.

Anders liegen die Verhältnisse an den Diablerets. Hier war die dem Kern einer flachgedrückten Synklinale angehörende Karstkohle bedeutenden Faltungsdrücken ausgesetzt und wurde daher stark inkohlt (Tab. 6, Fig. 20). Dieser hohe Inkohlungsgrad äussert sich petrographisch in einer sehr weitgehenden, sowohl biochemisch als auch geochemisch bedingten Homogenisierung der Gefügebestandteile. Der kohlenführende Schichtkomplex als solcher blieb relativ ungestört, da eine Mylonitisierung der Kohle an Brüchen, Quetschzonen und Verschuppungen fehlt.

Am intensivsten wurde die Kohle des Kandertals durch tektonische Vorgänge umgewandelt. Vor Überschiebung der Wildhorn-Decke mag sie in ihrem ehemaligen Ablagerungsgebiet den Reifegrad einer heutigen Molassehartbraunkohle erreicht haben, deren humose Pflanzenteile entsprechend dem Karstcharakter der Kohle die Struktur bereits weitgehend verloren hatten. Die damalige, etwa 150 m mächtige Sedimentüberlagerung genügte nicht, um die Flöze zu Steinkohle zu veredeln. Dazu waren erst die gewaltigen Druckkräfte der alpinen Dynamometamorphose fähig. Im stratigraphisch-tektonischen Kapitel dieser Arbeit zeigten wir, wie komplizierte Verschuppung und Schollenbildung der tektonischen Elemente des Kandertals die Lagerungsverhältnisse der Brackwasserschichten weitgehend beeinflussten. Deren Schichtflächen wurden zu bevorzugten Bewegungsbahnen, da die Kohle ihre Rolle als Schmiermittel übernahm. Dabei kam es zu einer weitgehenden Zerstörung und Mylonitisierung des ursprünglichen Kohlengefüges, wovon einzig die in den tiefern Karren und Taschen des Schrattenkalks primär sedimentierten Kohlen verschont blieben. Nur diese Flözpartien lassen im Mikrobild oft noch ganze geschichtete Züge von Pilzsporen erkennen, welche beweisen, dass hier keine tektonische Mikrobrecie entstand (Lit. 4). Nachdem die Bewegung im überschobenen Deckenverband aufhörte, presste der Druck der übereinandergestapelten Schichtmassen die zerriebene Kohle zu neuen, mehr oder weniger festgefügtten Ausbildungsformen zusammen.

Die angedeuteten, in den äusserst komplexen Einzelheiten kaum erfassbaren Vorgänge biochemischer und vor allem geochemischer Art bewirkten die Reifung zur heute vorliegenden Ess- bis Magerkohle (Tab. 6, Fig. 20) und die fast vollständige Homogenisierung der ursprünglich heterogen zusammengesetzten Ausgangssubstanz. Bezeichnenderweise konnten nur ehemalige Pilzgebilde diesen Vereinheitlichungsprozess überdauern. Wie wir bereits erwähnten, bestehen Sporen und Sklerotien aus äusserst widerstandsfähigen Chitinstoffen, bzw. ihren inkohlungsmässigen Abkömmlingen. Daher findet man diese Gebilde sogar in Anthraziten. Welche Pflanzen zur Entstehung der Kandertaler Kohle beitrugen, lässt sich im einzelnen leider nicht feststellen. Die wenigen Kohlenproben, welche noch verschiedenartige Strukturen zeigen, sowie die angeführten Vergleiche mit verwandten Karstkohlen verschiedener Inkohlungsstufen erlauben jedoch anzunehmen, dass die Entwicklungsreihe von einer Moorvegetation ausging, die arm an ligninhaltigen höhern Landpflanzen, dagegen reich an einer Chitin-, Harz- und Fettstoffe erzeugenden Mikroflora war.

4. Migrationserscheinungen der Kohle

Im Zusammenhang mit den Druckwirkungen der alpinen Dynamometamorphose steht eine andere Erscheinung: die Fähigkeit der Kohlensubstanz, aus dem ehemaligen Schichtverband auszuwandern und in das sterile Nebengestein einzudringen. Bei der tektonischen Besprechung der einzelnen Gruben wurde dieser Migrationsvorgang in seinen makroskopischen Formen, d. h. die Verschleppung der Kohle in Verwerfungen und Klüfte, bereits dargelegt. Nun liess sich ferner in allen drei Lagerstätten von blossem Auge beobachten, wie vor allem an Verwerfungen und Klüften, aber auch in tektonischen Geröllen die Kohle als feine und feinste Äderchen Brackwasser- und Schrattenkalk durchwachsen kann. In Konglomeratkohlen zeigen die grösseren Brackwasserkalk-Gerölle tektonisch bedingte randliche Auflockerung des Kalkgefüges, wobei die gelockerten Kalkpartikel dieser Randzone in Kohlensubstanz eingebettet liegen. Kleinere Gerölle sind nicht nur randlich, sondern auch

im Innern von feinstkörniger Kohle durchwachsen, welche als sekundärer Zement das zerrüttete Phakoid zusammenhält (Taf. VI, Abb. 16). Im Schrattenkalk lassen sich schon mit der Lupe leicht zwei Durchdringungsarten feststellen. Entweder folgt die Kohle den Flächen feiner Kluftrißsysteme, die im Bereiche von Störzonen den Schrattenkalk stark zerhacken (Taf. XI, Abb. 55), oder sie durchsetzt in regellos mäandrierenden Bahnen hauptsächlich das ooidische Kalkgefüge von Phakoiden (Tafel XI, Abb. 56). Besonders interessant sind die Bilder, welche das Mikroskop bei der Untersuchung gewisser Dünn- und Anschliffe von Brackwasser- und Schrattenkalken enthüllt. Der Dünnschliff zeigt sehr schön die migrierende Kohlensubstanz und ihre bis in die feinsten Gefügeteile des Wirtsgesteins reichenden, verschiedenartigen Wege. In Brackwasserkalken füllt die Kohle als sekundärer Gefügebestandteil oft die Hohlräume in den Kammern von Kleinforaminiferen (Milioliden, Rotaliden, Textulariden) aus (Taf. XI, Abb. 57) und dringt auf feinsten Spalttrissen in das Calcitgerüst von Muschel- und Schneckenschalenrümern ein. Im Schrattenkalk konnte beobachtet werden, wie die Kohle zwischen den Zellen von Bryozoen sitzt (Taf. XI, Abb. 58), um einzelne Ooide dicke Panzer bildet (Taf. XII, Abb. 59) und sogar zwischen die Spaltlamellen grösserer Calcitkristalle dringen kann (Taf. XII, Abb. 60), wobei solche Kristallindividuen als Rekristallisationsformen erste Zeugen der Dynamometamorphose in tektonisch besonders beanspruchten Schrattenkalken sind. Das Migrationsphänomen tritt auch an normalen Schichtkontakten zwischen Kohle und Schrattenkalk auf. Meist scheint es sich dabei um einen zweiphasigen Vorgang zu handeln, sind doch viele der feinen Klufttrisse nicht nur von Kohlensubstanz, sondern auch von Calcit ausgeheilt worden (Taf. XII, Abb. 61). Die Reihenfolge des Stoffabsatzes dürfte hier gerade umgekehrt zu derjenigen, wie sie für Erzgänge charakteristisch ist, erfolgt sein. Zuerst füllte die Kohle den Riss, dann sprengten ihn wässrige Lösungen wieder auf, wobei sich absetzende Calcitkristalle die Wände auskleideten und die Kohle einschlossen.

Wie petrographische Untersuchungen ergaben, ist die Eindringungskohle in allen ihren Erscheinungsformen nichts anderes als sehr feinkörniger Staub, dessen einzelne mikroskopisch kleine Partikel stets eckig begrenzt sind und ein genau gleich homogenes Gefüge aufweisen wie die andern Kohlenausbildungsformen. Irgendwelche doppleritische, als verhärtete Flüssigkeiten deutbare Substanzen konnten nirgends festgestellt werden. Die von E. A. Ritter (Lit. 19) vertretene Auffassung, dass bereits vor der Inkohlung gewisse flüssige Humusstoffe ins sterile Nebengestein infiltrierten und erst dort inkohlt wurden, halten wir deshalb für wenig wahrscheinlich. Es liegt kein Beweis für eine derartige Primärdurchtränkung vor. Wir sehen die Ursache der Migrationserscheinungen vielmehr in den grossen Druckwirkungen der destruktiven Dynamometamorphose und stützen uns dabei auf die Ansichten von K. v. Terzaghi (Lit. 18). Dieser Autor wies darauf hin, dass ein Gesteinsmaterial bei einer durch Wechsel der physikalischen Existenzbedingungen herbeigeführten Änderung seines petrographischen Charakters die Eigenschaft der «Festigkeit» vollkommen einbüßen und sich vorübergehend wie eine hochviskose Flüssigkeit bzw. wie ein vollkommen amorpher Körper verhalten kann, der den Gesetzen der Hydromechanik unterworfen ist. Auf diese Weise lässt sich auch eine weitere Migrationserscheinung erklären, die an gewissen Partien des hangenden Hohgantsandsteins der Grube Horn beobachtet werden konnte. In tektonisch steilgestellten, kohlenreichen Brackwasserschichten schwimmen oft am Kontakt zum Hohgantsandstein abgeschürfte Schollen dieses normalerweise gelbweissen Quarzsandsteins. In solchen Schollen bildet Kohle an Stelle von Calcit den Zement zwischen den einzelnen kataklastisch stark beanspruchten Quarzkörnern (Taf. XII, Abb. 62). Hier muss die organische Substanz bereits als Kohle in das stratigraphisch jüngere Sediment eingedrungen sein. Diese Tatsache dürfte die von uns dargelegte Auffassung über die Ursachen der Kohlenmigration bestätigen. Interessant ist ferner, dass der Kohlenzement den Quarz randlich korrodieren kann. Man hat dies wahrscheinlich der langandauernden Einwirkung von Kohlensäure (CO_2) zuzuschreiben, welche im fortschreitenden Inkohlungsprozess des Bindemittels frei wird. Auf Schlafegg zeigen stellenweise auch normal gelagerte Hohgantsandsteine in Nachbarschaft der Brackwasserschichten beginnende Kohlenpigmentierung.

II. Chemisch-technologische Untersuchung

1. Allgemeines

Die chemisch-technologischen Untersuchungen bezweckten, einige charakteristische Merkmale der stofflichen Zusammensetzung schweizerischer alpiner Eocaenkohlen festzulegen.

In zuvorkommender Weise übernahm die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in Zürich die ausführliche Analyse einer Anzahl ausgewählter Kandertaler und Beatenberger Flözproben. Auf Tab. 4 und 6

sind die Ergebnisse zusammengestellt. Eigene Versuche lieferten die Angaben für Tab. 3 (S. 50) sowie die Zahlen der Schwelanalysen. Die verschiedenen Vergleichsanalysen entnahmen wir den Publikationen von H. Apfelbeck (Lit. 16), E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) und P. Kukuk (Lit. 10).

2. Unterscheidung Steinkohle - Braunkohle

Aus Tab. 3 (S. 50) sind die Ergebnisse der drei gebräuchlichsten Unterscheidungsproben, welche wir mit einigen Eocaenkohlen anstellten, ersichtlich. Alle Kandertaler Kohlen und die Kohle von Diablerets ergaben Reaktionen, wie sie für Steinkohlen typisch sind. Häring und Bacu Abis besitzen Kohlen mit Braunkohlencharakter. Dagegen liegen Arsa- und Beatenberger Kohle im Übergangsbereich von Braun- zu Steinkohlen.

3. Spezifisches Gewicht

Die in Tab. 3 angeführten spezifischen Gewichte sind, soweit sie Kandertaler und Beatenberger Kohlen betreffen, Minimalwerte ausgewählter, möglichst aschenarmer lufttrockener Flözproben. Im Durchschnitt liegen die Werte je nach dem Verunreinigungsgrade bedeutend höher, etwa um 1,6 (Aschengehalt ca. 30%). Als technisch verwertbar erwiesen sich Kandertaler Kohlen mit einem spezifischen Gewicht unter 1,8 (Aschengehalt unter 45%), während Kohlen mit höheren Werten (s bis 2,2, Aschengehalt über 50%) als nicht abbauwürdige Brandschiefer bezeichnet werden müssen. Naturgemäss wird das spezifische Gewicht der einzelnen Kohlenproben durch den Pyritgehalt stark beeinflusst (Pyrit: $s = 4,9-5,2$). Daher sind relativ aschenarme Flözproben oft auffallend schwer (z. B. Aschengehalt 23,5%, $s = 1,63$).

4. Ergebnisse der Immediat- und Elementaranalysen

Wie die Zusammenstellung der Analysen von Kandertaler Flözproben (Tab. 6) zeigt, weisen die Kohlen der drei Lagerstätten mehr oder weniger übereinstimmende chemische Eigenschaften auf. Ihr Chemismus charakterisiert sie als *gasarme* und daher *kurzflammige, wasserarme Sinter- und Sandkohlen*. Bedingt durch tektonische Einwirkung schwankt die Qualität der Kohlen, bzw. das Verhältnis zwischen brennbarer und unbrennbarer Substanz innerhalb der einzelnen Flöze in weiten Grenzen. Im relativ guterhaltenen Flözverband der Grube Lindi gehören die aschenärmsten Kohlen dem Basisflöz an. Durch bedeutende Verunreinigungen wird die mittlere Flözgruppe gekennzeichnet, während im jüngsten Flöz der Aschengehalt wieder abnimmt. Stark wechselt die Zusammensetzung der Konglomeratkohle der Grube Horn. Eine ihr entnommene Probe lieferte den niedrigsten für Kandertaler Kohlen ermittelten Aschenwert von 10,5% (lufttrockene Rohkohle). In der Grube Schlafegg weist die aus den kohlenführenden Klüften geförderte Kohle einen durchschnittlich niedrigeren Aschengehalt als die Kohle aus den normal gelagerten Brackwasserschichten auf. Am stärksten verunreinigt sind die in Verwerfungen eingeschleppten Flözpartien.

Die in der Kandertaler Kohle überwiegend als Pyrit gebundene Schwefelmenge ist bedeutend. Sie erreicht im Durchschnitt gegen 5% der analysierten lufttrockenen Rohkohlenmenge. Der bis heute in einer Flözprobe der Grube Horn ermittelte Maximalwert beträgt 9,5%.

Der obere Heizwert lufttrockener Kandertaler Flözproben liegt wegen ihres relativ hohen Aschengehaltes bedeutend tiefer als die entsprechenden Werte ausseralpiner Magerkohlen. Er schwankt bei Kohlen mit einem Aschengehalt unter 30% zwischen 4400 und 7300 Kcal/kg, während die Zahlen für normale aschenarme Magerkohlen stets 8000 Kcal/kg überschreiten. Auch in wasser- und aschefreien Reinkohlen zeigt sich der Unterschied noch deutlich. Hier ist er, da die Werte für Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff weitgehend übereinstimmen, nur noch durch den hohen Schwefelgehalt der Kandertaler Kohlen bedingt. Im Durchschnitt liegt der obere Heizwert bei 8400 Kcal/kg und reicht mit dieser Zahl nicht ganz an den bei 8680 Kcal/kg liegenden Mittelwert ausländischer Magerkohlen heran.

5. Ergebnisse der Schwelanalysen

(Tab. 6)

In einer nach den Angaben von F. Fischer und H. Schrader (Lit. 6) konstruierten Aluminiumretorte verschmolzen wir verschiedene Kandergrunder und eine Beatenberger Kohlenprobe bei 520° C. Die Urteerausbeute war besonders bei Kandertaler Kohlen sehr klein und erreichte lange nicht die verhältnismässig hohen Werte, wie sie für Karstkohlen bezeichnend sind. Diese Abweichung ergibt sich aus dem fortgeschrittenen Inkohlungsgrad unserer Karststeinkohlen, deren Wasserstoffgehalt bereits stark reduziert worden ist. Deshalb

lassen sich die ermittelten Werte gut mit Schwelanalysen von typischen Ess- und Magerkohlen vergleichen. Dagegen weist die Beatenberger Kohle einen höheren Gehalt an hygroskopischem Wasser und Gas auf, was auf ihre geringere Reife hindeutet.

6. Darstellung der Inkohlung

Der Methode von H. Apfelbeck (Lit. 16) folgend, welche auch von P. Schläpfer (Lit. 9) für die vergleichende Darstellung des Inkohlungsgrades schweizerischer Kohlen verwendet wurde, reduzierten wir die Analysen der Tab. 6 auf die vorwiegenden Bestandteile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff + Stickstoff, das heisst auf die sogenannte Restsubstanz. Die erhaltenen Werte trugen wir in ein Dreistoff-Diagramm ein (Fig. 20). In diesem Diagramm kommen die meisten der analysierten Kandertaler Kohlenproben ins Magerkohlenfeld zu liegen, während einzelne eine für Esskohlen typische Zusammensetzung ihrer Restsubstanz aufweisen. Als Esskohle kann ebenfalls die Diablerets-Kohle bezeichnet werden. Die Beatenberger Kohle erscheint z. T. im Gasflammkohlen- und z. T. im Übergangskohlenfeld. Dagegen führen die Flöze von Arsa eine ausgesprochene Übergangskohle. Verhältnismässig reife Braunkohlen werden in den Gruben von Häring gefördert.

In neuerer Zeit verwendet A. Lombard (Lit. 11) für technische Vergleiche schweizerischer mit ausländischen Kohlen eine neue graphische Darstellungsart. Sie stützt sich auf ein Grunddreieck, auf dessen drei Winkelhalbierenden Heizwert in Kcal/kg, %-Gehalt an flüchtigen Bestandteilen + H_2O und Aschengehalt der Kohle abgetragen werden. Durch Verbindung der so erhaltenen drei Axenpunkte sollen sich für jede Kohlenart typische Dreieckfiguren ergeben.

Diese für praktische Bedürfnisse geschaffene Darstellungsmethode erscheint uns aus folgenden Gründen zu wenig wissenschaftlich fundiert: Die Asche schweizerischer alpiner Kohlen ist zum überwiegenden Teil sekundär, das heisst nach der Flözwerdung durch tektonische Vorgänge in die Kohle gelangt. Sie darf daher nicht als Kohlengefügebestandteil im eigentlichen Sinne betrachtet werden, und es kommt ihr auch absolut keine Funktion im Inkohlungsprozess zu. Reduzieren wir zum Beispiel die Analysen einer aschenarmen und einer aschenreichen, ähnlichen Inkohlungsgrad zeigenden Kohle auf ihre organische Restsubstanz, so zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung.

Für die Darstellungsmethode nach A. Lombard werden Immediatanalysen lufttrockener Rohkohlen verwendet. In solchen Analysen stehen aber Heizwert, Aschengehalt und flüchtige Bestandteile derart im Zusammenhang, dass ohne Änderung des Kohlencharakters bei zum Beispiel zunehmendem Aschengehalt die beiden andern Werte abnehmen. Da nun die einzelnen Analysen alpiner Kohlen innerhalb der gleichen Grube wegen des stark wechselnden Verunreinigungsgrades ganz bedeutend variieren, so ergeben sich für ein und dieselbe Kohlenart, wie anhand der uns zur Verfügung stehenden Analysenzahlen (teilweise in Tab. 6 aufgeführt) leicht nachgewiesen werden kann, die verschiedenartigsten Dreiecksbilder. So lassen sich z. B. mit Analysen von Kandertaler Magerkohlen ohne weiteres Figuren konstruieren, welche nach A. Lombard für ganz bestimmte Walliser Anthrazite typisch sein sollen, und andererseits solche, welche seinen Figuren von tertiären oberbayrischen Pechbraunkohlen stark gleichen.

7. Zusammensetzung und Schmelzbereich der Kohlenasche

Wie E. v. Szádeczky-Kardoss (Lit. 32) nachweist, zeichnen sich Karst- und Halbkarstkohlen durch eine typische Zusammensetzung ihrer anorganischen Bestandteile aus, was auf ursprünglich im Karstwasser gelöste und daraus chemisch ausgefällte Substanzen zurückzuführen sei. Ihre Asche ist daher Ca-, Mg- und S-reicher als jene der normalen Kohlen. Dagegen besitzen letztere mehr SiO_2 und Al_2O_3 .

Diese typische Aschenzusammensetzung weisen auch Kandertaler und Beatenberger Kohlen auf. Aus den vier diesbezüglichen Analysen (Tab. 4) ist ersichtlich, dass CaO , SO_3 und MgO mengenmässig weit überwiegen. Ihr gemeinsamer Anteil übersteigt durchwegs 50% der Gesamtaschenmenge, während er beispielsweise bei der zum Vergleich angeführten Ruhrkohlenasche nicht einmal 7% erreicht.

Interessant sind die von einer Lagerstätte zur andern stark wechselnden Werte für den Gehalt an SiO_2 . Es muss hier ein direkter Zusammenhang zwischen dem Aschengehalt der Flöze und der chemischen Zusammensetzung des Nebengesteins bestehen. Die Kohle der Grube Lindi liegt ganz zwischen Kalkschichten eingebettet. Daher wohl ist der SiO_2 -Gehalt ihrer Asche sehr gering. Auf Schlafegg und Horn besteht nur das kohlentragende Gestein aus Kalk. Die Deckschichten werden dagegen aus ziemlich reinem Quarzsandstein gebildet. Hier führt die Kohlenasche schon wesentlich mehr SiO_2 . Auf Beatenberg endlich bildet Quarzsand-

stein sowohl das Liegende als auch das Hangende des Flözes. In dieser Kohle wird SiO_2 bereits zu einem Hauptbestandteil der Asche.

Nr.	Herkunft	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	Analytiker
B 3145	Schlafegg	8,6	4,5	3,2	37,0	8,2	36,0	2,5	EMPA
B 3151	Lindi	1,9	0,6	4,6	40,6	7,9	40,3	4,1	EMPA
B 3154	Horn	10,8	12,7	13,0	21,3	10,7	28,7	2,8	EMPA
B 3150	Beatenberg . . .	22,9	13,6	5,4	24,9	1,5	23,9	7,8	EMPA
—	Arsa, Istrien . .	4,2	3,8	5,5	34,7	7,0	32,0	12,8	Ditz & Wildner
—	Mor, Ungarn . .	23,2	4,8	5,7	26,0	10,1	28,4	1,9	Vadasz
—	Wallis, Anthraz.								
	Karbon	55—74	17—28	4—7	0,5—1,5	1,4	—	5,0	EMPA
—	Ruhr, Magerfeinkohle								
	Karbon	49,7	21,9	16,4	3,8	0,8	2,3	2—4	—

EMPA = Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt

Tab. 4. Analysen verschiedener Kohlenaschen

Ob die unbrennbaren Bestandteile einer Kohle im Verbrennungsprozess zu Schlacke werden, hängt vorwiegend von der chemischen Zusammensetzung und dem Schmelzbereich des Aschenrückstandes ab. Schon 1891 erkannte F. Muck (Lit. 13) die Ursache der Schlackenbildung darin, dass Eisenoxyd in der Feuerung zu Eisenoxydul reduziert wird, welches sich unter anderem mit den Silikaten zu einer leichtflüssigen Schlacke bindet. Der Schmelzbereich der Asche wird durch deren Zusammensetzung bestimmt. Den höchsten Schmelzpunkt besitzen Al_2O_3 (bei 1775°C) und SiO_2 (1685°C). Mischungen dieser beiden Komponenten schmelzen dagegen schon bei 1300°C — 1450°C . Die Basen Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O und Na_2O können sämtliche als Flussmittel angesehen werden. Entsprechend ihrem Anteil vermögen sie den Aschenschmelzbereich zu erniedrigen.

Bei normaler, nicht forcierter Verfeuerung neigen die Kandertaler Kohlen im allgemeinen nicht zur Schlackenbildung. Einerseits ist der Anteil des Fe_2O_3 in ihrer Asche relativ klein. Andererseits liegt der Aschenschmelzbereich durchschnittlich sehr hoch (über 1450°C), trotzdem die Komponenten Al_2O_3 und SiO_2 stark zurücktreten.

8. Grubengase

In allen drei Kandertaler Bergwerken konnten Grubengase festgestellt werden. Am meisten gasgefährdet waren die Stollen der Grube Lindi. Analysen ihrer Grubenluft, ausgeführt durch die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, ergaben folgenden Befund:

Kohlensäure	0,2— 0,4%
schwere Kohlenwasserstoffe	0,0%
Sauerstoff	20,0—20,8%
Kohlenoxyd	0,0%
Wasserstoff	0,0%
Aethan	0,0%
Methan.	0,0— 0,8%
Stickstoff	78,8—79,5%

Der Methangehalt der Grubenluft reicherte sich besonders in verlassenenen, nicht mehr beweterten Stollen und an Abbaustellen an. Dort erreichte er gelegentlich örtliche Konzentrationen, welche, meist bei Unvorsichtigkeit der Bergleute, zu verschiedenen Explosionsunglücken führten.

D. Fördermengen

	Schlafegg	Lindi	Horn
1941	—	4276	6
1942	—	4691	918
1943	4839	5896	4708
1944	5811	4627	8551
1945	6315	4159	16959
1946 I. Quartal	1278	1170	4947
Totalproduktion	18243 to	24819 to	46089 to

Tab. 5

Den tektonisch bedingten, stark wechselnden Abbauverhältnissen entsprechend war der Förderanteil pro Arbeiter und Schicht bezogen auf die Gesamtbelegschaft verhältnismässig grossen Schwankungen unterworfen. Er betrug im Minimum 0,139 t und erreichte im Maximum 0,376 t. Für den deutschen Steinkohlenbergbau der Vorkriegszeit zum Beispiel liegen die entsprechenden Förderanteile durchwegs über 1000 kg. Dieser Vergleich zeigt einen der wesentlichen Gründe für die in normalen Zeiten zu erwartende ganz ungenügende Wirtschaftlichkeit des Kandertaler Kohlenbergbaus.

Ende April 1946 stellten die Gruben Schlafegg und Lindi den Betrieb wegen weitgehender Erschöpfung der Kohlenlager ein. Die in ihnen geförderten Kohlenmengen können daher als Mass für die Grössenordnung dieser Lagerstätten dienen. Grube Horn vermag dagegen ihre Produktion eher noch zu steigern*). Da sich aber der Abbau immer tiefer ins Bergesinnere erstreckt, ist es bei den herrschenden geologischen Verhältnissen absolut unmöglich, Ausdehnung und Mächtigkeit der noch vorhandenen Kohlenlager abzuschätzen.

*) Produktion bis April 1947 55 150 t.

E. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt schweizerische alpine Kohlenvorkommen im Kandertal (Berner Oberland) zwischen Frutigen und Kandersteg, welche während des letzten Krieges abgebaut wurden. Die Kohlen sind dem Gesteinsverband der Wildhorn-Decke eingelagert und liegen in schlecht zugänglichen Felshängen in 1200 bis 2000 m über Meer.

Stratigraphie der kohlenführenden Brackwasserschichten

Primäre Kohlenträger sind die sogenannten Brackwasserschichten an der Grenze Untere Kreide (Barrémien)/Eocaen. Es handelt sich um eine wechselnd mächtige, max. 12 m starke Gesteinsfolge von Faulschlammkalken, Muschelbreccien, Mergel- und Sandkalken, welche von limnischen über brackische zu neritischen Ablagerungen führt.

Die dieser priabonen Gesteinsreihe eingelagerten Kohlenflöze gehören der Karstkohlen-Gruppe an. Sie sind autochthon aus einer Niedermoorflora entstanden. Ein unbeständiges, 5 bis 30 cm mächtiges Grundflöz füllt Karren und Schlote der kreidezeitlichen Schrattenkalklandschaft aus. Darüber folgen bis acht linsenartige Flöze, deren primäre Gesamtstärke höchstens einen Meter erreicht.

In den südlicheren Faziesgebieten (Gruben Schlafegg und Horn) folgt über den Brackwasserschichten mit scharfer Grenze der Hohgantsandstein (Priabonien). In den faziell nördlicheren Schuppen der Grube Lindi gehen die Brackwasserschichten allmählich in den Lithothamnienkalk (Priabonien) über, der normalerweise über dem Hohgantsandstein folgt (Vorrücken der Eocaentransgression von S nach N).

Tektonik der Lagerstätten

Auf der östlichen Talseite liegen alle Kohlenvorkommen in einer flachgelagerten Synklinale, deren Schenkel von zahlreichen, z. T. kreidezeitlichen Verwerfungen und Klüften zerhackt werden. Die meisten der Brüche weisen nur unbedeutende Sprunghöhen auf; einzelne verstellen die Kohlenschichten um 30 bis 50 m. Bei der alpinen Deckenüberschiebung wurde hier die Hauptmenge der Kohle aus ihrem ursprünglichen Schichtverband ausgequetscht und zusammen mit grösseren Brackwasserkalk-Partien zwischen Verwerfungsflächen im Schrattenkalk und Drusberg-Mergelschiefer und in bis 60 m tiefe Zerrklüfte des Schrattenkalks verschleppt. Es entstanden so neuartige sekundäre Lagerstätten mit abbauwürdigen Kohlenmengen. Im Gebiet der Grube Schlafegg konnten in Klüften Kohlenmächtigkeiten bis zu 8 m, in Verwerfungen solche bis zu 2 m gemessen werden.

Die abbauwürdigen Vorkommen der westlichen Talseite liegen in kompliziert gebauten Schuppenzonen. Hier reicherte sich die Kohle ebenfalls an Verwerfungsflächen und besonders an keilförmigen Schuppenstirnen an. Dabei wurden grosse Teile der Brackwasserschichten zusammen mit der eingelagerten Kohle ausgewalzt und zu einem tektonischen Konglomerat umgeformt. In diesem Konglomerat bildet fest gepresste Kohle in wechselnden Mengen das Bindemittel zwischen den eckigen und gerundeten Kalkphakoiden, welche mehrere m³ Inhalt aufweisen können. Dort, wo die Brackwasserkalke noch schichtig gelagert sind, erscheinen ihre Flöze zu Linsen ausgequetscht oder zusammengestaucht.

Petrographie der Kandertaler Kohle

Die Kandertaler Kohle zeigt verschiedenartige Ausbildungsformen, deren Entstehung durchwegs auf tektonische Vorgänge zurückzuführen ist.

Hartkohle	grauschwarze mattglänzende Stückkohle, Normaltyp der eigentlichen Flözkohle
Konglomeratkohle	Brackwasserkalk- und Schrattenkalk-Phakoide verschiedenster Grösse sind der Kohlen- substanz regellos eingelagert. Fundort: hauptsächlich an Verwerfungen und in grösseren Kluftspalten im Schrattenkalk

Mulmkohle	Hartkohlenstaub vermischt mit wasserreichen Kluft- und Rückstandsletten. Fundort: an der Basis von Klüften, in Karren des Schrattenkalks
Augenkohle	besonders aschenarme Hartkohle mit augenartigen Gebilden auf Absonderungsflächen. Fundort: in Brandschiefern als Linsen
Brandschiefer	linsig-schiefrige Flözpartien mit über 50% Asche.

Die eingehende mikroskopisch-petrographische Untersuchung der Kohlenaugen ergab, dass diese ganz oberflächliche Gebilde sind. Ihr Auftreten dürfte mit Spannungserscheinungen zusammenhängen, welche bei ungleichmässiger Alterung in sehr reinen Humuskolloiden auftreten. Der Scherflächen-Theorie von M. Gage und J. A. Bartrum (Lit. 7) kann daher nicht gefolgt werden.

Bei der mikroskopischen Prüfung erwies sich die eigentliche Kohlensubstanz fast durchwegs als völlig homogener und strukturlöser «Collinit». Einzelne Proben zeigten bei starker Vergrösserung ein undeutlich streifiges Gefüge, wobei in den struierten «claritischen» Partien resinitähnliche Einlagerungen erkannt werden konnten. Vom pflanzlichen Ausgangsmaterial vermochten nur relativ wenige, verschiedenartige Pilzsporen und Sklerotien ihre ursprüngliche Form zu erhalten. Solche geformten organischen Reste finden sich sowohl in Flöz- als auch in Verwerfungs- und Kluftkohlen.

Die mikroskopisch feststellbaren Verunreinigungen der Kohle bestehen zur Hauptsache aus Calcit, zerriebenen Kalk und Pyrit. Primäre Asche konnte mit Sicherheit nicht von der sekundären unterschieden werden. Letztere bildet zweifellos den Grossteil der unbrennbaren Bestandteile. Sie ist erst nach der Flözwerdung durch tektonische Vorgänge in die Kohle gelangt, sei es als zerriebene Nebengesteinspartikel oder als Ausscheidungen zirkulierender wässriger Lösungen. Bei der Untersuchung der verschiedenen Ausbildungsformen des Kohlenpyrits zeigte sich, dass sogenannte «vererzte Bakterien», wie sie aus den Mansfelder Kupferschiefern beschrieben werden, auch in den Kandertaler Biolithen in ungeheurer grosser Zahl auftreten. Es handelt sich jedoch hier nicht um primäre Wachstumsformen, sondern um sekundäre Zusammenballungen feiner Schwefelkieskügelchen.

Um die Genese der Kandertaler Lagerstätten abzuklären, wurden zu Vergleichszwecken alpine Eocaen-, Karst- und Halbkarstkohlen von Häring (Tirol), Arsa (Istrien), Beatenberg (Berner Oberland) und Diablerets (Westschweiz) kohlenpetrographisch untersucht. Es konnte festgestellt werden, dass die Biolithe des Kandertals ein Endglied in der Inkohlungsreihe tertiärer alpiner Kohlen bilden. Vor der helvetischen Deckenüberschiebung mögen sie den Reifegrad einer heutigen schweizerischen Molasse-Hartbraunkohle erreicht haben, wobei ihre humosen Gefügeteile, dem Karstcharakter der Kohle entsprechend, bereits stark homogenisiert waren. Während der alpinen Dynamometamorphose wurde der Flözverband weitgehend zerstört, die Kohle zerrieben und unter starkem Druck neu zusammengebacken. Erst dieser Umwandlungsprozess veredelte die ursprüngliche Braunkohle zur reifen strukturarmen Steinkohle.

Unter dem Druck der alpinen Dynamometamorphose wanderte die Kohlensubstanz als feinstkörniger Staub in das Mikrogefüge des sterilen Nebengesteins ein. Solche Migrationserscheinungen treten nicht nur an Brackwasserkalken und im liegenden Schrattenkalk auf, sondern besonders eindrucklich auch an den hangenden Hohgantsandsteinschichten. Diese letztere Tatsache spricht, zusammen mit der stets beobachtbaren eckigkörnigen Beschaffenheit der Migrationskohle, gegen eine Infiltrierung nicht inkohlter organischer Substanz in flüssiger Phase, wie E. A. Ritter (Lit. 19) annimmt.

Chemisch-technologische Untersuchungsergebnisse

Die durchgeführten zahlreichen Elementar- und Schwelanalysen ergaben, dass die Flöze des Kandertals gas- und wasserarme Sinter- und Sandkohlen mit hohem Schwefelgehalt (durchschnittlich 5%, überwiegend als Pyrit gebunden) führen. Inkohlungsmässig gehören sie in die Gruppe der Magerkohlen. Ihr spez. Gewicht beträgt im Durchschnitt 1,6 und wird weitgehend durch den Verunreinigungsgrad der Kohlensubstanz bestimmt. Der Aschengehalt schwankt wie bei allen alpinen Kohlen in weiten Grenzen. Minimale Werte liegen bei 10% (lufttrockene Rohkohle). Durchschnittlich erreicht er 30% und bewirkt daher einen für Magerkohlen tiefen oberen Heizwert von maximal 7300 Kcal/kg (lufttrockene Rohkohle).

Die Kohlenasche weist eine chemische Zusammensetzung auf, wie sie für Aschen von Karstkohlen typisch ist. In allen Analysen überwiegen mengenmässig die Verbindungen CaO, MgO und SO₃. Der durchschnittliche Schmelzpunkt der Asche liegt über 1450°C. Kandertaler Kohlen bilden daher bei normaler Verbrennung keine Schlacken.

	Schlafegg	Horn	Lindi	Beatenberg	Diablerets	Häring (Tirol)	Bacu Abis (Sardinien)	Arsa (Istrien)
Spezifisches Gewicht	1,33	1,42	1,37	1,35	1,73	1,41	1,60	1,37
Strichfarbe	schwarz	schwarz	bräunlich- schwarz	schwarz- braun	schwarz	schwarz- braun	dunkel- braun mit gelblichem Ton	mittel- braun
<i>Humussäurenachweis</i> durch Kochen der Kohle in Kalilauge	schwach gelbliche klare Lösung	schwach gelbliche klare Lösung	schwach gelbliche klare Lösung	dunkelrot- braune un- durchsichtige Lösung	teebraune klare Lösung	tiefdunkel- braune un- durchsichtige Lösung	dunkel- braune ziem- lich klare Lösung	schwach gelb- liche klare Lösung
<i>Lignin-Reaktion</i> durch Kochen der Kohle in verdünnter Salpetersäure	keine Färbung der Lösung	keine Färbung der Lösung	keine Färbung der Lösung	hellbraune klare Lösung	keine Färbung der Lösung	grünlich- braune klare Lösung	hellgelblich- braune klare Lösung	hellbräunliche klare Lösung
Kohlencharakter	Steinkohle	Steinkohle	Steinkohle	Übergangs- typ v. Braun- kohle z. Stein- kohle	Steinkohle	Braunkohle	Braunkohle	Übergangs- typ v. Braun- kohle z. Stein- kohle

Tab. 3

[illegible]

Literaturverzeichnis

Zitierte Literatur:

1. *Adrian, H.*: Geologische Untersuchung der beiden Seiten des Kandertals im Berner Oberland. *Eclogae geol. Helv.*, 13, 1915.
2. *D'Ambrosi, C.*: Note illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie, Foglio Pisino, Padova 1931.
3. *Ampferer, O.*: Zur Geologie des Unterinntaler Tertiärs. *Jb. G. B. Wien*, 72, 1922.
4. *Beck, R.*: Einige Ergebnisse der petrographischen Untersuchung eocäner Kohlen des Kandertals. *Eclogae geol. Helv.*, 38, 1945.
5. *Boussac, J.*: Essai sur l'évolution des céridithés dans le Mésonummulitique du Bassin de Paris. *Annales Hébert*, VI, Paris 1912.
6. *Fischer, F. und Schrader, H.*: Urteerbestimmung mit einem Aluminium-Schwelapparat. *Ges. Abh. z. Kenntnis d. Kohle*, 5, Berlin 1922.
7. *Gage, M. und Bartrum, J. A.*: Bird's-eye coal from Greymouth, New Zealand. *Journal of Geology*, Vol. 51, Nr. 5, Chicago 1943.
8. *Hofmann, A.*: Über Kreis- oder Augenkohlen in Braun- und Schwarzkohlenflözen. *Sitzungsber. d. Kgl. böhm. Ges. d. Wiss.*, Prag 1908.
9. *Kündig, E. und de Quervain, F.*: Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. *Beitr. Geol. d. Schweiz, geotechn. Serie*, Bern 1941.
10. *Kukuk, P.*: Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Textband. Berlin 1938.
11. *Lombard, A.*: Une notation graphique des charbons et ses applications. *Eclogae geol. Helv.*, 36, 1943.
12. *Lugeon, M.*: Erläuterungen z. Geol. Atlas d. Schweiz, Bl. Diablerets, Bern 1940.
13. *Muck, F.*: Die Chemie der Steinkohle, Leipzig 1891.
14. *Neuhaus, H.*: Über die Erzführung des Kupfermergels der Haaseler und der Gröditzter Mulde in Schlesien (nebst Beitrag zur Frage der vererzten Bakterien). *Zeitschr. f. angew. Min.* 2, Berlin 1940.
15. *Petrascheck, W.*: Kohlengeologie der Österreichischen Teilstaaten. Katowice 1926/29.
16. *Petrascheck, W., Apfelbeck H. u. a.*: Entstehung, Veredlung und Verwertung der Kohle. Vorträge, gehalten an der Deutschen Technischen Hochschule in Prag. Berlin 1930.
17. *Potonié, R.*: Einführung in die allgemeine Kohlenpetrographie. Berlin 1924.
18. *Redlich, K. A., Terzaghi, K. v. und Kampe, R.*: Ingenieurgeologie. Wien und Berlin 1929.
19. *Ritter, E. A.*: Beobachtungen am Kohlenvorkommen von Schlafegg ob Kandergrund und die Frage der Entstehung der dortigen Lagerstätte. *Verh. S. N. G., Fribourg* 1945.
20. *Sacco, F.*: Schema geologico dell'Istria. «L'Universo». Firenze 1924.
21. *Sacco, F.*: L'Istria. Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia, vol. XIX, 1924.
22. *Schaub, H. P.*: Geologie des Rawilgebietes. *Eclogae geol. Helv.*, 29, 1936.
23. *Schneeberger, W.*: Die stratigraphischen Verhältnisse von Kreide und Tertiär der Randkette nördlich des Thunersees. *Mitt. N. G.* Bern 1926.
24. *Schneiderhöhn, H.*: Chalkographische Untersuchung des Mansfelder Kupferschiefers. *N. Jb. f. Min., Beilageband* 47, Stuttgart 1923.
25. *Schneiderhöhn, H. und Ramdohr, P.*: Lehrbuch der Erzmikroskopie, Bd. 2, Berlin 1931.
26. *Schochardt, M.*: Grundlagen und neuere Erkenntnisse der angewandten Braunkohlenpetrographie. Halle 1943.
27. *Stach, E.*: Lehrbuch der Kohlenpetrographie. Berlin 1935.
28. *Stadnikoff, G.*: Die Chemie der Kohlen. Stuttgart 1931.

29. *Stainier, X.*: Des rapports entre la composition des charbons et leurs conditions de gisements. Annales de la Soc. géol. de Belgique, t. 67, Mém., fasc. 1, 1943.
30. *Studer, B.*: Geologie der westlichen Schweizer Alpen. Heidelberg und Leipzig 1834.
31. *Stutzer, O. und Noé, A. C.*: Geology of Coal. Chicago 1943.
32. *Szádeczky-Kardoss, E. v.*: Über Karstkohlenarten und die Frage ihrer Schwefelanreicherung. Mitt. d. berg- und hüttenm. Abt. an d. Kgl. Ung. Palatin-Josephs-Universität f. techn. Wirtschaftswiss. Sopron 1939.
33. *Wehrli, L.*: Die postkarbonischen Kohlen der Schweizer Alpen. Beitr. Geol. d. Schweiz, geotechn. Serie, VII. Liefg. Bern 1919.
34. *Winter, H. und Free, G.*: Schwefelkies in den Flözen des Ruhrbezirks. Glückauf, Bd. 69, 1933.
35. *Ritter, E. A. und Kelterborn, P.*: Über das Kohlenvorkommen der «Schlafegg» ob Kandergrund (Berner Oberland) mit spezieller Berücksichtigung der Kohlen auf Spalten im Schrattenkalk. Eclogae geol. Helv., 39, 1946. (Konnte inhaltlich nicht mehr berücksichtigt werden.)

Nicht zitierte petrographische Untersuchungen an schweizerischen Kohlen:

36. *Koopmans, R. G.*: Untersuchungen und Beobachtungen an schweizerischen Kohlen. Deuxième Congrès pour l'avancement des études de stratigraphie carbonifère. Heerlen, 1935. Compte Rendu, Tome I, 1937.
37. *Halbertsma, H. L.*: Kohlenpetrographische Untersuchungen an zürcherischen Molassekohlen unter spezieller Berücksichtigung der Grube Riedhof. Diplomarbeit Eidg. Techn. Hochschule, Zürich 1944 (nicht veröffentlicht. Nicht eingesehen).

Abstract

This thesis deals with alpine coal deposits in the Kandertal (Bernese Oberland, Switzerland) between Frutigen and Kandersteg, which were worked during the last war. The coal belongs to the series of the Wildhorn Nappe and crops out in nearly inaccessible cliffs at 1200 to 2000 m above sea level.

STRATIGRAPHY OF THE COAL-BEARING «BRACKWASSER» SERIES

The primary coal-bearing strata are the so-called «Brackwasser» series at the boundary of the Lower Cretaceous (Barrémien)/Eocene. They are of varying thickness but consist at the most of 12 m of sapropelic limestones, shell-breccias, marly and sandy limestones, which lead from limnic over brackish to neritic deposits.

The coal-seams of these strata of Priabonien age belong to the group of Karst-coal. They were formed in a low-level bog. An inconstant bottom layer of coal of 5 to 30 cm thickness fills the crevasses of the cretaceous landscape in the Schrattenkalk (marine limestone of Barrémien age), which shows Karst phenomena. Above follow up to 8 lenticular seams which in all do not exceed 1 m in thickness.

In the southern facies zones (Schlafegg and Horn Mines) the Hohgant sandstone (Priabonien) follows with a sharp contact over the brackish sediments. To the north however (Lindi Mine) the «Brackwasser» series lead continuously over to the Lithothamnienkalk (Priabonien) which normally follows the Hohgant sandstone (advance of the Eocene transgression from S to N).

TECTONICS OF THE MINERAL DEPOSITS

On the eastern side of the valley all the coal deposits lie in a recumbent syncline, the limbs of which are broken by numerous faults partly of cretaceous age. The throw of most of the faults is inconsiderable, but a few show a vertical displacement of 30 to 50 m. The alpine dislocation squeezed most of the coal out of its original surroundings. Together with large parts of «Brackwasser» limestone it was pressed between fracture planes in the Schrattenkalk and the underlying Drusberg shales and into clefts up to 60 m deep in the Schrattenkalk. In this way were formed new, secondary coal deposits of economic value. In the Schlafegg mining area coal-seams up to 8 m in clefts and up to 2 m in faults were measured.

The workable deposits of the western side of the valley lie in a zone of complicated «Schuppen»-structure. Here also the coal was concentrated along fracture planes and especially at the anterior end of wedge-shaped «Schuppen». During this process large parts of the «Brackwasser» series were forced out together with the imbedded coal and transformed into a tectonic conglomerate. In this conglomerate hard pressed coal in varying amounts forms the cement between the angular or rounded limestone fragments which may be several m³ in size. Where the strata of the «Brackwasser» limestone show little disturbance the coal-seams are compressed into lenticular layers.

PETROGRAPHY OF THE KANDERTAL COAL

The Kandertal coal shows various types of development all of which are due to tectonic processes.

Hard coal	grey-black, semi brilliant coal; the normal type of the actual coal-seams
Conglomerate coal	various sized fragments of «Brackwasser» limestone and Schrattenkalk are irregularly imbedded in the coal. Occurrence: specially in faults and clefts in the Schrattenkalk
Moulded coal	coal dust mixed with water-bearing clay. Occurrence: at the bottom of clefts in the Schrattenkalk
Bird's-eye coal	brilliant coal with an especially low percentage of ash showing eye-like structures on parting planes. Occurrence: as lenses in combustible shales
Combustible shales	lenticular-schistose seams with more than 50% ash.

An intensive microscopic-petrographical study of the «eyes» in the coal showed that these are superficial structures. Their occurrence is probably due to tensions which arise with irregular ageing in very pure humus colloids. I therefore cannot follow the theory of conoidal shearing of M. Gage and J. A. Bartrum (Lit. 7).

The microscopic study of the actual coal material showed it to be an homogeneous and structureless anthraxylon. A few samples, when viewed under high magnification, reveal an indistinct streaky structure. In the parts with clarain, resin-like inclusions were observed. Only a relatively small percentage of the original vegetable matter, i. e. various spores and sclerotites, managed to maintain their original shape. These shaped organic remains were found in the coal of the seams as well as in that of the faults and clefts.

The microscopic impurities are essentially calcite, pulverized limestone and pyrite. Primary ash cannot be distinguished with certainty from secondary ash, which without doubt constitutes most of the incombustible particles. It was introduced into the coal through

tectonic processes as pulverized country rock or as segregations of circulating aqueous solutions after the formation of the coalseams. The study of the various forms of pyrite as seen in the coal showed that so-called «mineralized bacteria», as described in the copper shales of Mansfeld, occur also in very large numbers in the Kandertal coal. But here they are not primary forms of growth but secondary agglomerations of minute pyrite globules.

To determine the genesis of the Kandertal deposits the mineral was compared petrographically with alpine Eocene Karst- and Half-karst-coal from Häring (Tirol), Arsa (Istria), Beatenberg (Bernese Oberland) and Diablerets (Western Switzerland). It was proved that the coal of the Kandertal corresponds to the last stage of carbonization of tertiary alpine coal. Before the overthrusting of the Nappes of the Helveticum they may have achieved the maturity of a Swiss Molasse brown-coal of to-day, whereby their humic matter, corresponding to their character of Karst-coal, was already highly homogeneous. During the alpine dynamic metamorphism the coal-seams were mostly destroyed, the coal pulverized and recompressed under high pressures. Only this metamorphosis changed the original browncoal into the mature, structureless bituminous coal.

Under the pressure of the alpine dynamic metamorphism the coal migrated in minute dust particles into the microstructure of the country rock. Such migration phenomena are observable not only in the «Brackwasser» limestones and the underlying stratum (Schrattenkalk) but also in the hanging layer of Hohgant sandstone. This last fact, together with the always pronounced granular and angular nature of the migration coal militates against the view of an infiltration of non-carbonized organic matter in liquid phase, as postulated by E. A. Ritter (Lit. 19).

CHEMICAL-TECHNOLOGICAL RESULTS

Numerous analyses and distillations showed that the deposits of the Kandertal contain Sinter- and Sandcoal with little gas and water and a high percentage of sulphur (averaging 5%, mostly as pyrite). According to their degree of carbonization they belong to the group of semianthracite. The specific gravity averages 1.6, largely due to the amount of impurities in the coal. The percentage of ash varies greatly as in all alpine coal. The minimum is about 10% (air-dry coal). The average is 30% and therefore leads to a relatively low upper heating value for semianthracite of max. 7300 Kcal/kg (air-dry coal).

The ash of this coal has a chemical composition typical for Karst-coals. CaO, MgO and SO₃ prevail in all the analyses. The average melting point of the ashes lies above 1450° C. Therefore the Kandertal coal does not produce cinders when burned in a normal manner.

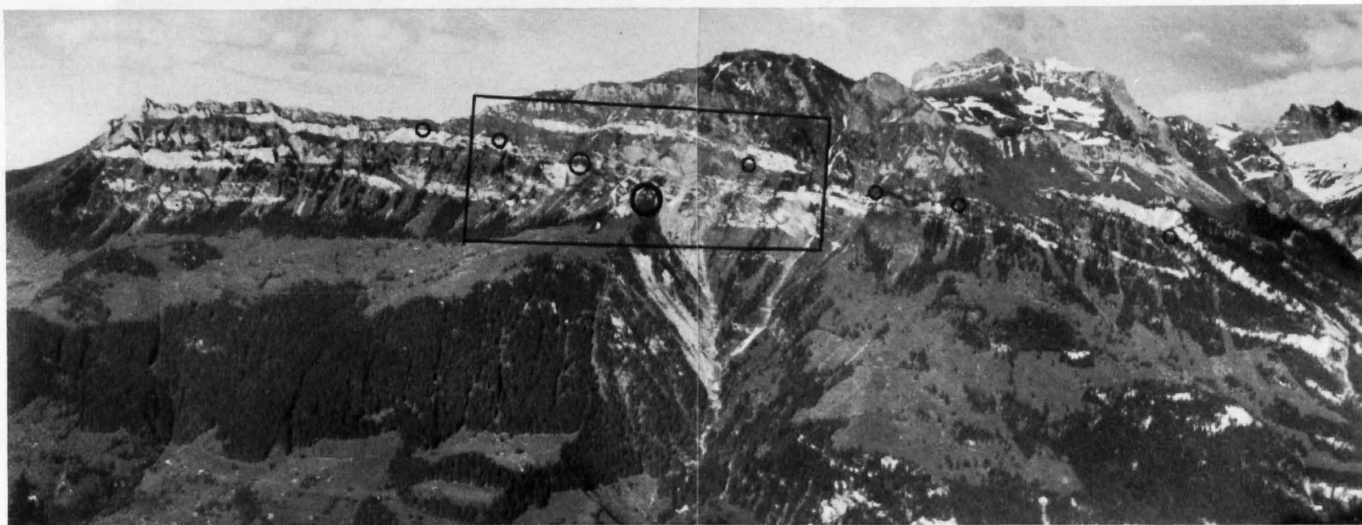
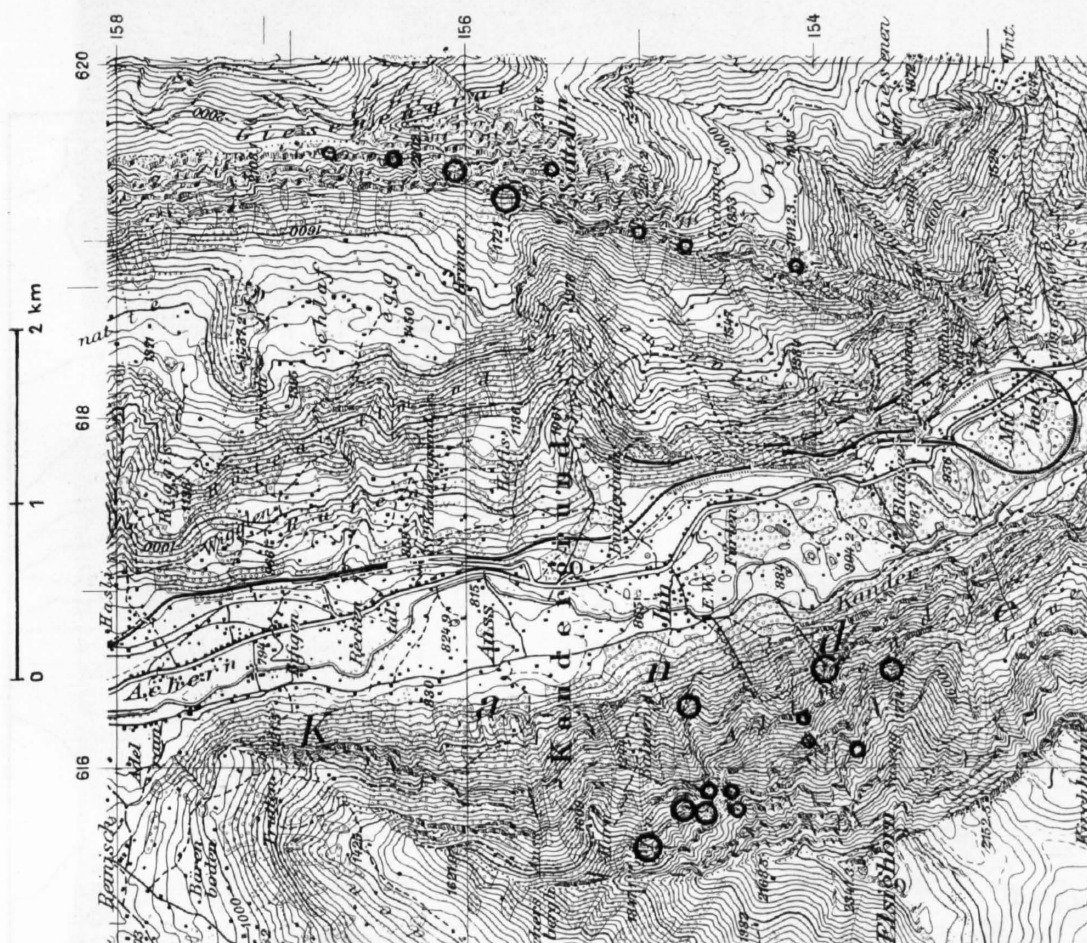


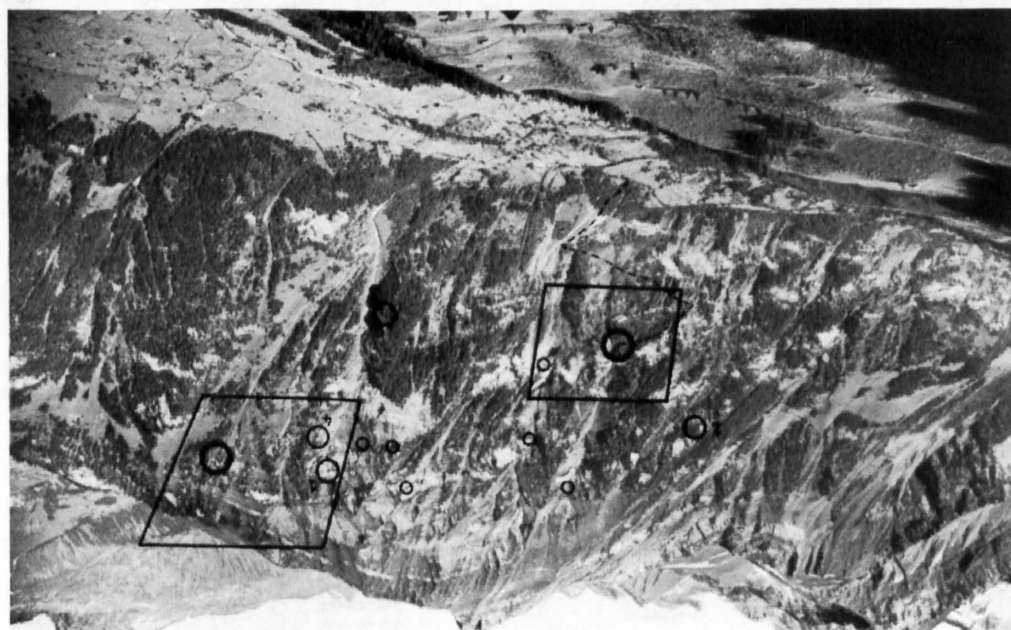
Abb. 1



Schürfstellen mit Sondierstellen

Kohlenzeigende Brackwasserkalkaufschlüsse

Abb. 2



Gebiete der geologischen Detailaufnahmen

Einfahrtsstellen der Kohlengruben

Abb. 3

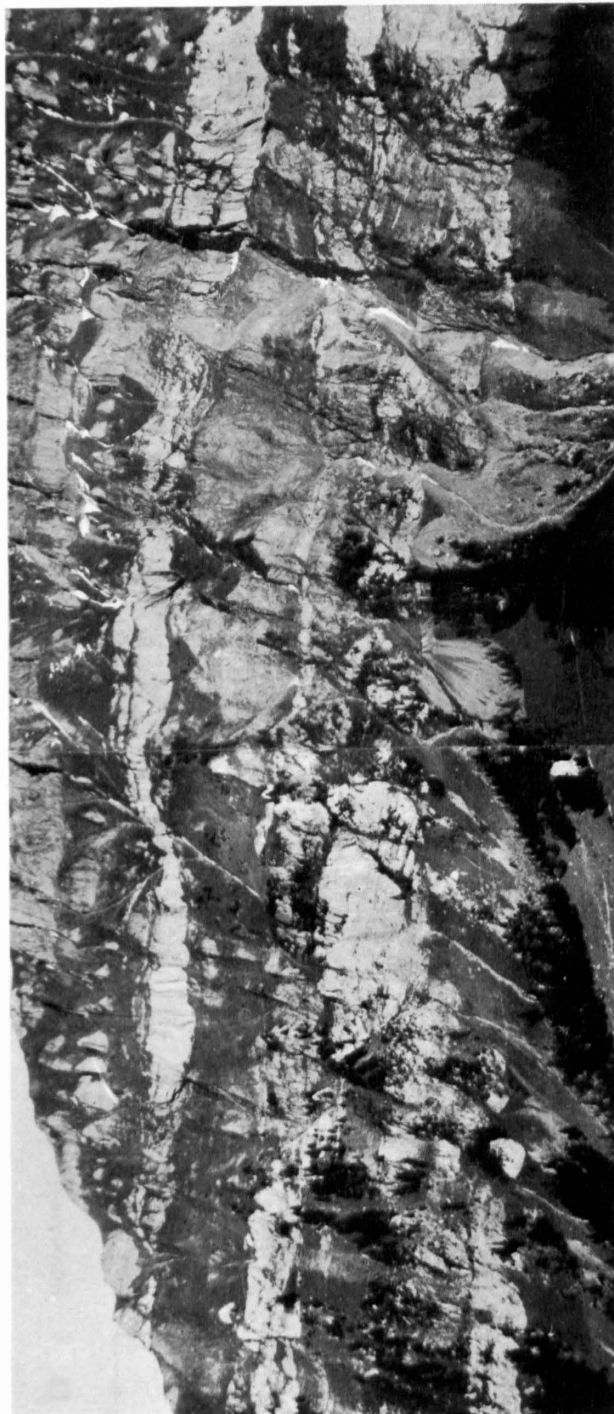


Abb. 4

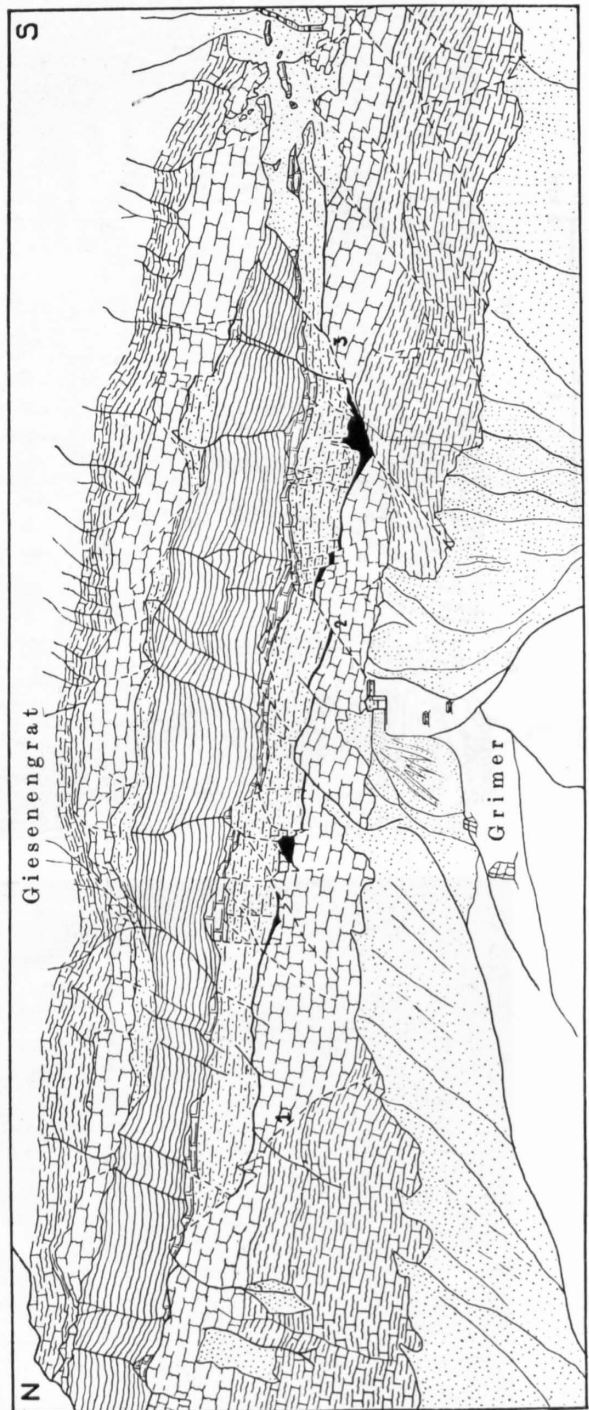
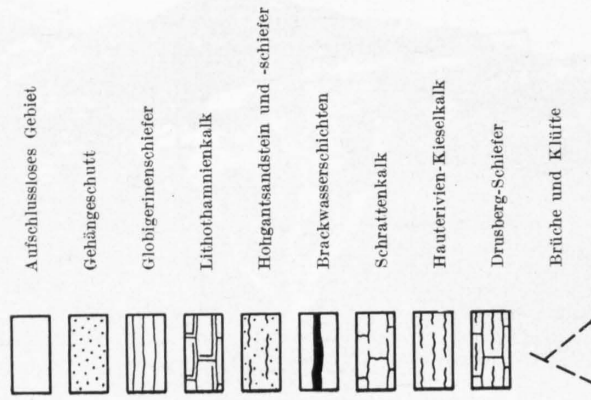


Abb. 5



Abb. 6

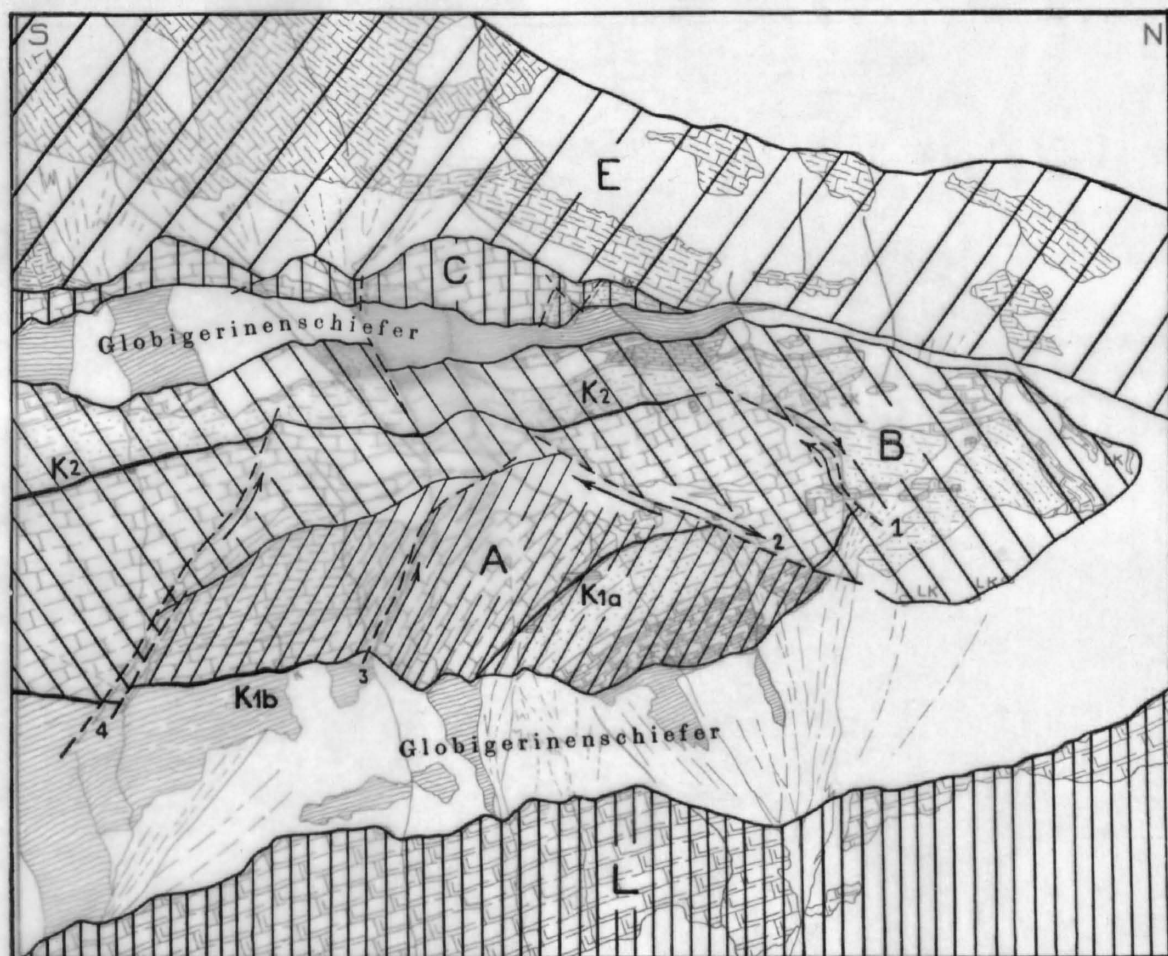


Abb. 7 (siehe Seite 25)

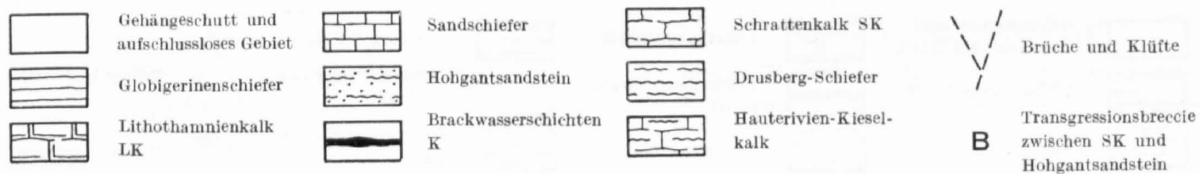




Abb. 8

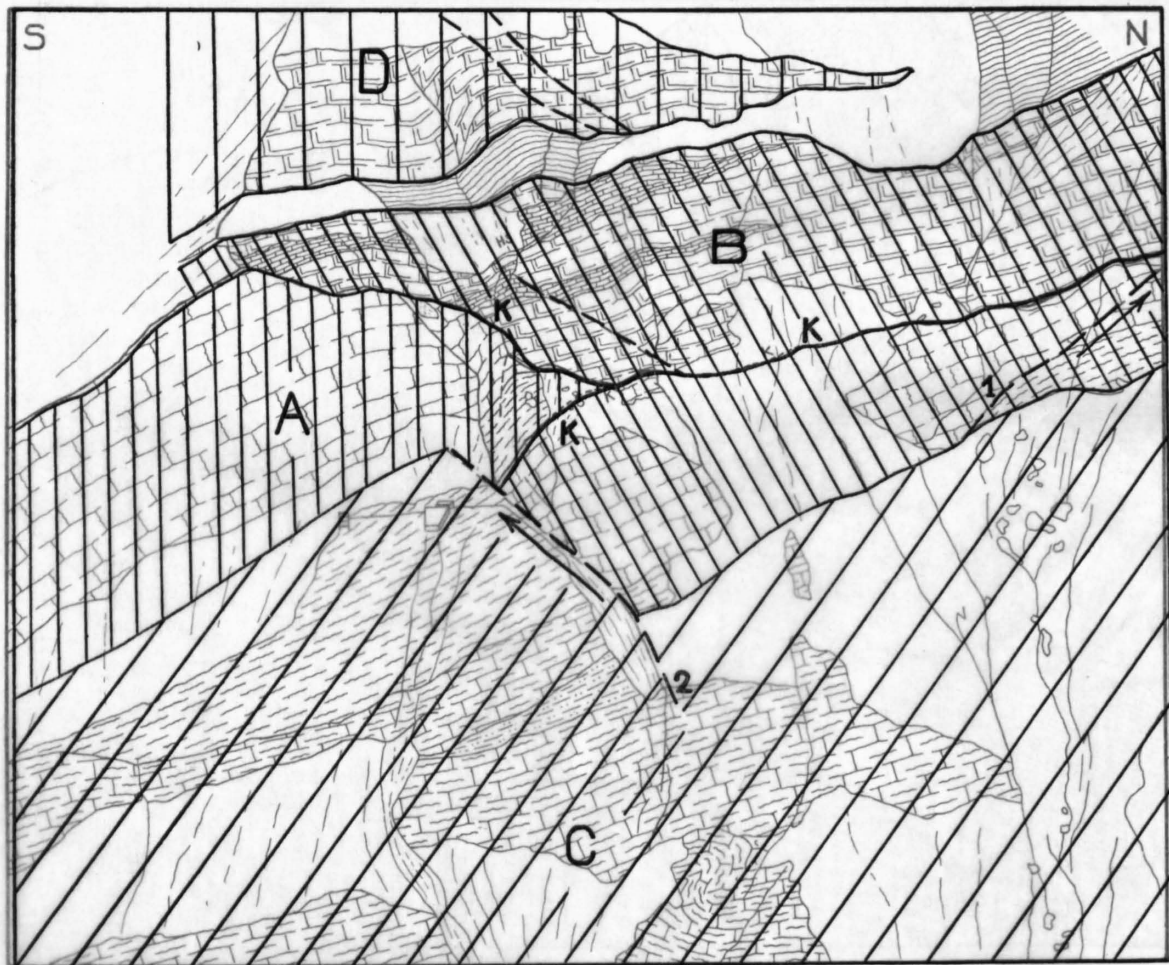


Abb. 9 (siehe Seite 27)



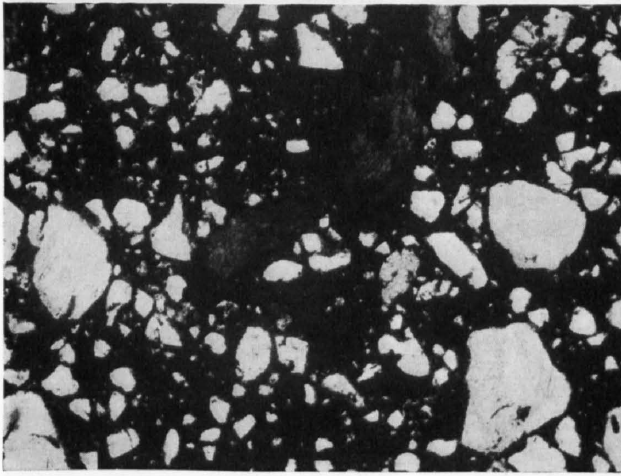


Abb. 10. Grube Lindi

Sandmergel an der Basis der Brackwasserschichten. Locker angeordnete, eckige und gerundete Quarzkörner und vereinzelte Algenbruchstücke in stark kohlenpigmentierter dichter Grundmasse
Vergr. 27mal

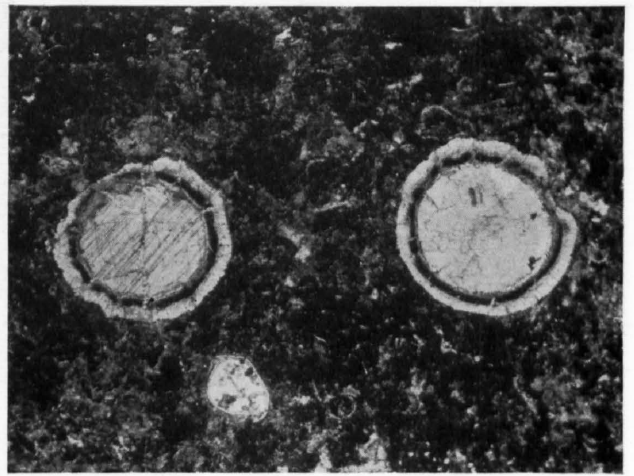


Abb. 11. Grube Lindi

Braunpigmentierter, fleckiger Faulschlammkalk mit Oogonien von Characeen
Vergr. 27mal

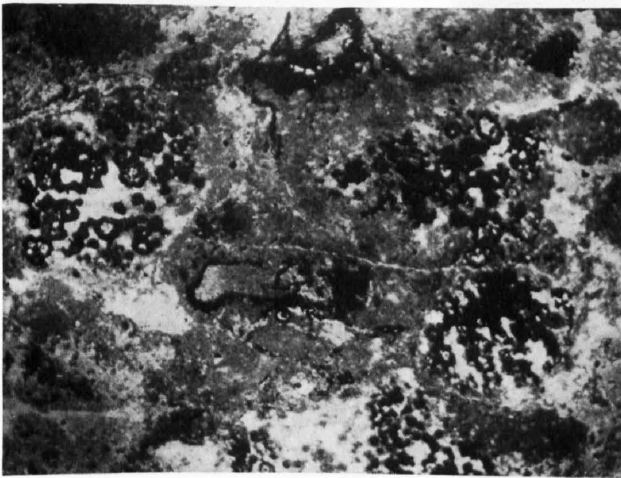


Abb. 12. Grube Lindi

Schlieriger, rotbraun pigmentierter Faulschlammkalk mit kugeligen Pyritkonkretionen (schwarz)
Vergr. 27mal



Abb. 13. Grube Schlafegg

Dunkelrotbraun pigmentierter dichter Faulschlammkalk mit Algenstengeln, von calcitgefüllten feinen Klufrissen durchzogen
Vergr. 65mal

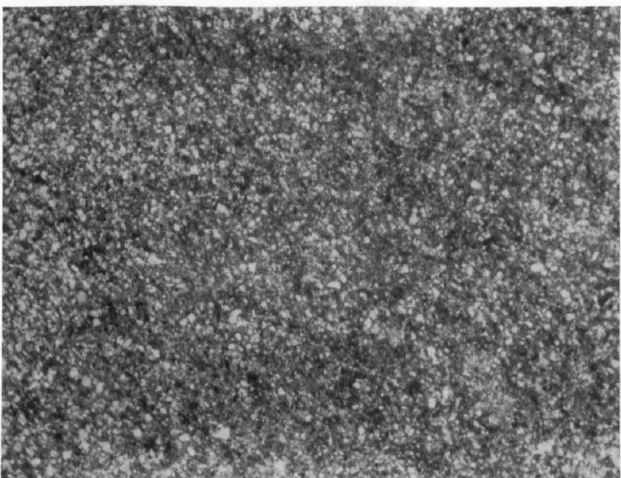


Abb. 14. Grube Lindi

Mittelkörniger Sandkalk. Komponenten: Quarzkörner, Zement: braunpigmentierter Kalk
Vergr. 27mal



Abb. 15. Grube Lindi

Brackwasserkalk — Lumachelle. In der Bildmitte Längsschnitt durch ein Cerithium, in dessen Windungen Kleinforaminiferen stecken
Vergr. 14mal

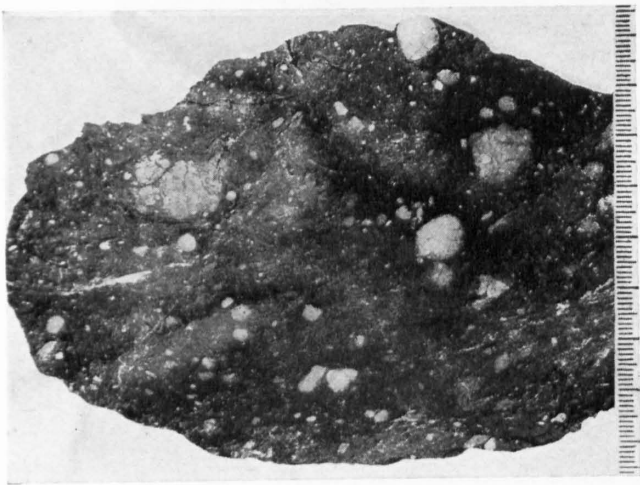


Abb. 16. Grube Schlafegg

Konglomeratkohle aus Hauptbruch 3

Die in der Kohle eingebetteten Gerölle bestehen aus Brackwasser-
kalk und Schrattenkalk; sie sind z. T. randlich, z. T.
vollständig von Kohle durchwachsen. Anschliff

Vergr. 0,78mal



Abb. 17. Grube Lindi

Brandschiefer mit glänzenden Augenkohlenlinsen. In der Bild-
mitte Phakoid aus Brackwasserkalk
Stollenaufnahme

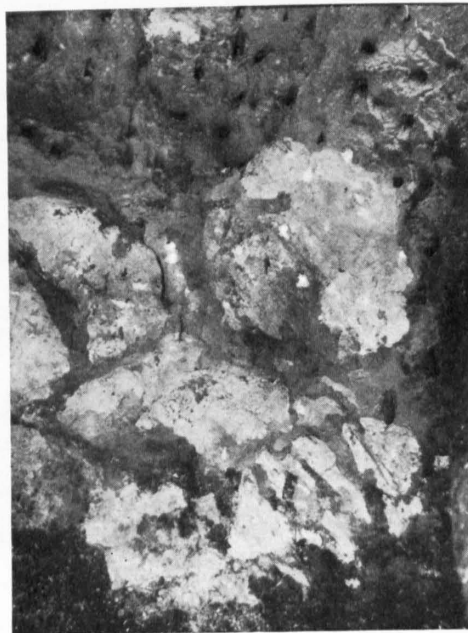


Abb. 18. Grube Schlafegg

Verwitterte Schrattenkalkblöcke in weicher,
stark feuchter Mulmkohle an der Basis der
Hauptkluft. In der Kohle sind Löcher des
Abbauhammers sichtbar. Stollenaufnahme



Abb. 19. Grube Lindi

Kohlenaugen auf Absonderungsflächen, mit konzentrischen
und exzentrischen Ringen
Handstückausschnitt, vergrößert

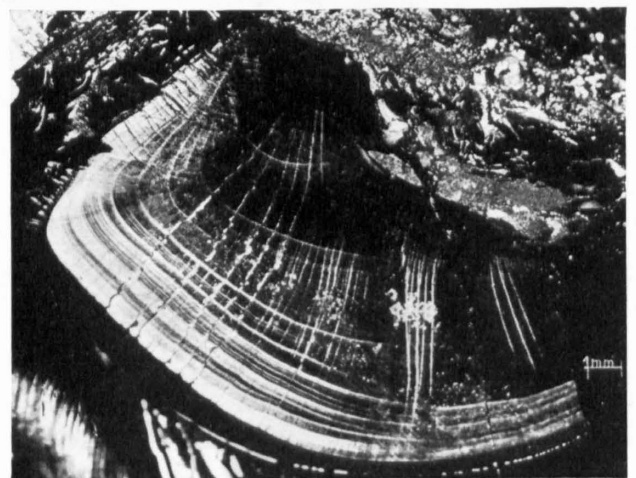


Abb. 20. Grube Lindi

Einzelnes Kohlenauge mit sehr schönen konzentrischen Wällen
und radialen Rissen
Handstückausschnitt, Vergr. 6mal

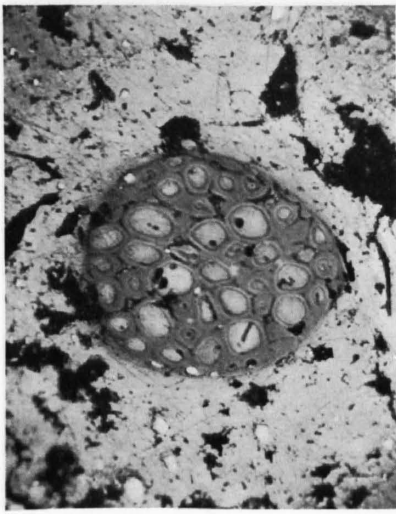


Abb. 21. Grube Lindi

Rundes Sklerotium mit sichtbaren Kammergrenzen in gefügeloser Kohlengrundmasse

Vergr. 360mal, Ölimmersion



Abb. 22. Grube Lindi

Dreikammrige Teleutospore in strukturloser Kohlengrundmasse. Die einzelnen Kammern können entlang Trennungsfugen auseinanderfallen

Vergr. 580mal, Ölimmersion

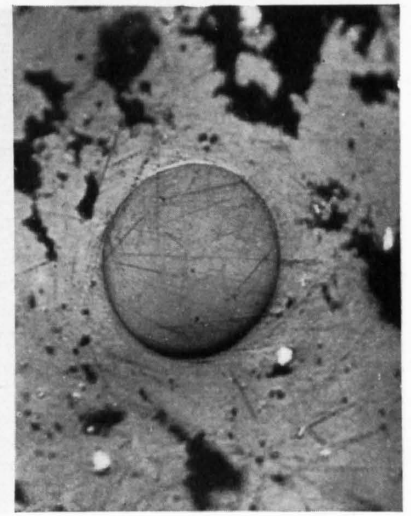


Abb. 23. Grube Lindi

Runde Teleutospore, Lumen nicht angeschnitten, in strukturloser Kohlengrundmasse

Vergr. 520mal, Ölimmersion

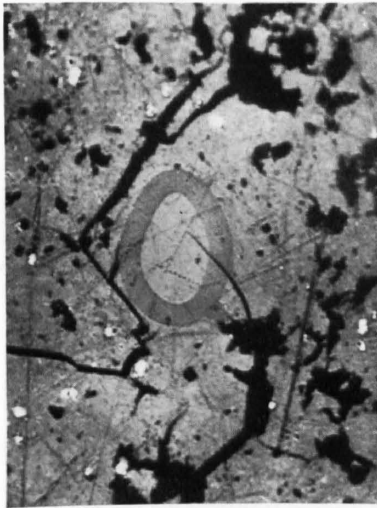


Abb. 24. Grube Lindi

Ovale Mikrospore in strukturloser Kohlengrundmasse

Vergr. 580mal, Ölimmersion

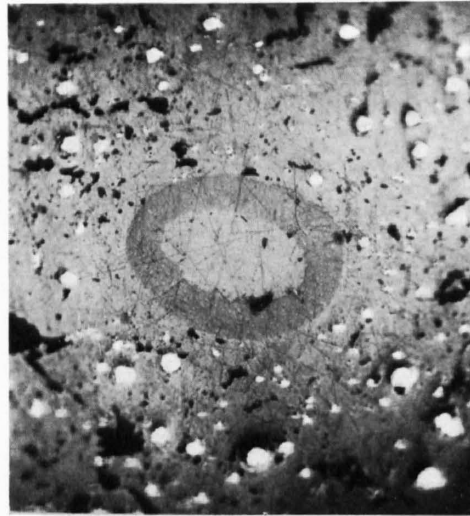


Abb. 25. Grube Lindi

Mikrospore mit poröser Wandung in strukturloser Kohlengrundmasse

Vergr. 360mal, Ölimmersion

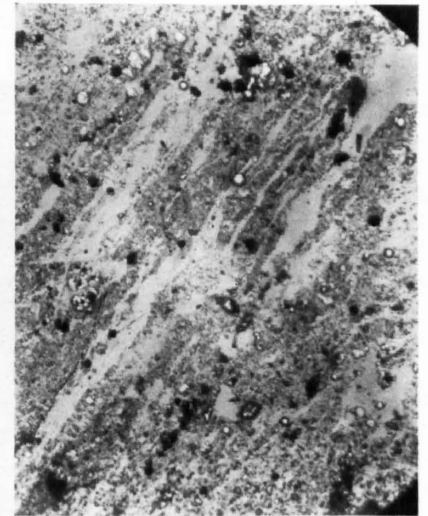


Abb. 26. Grube Lindi

Brandschiefer mit Mikrobruch. Hellgrau: strukturlose Kohlenstoffsubstanz; dunkelgrau: Asche, vorwiegend Calcit; runde, helle Körner: Pyrit

Vergr. 76mal, trocken

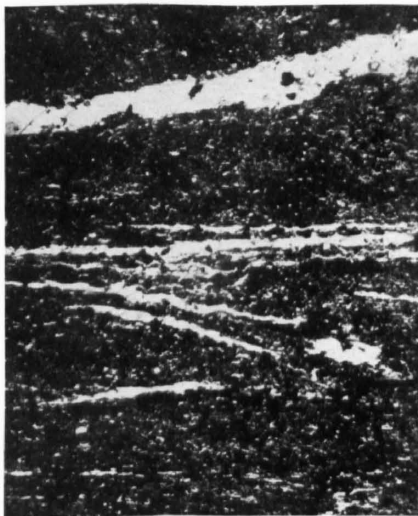


Abb. 27. Grube Lindi

Aschenreicher, streifiger Brandschiefer. Hell: strukturlose Kohlenstoffsubstanz; dunkel: Asche, vorwiegend Kalkpartikel

Vergr. 70mal, trocken

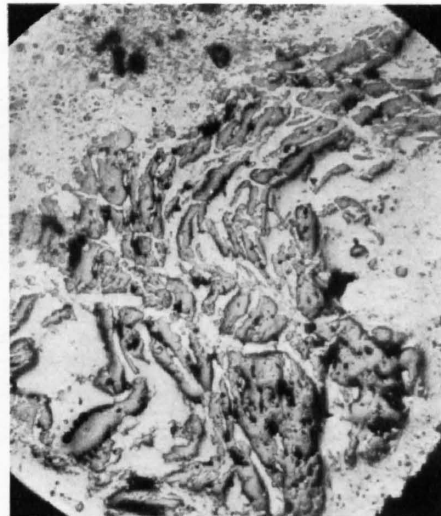


Abb. 28. Grube Lindi

Zertrümmerter Partikel von Brackwasser-kalk in strukturloser, calcitdurchsetzter Kohlengrundmasse

Vergr. 30mal, trocken

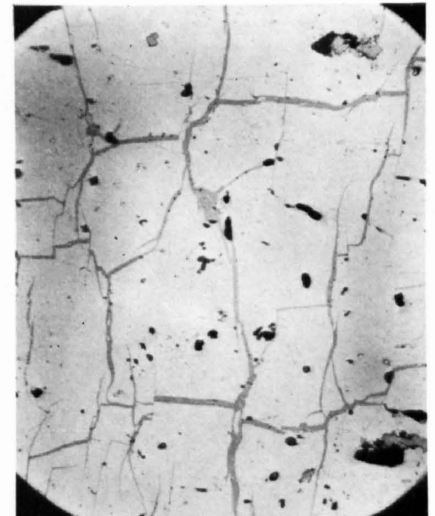


Abb. 29. Grube Schlafegg

Netzartige, durch Calcit ausgeheilte Klufttrisse in der strukturlosen Kohlengrundmasse

Vergr. 76mal, trocken

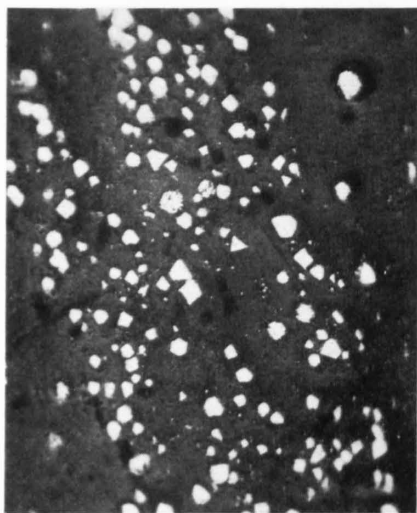


Abb. 30. Grube Lindi

Geometrisch begrenzte Pyritkristalle und kugelige, feinkörnige Pyritaggregate in der strukturlosen Kohlengrundmasse
Vergr. 310mal, Ölimmersion

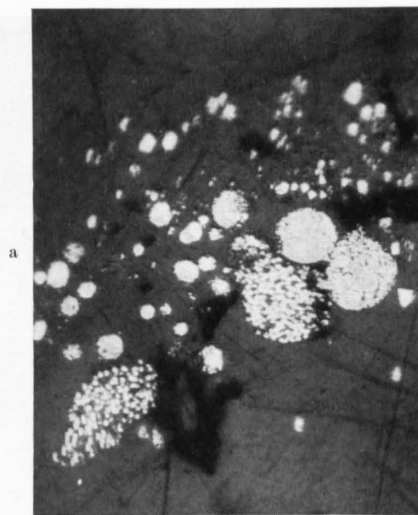


Abb. 31. Grube Lindi

Verschiedene Konkretionsstadien von Pyritkugeln in strukturloser Kohlengrundmasse. a) Übergang von der dichtesten Körnerpackung zum geometrisch begrenzten Pyritkristall
Vergr. 480mal, Ölimmersion

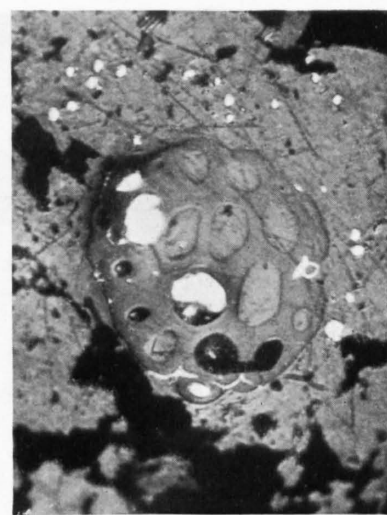


Abb. 32. Grube Lindi

Rundes Sklerotium mit grober Zellstruktur, einzelne Zellen von Pyrit ausgefüllt. In der strukturlosen Kohlengrundmasse vereinzelt Pyritkörner
Vergr. 680mal, Ölimmersion

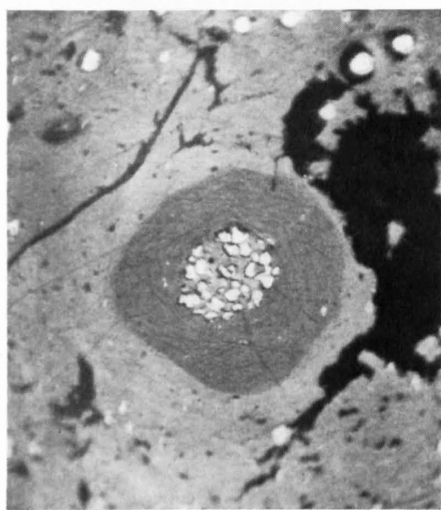


Abb. 33. Grube Lindi

Pyritkörner als Lumenfüllung einer Pilzspore
Vergr. 360mal, Ölimmersion



Abb. 34. Grube Lindi

«Salband» aus kugeligen Pyritaggregaten und eckigen Pyritkristallen an der Grenze zwischen aschenarmer Augenkohle und Brandschiefer. Vergr. 310mal, Ölimmersion

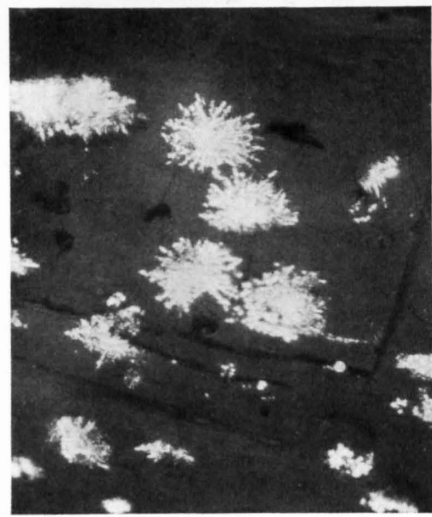


Abb. 35. Mionnaz, Westschweiz

Aquitane Molassehartbraunkohle. Strahlige Pyritbildung im Clarit
Vergr. 310mal, Ölimmersion

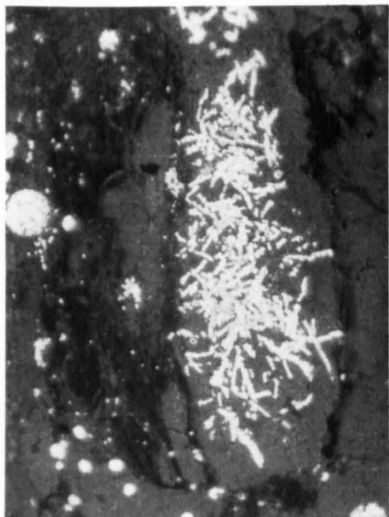


Abb. 36. Bacu-Abis, Sardinien

Eocaene Hartbraunkohle. Stäbchenförmig aneinandergereihte Pyritkörner in Vitritlinse und «verztes Bakterium»
Vergr. 310mal, Ölimmersion

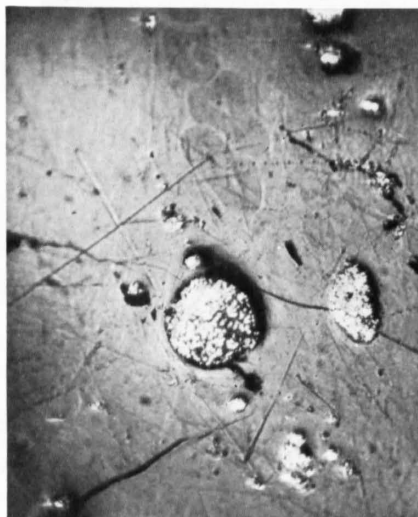


Abb. 37. Grube Lindi

Kugeliges Pyritaggregat, aus einzelnen kleinen Kieskugeln bestehend. Darüber drei dickwandige, stark der strukturlosen Kohlengrundmasse angegliche Mikroporen. Vergr. 310mal, Ölimmersion

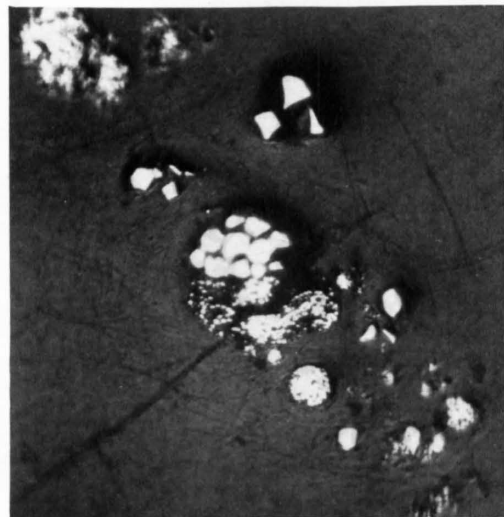


Abb. 38. Grube Lindi

Verschiedenartige Pyritaggregate in strukturloser Kohlengrundmasse
Vergr. 360mal, Ölimmersion



Abb. 39. Häring, Tirol
Obereocaene Pechbraunkohle. Collinit mit kugeligen und bandartigen Harzkörpern (Resinit), letztere mit feinkörnigen Pyriteinschlüssen
Vergr. 360mal, Ölimmersion

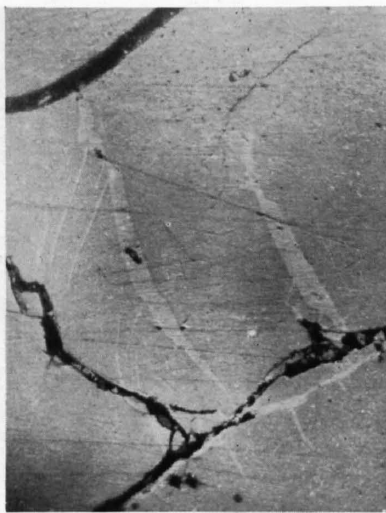


Abb. 40. Beatenberg, Thunersee
Priabone Übergangskohle. Collinit mit Schwundrissen, welche nachträglich durch doppleritartige Kohlensubstanz ausgefüllt wurden. Schwarz: offene Trocknungsrisse
Vergr. 310mal, Ölimmersion

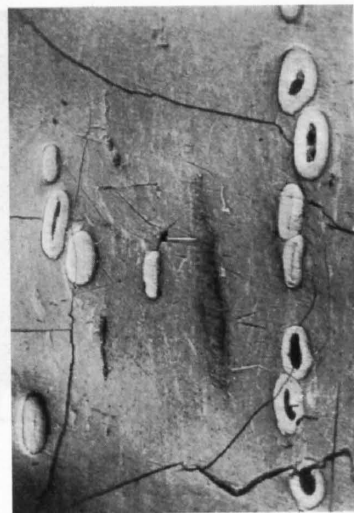


Abb. 41. Beatenberg, Thunersee
Priabone Übergangskohle, hohle und zusammengepresste Mikrosporen in claritischer Kohlendgrundmasse
Vergr. 310mal, Ölimmersion

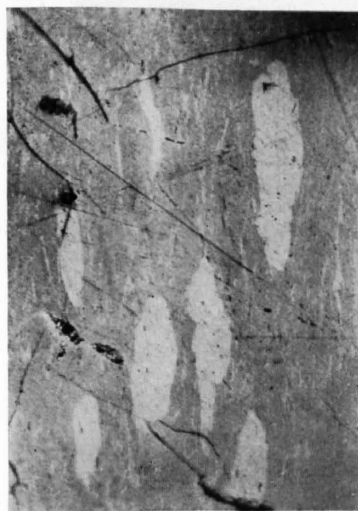


Abb. 42. Beatenberg, Thunersee
Priabone Übergangskohle. Clarit mit gepressten Sklerotien
Vergr. 310mal, Ölimmersion

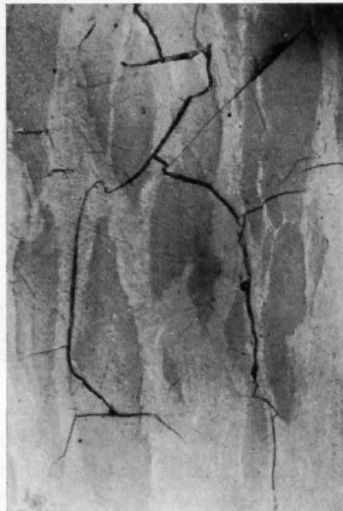


Abb. 43. Beatenberg, Thunersee
Priabone Übergangskohle. Harzkörper (Resinit) in stark homogenisiertem Clarit
Vergr. 310mal, Ölimmersion

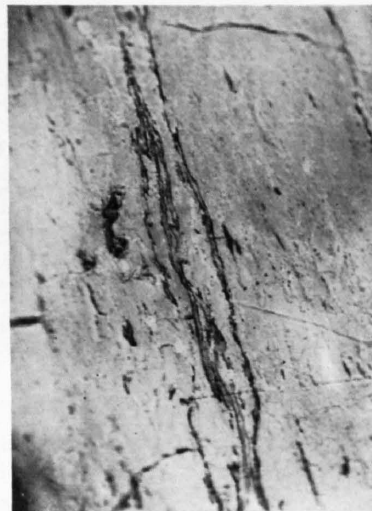


Abb. 44. Beatenberg, Thunersee
Priabone Übergangskohle. Blattcuticulastücke in stark homogenisiertem Clarit
Vergr. 310mal, Ölimmersion



Abb. 45. Blapach, Emmental
Obermiocaene Molassehartbraunkohle, mehrkammrige Pilzspore im Clarit
Vergr. 680mal, Ölimmersion



Abb. 46. Blapach, Emmental
Obermiocaene Molassehartbraunkohle. Telinit, gepresstes Holz Zellgefüge zeigend, leere Mikrospore und Pyritkörner
Vergr. 520mal, Ölimmersion

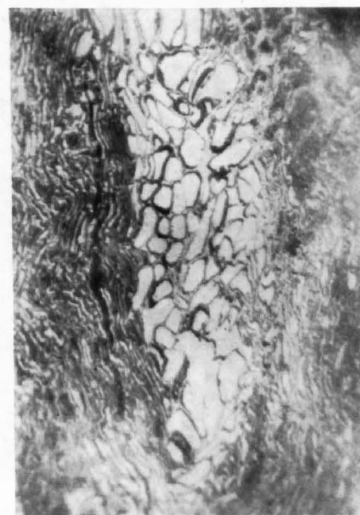


Abb. 47. Blapach, Emmental
Obermiocaene Molassehartbraunkohle. Korkzellgewebe im Telinit
Vergr. 310mal, Ölimmersion



Abb. 48. Bacu Abis, Sardinien

Eocaene Hartbraunkohle, verschiedenartige Sklerotien mit z. T. zerbrochenen Kammerwänden in Telinitlinie
Vergr. 310mal, Ölimmersion

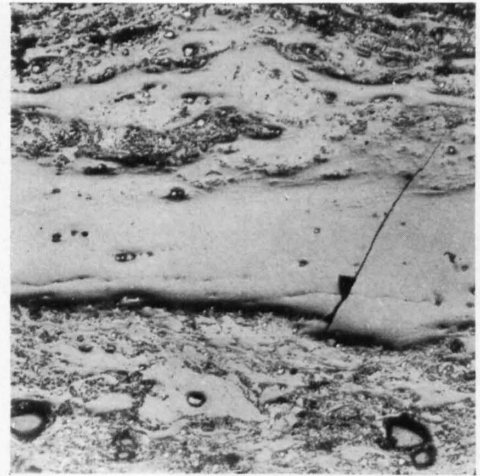


Abb. 49. Bacu Abis, Sardinien

Eocaene Hartbraunkohle, Vitritstreifen zwischen Duritlagen
Vergr. 70mal, trocken

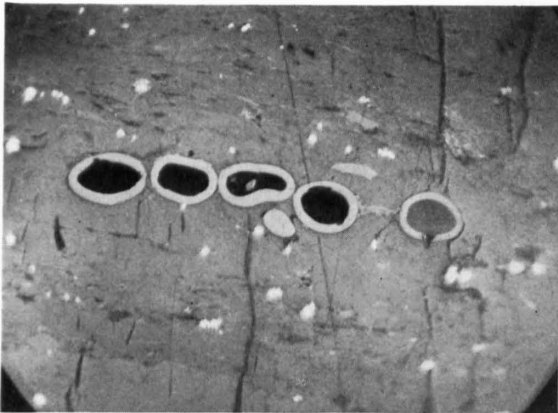


Abb. 50. Arsa, Istrien

Eocaene Übergangskohle. Mikrosporen im Clarit. Die Spore rechts ist von Calcit ausgefüllt, die andern sind leer. Weiss: locker verstreute Pyritkörner
Vergr. 280mal, Ölimmersion



Abb. 51. Arsa, Istrien

Eocaene Übergangskohle. Anhäufung von Teleutosporen im Clarit. Dunkelgrau: Schwundrisse, von Calcit ausgeheilt.
Links oben: «vererztes Bakterium»
Vergr. 280mal, Ölimmersion

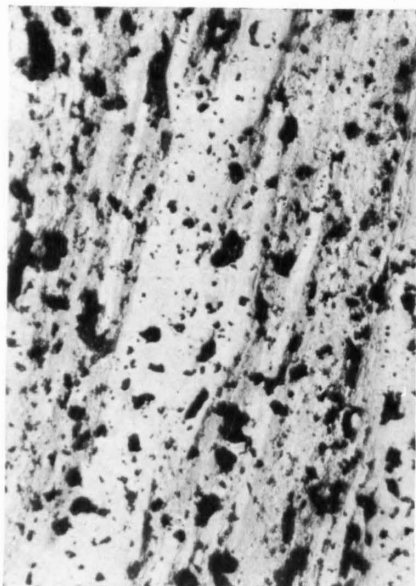


Abb. 52. Anzeindaz, Diablerets

Priabone Esskohle. Wechsellagerung zwischen struierem «Durit» und unstruierem «Vitrit»
Vergr. 76mal, trocken

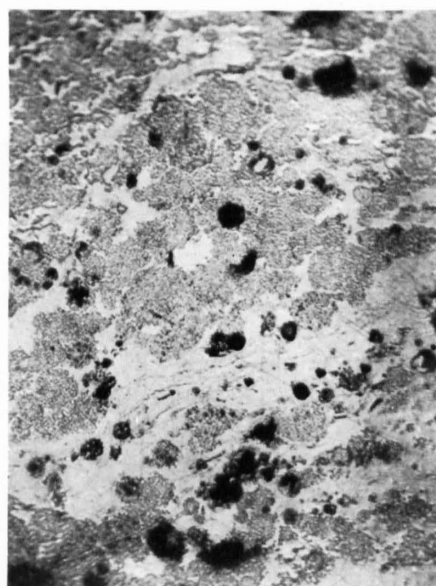


Abb. 53. Anzeindaz, Diablerets

Limonit in wolkigen Gebilden in der schwach struierten Kohlendgrundmasse
Vergr. 310mal, Ölimmersion

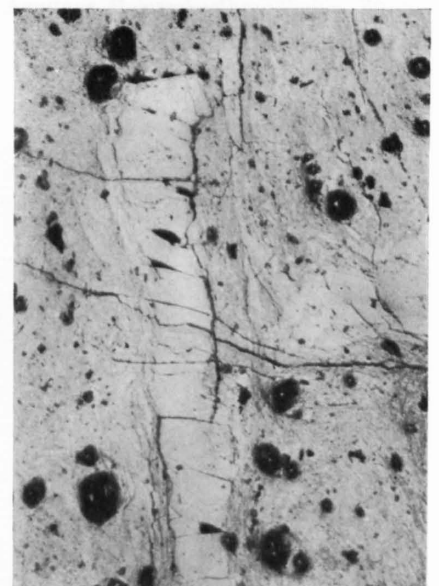


Abb. 54. Grube Horn

«Collinit»-Partien in struierter Kohlendgrundmasse
Vergr. 76mal, trocken

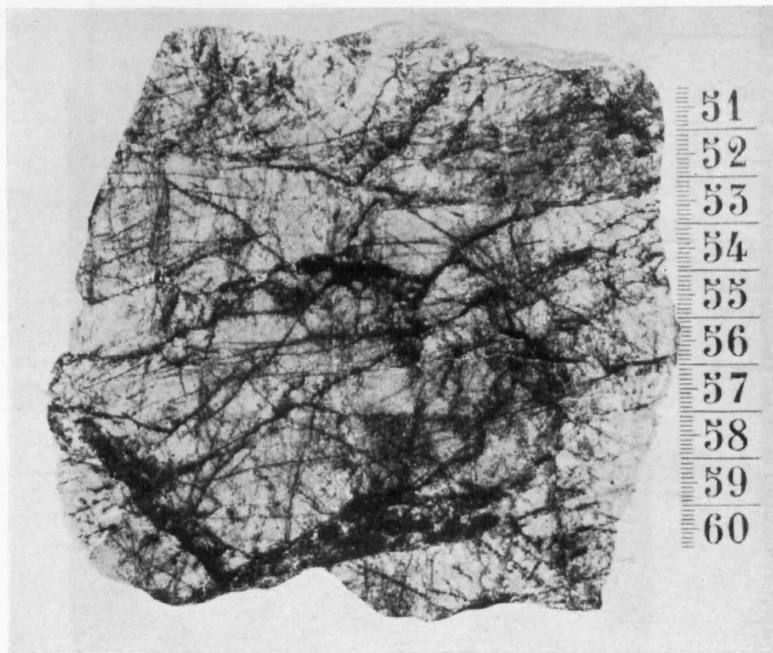


Abb. 55. Grube Schlafegg
Eindringen von Kohlensubstanz in kluftdurchsetzten Schrat-
tenkalk. Handstück, angeschliffen und poliert

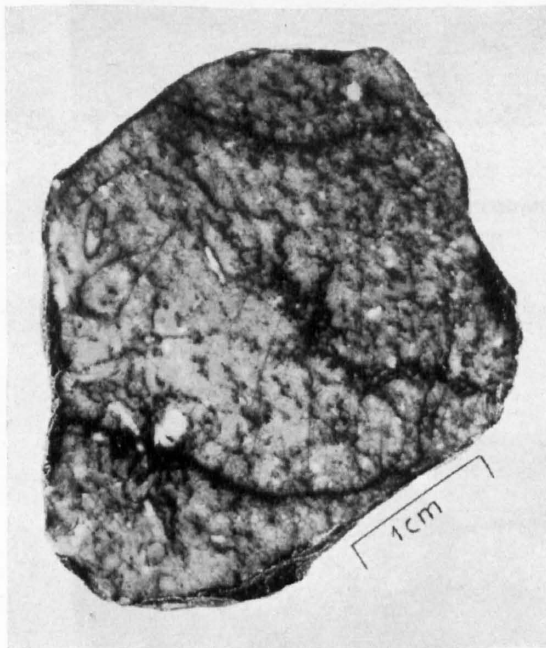


Abb. 56. Grube Schlafegg
Schrattenkalkgeröll aus Kohle der Hauptkluft. Die
Kohle durchdringt auf mäandrierenden Bahnen das
oidische Schratzenkalkgefüge
Anschliff poliert

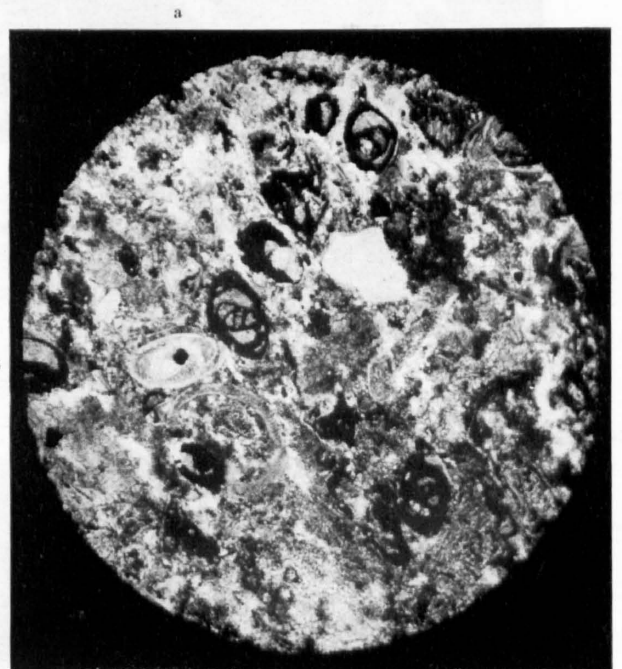


Abb. 57. Grube Lindi
Kohlenmigration in Brackwasserkalk. Die Kohle ist den
Kammerwänden von Milioliden an- und eingelagert.
a = Miliolide ohne Kohleneinlagerung
Dünnschliff, Vergr. 57mal

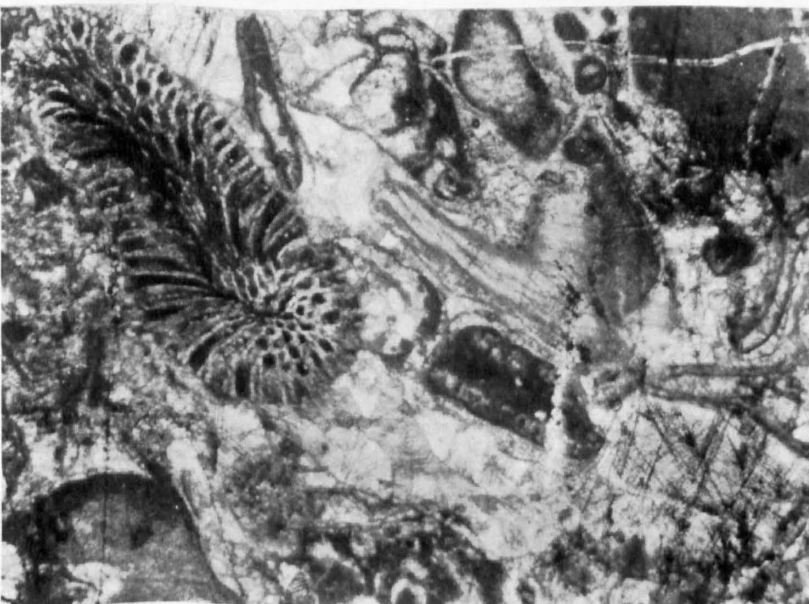


Abb. 58. Grube Schlafegg
Von Kohlensubstanz durchsetzter Schratzenkalk. Als
b Folge der alpinen Dislokationsmetamorphose treten
neugebildete Calcitkristalle im oidischen Kalkgefüge
auf. a = Kohle in und zwischen den Zellen einer
Bryozoe. b = Kohle auf Spaltlamellen neugebildeter
Calcitkristalle
Dünnschliff, Vergr. 27mal



Abb. 59. Grube Schlafegg

Von Kohle panzerartig umschlossene Schrattenkalk-oide. Die Kohle ist entlang Klufrissen in den Kalk eingewandert
Dünnschliff, Vergr. 27mal

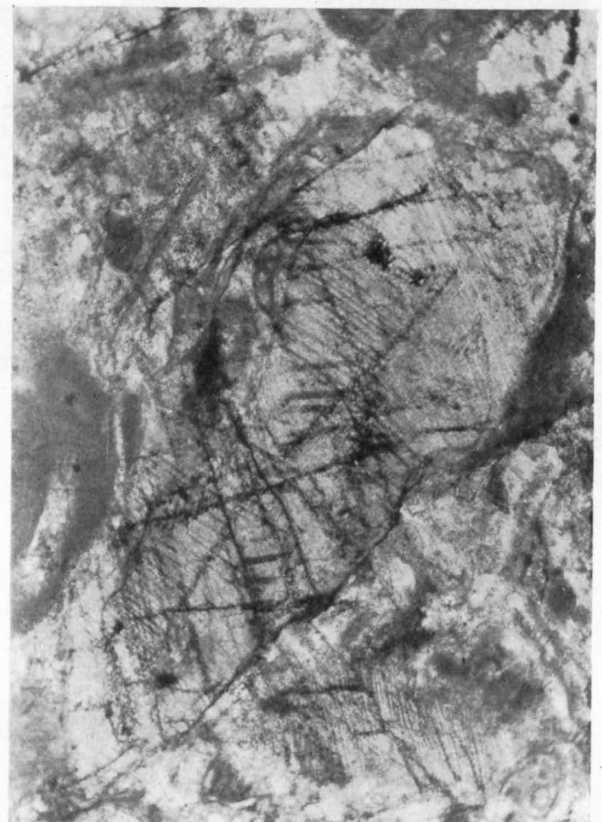


Abb. 60. Grube Schlafegg

Kohlensubstanz zwischen den Spaltlamellen eines grossen neugebildeten Calcitkristalls
Dünnschliff, Vergr. 57mal

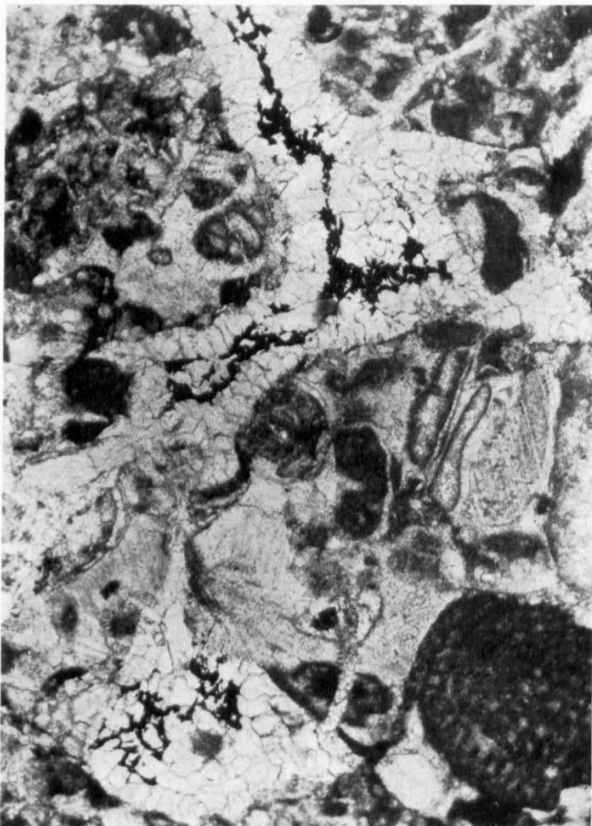


Abb. 61. Grube Lindi

Schrattenkalk am Kontakt zur Kohle. Kohleneinwanderung in Klufrisse, welche nachträglich von Calcit ausgeheilt wurden
Dünnschliff, Vergr. 27mal

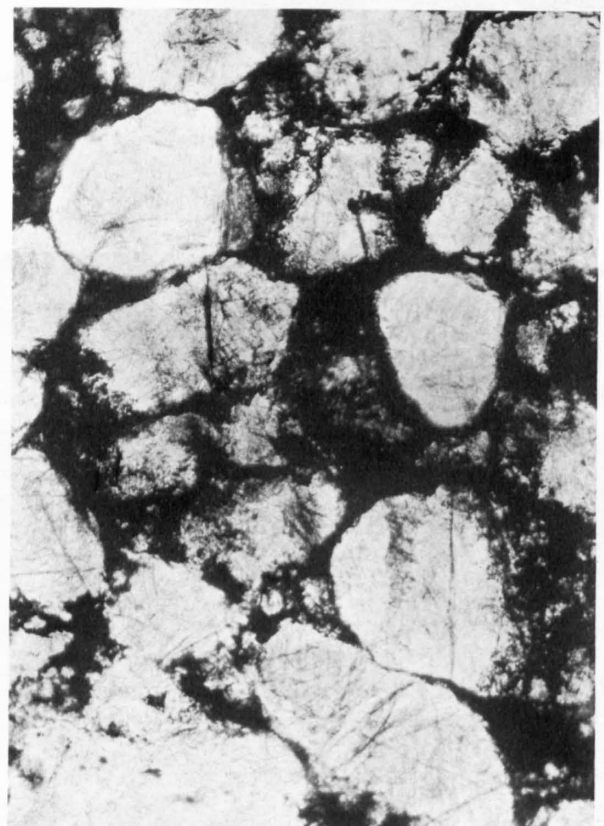
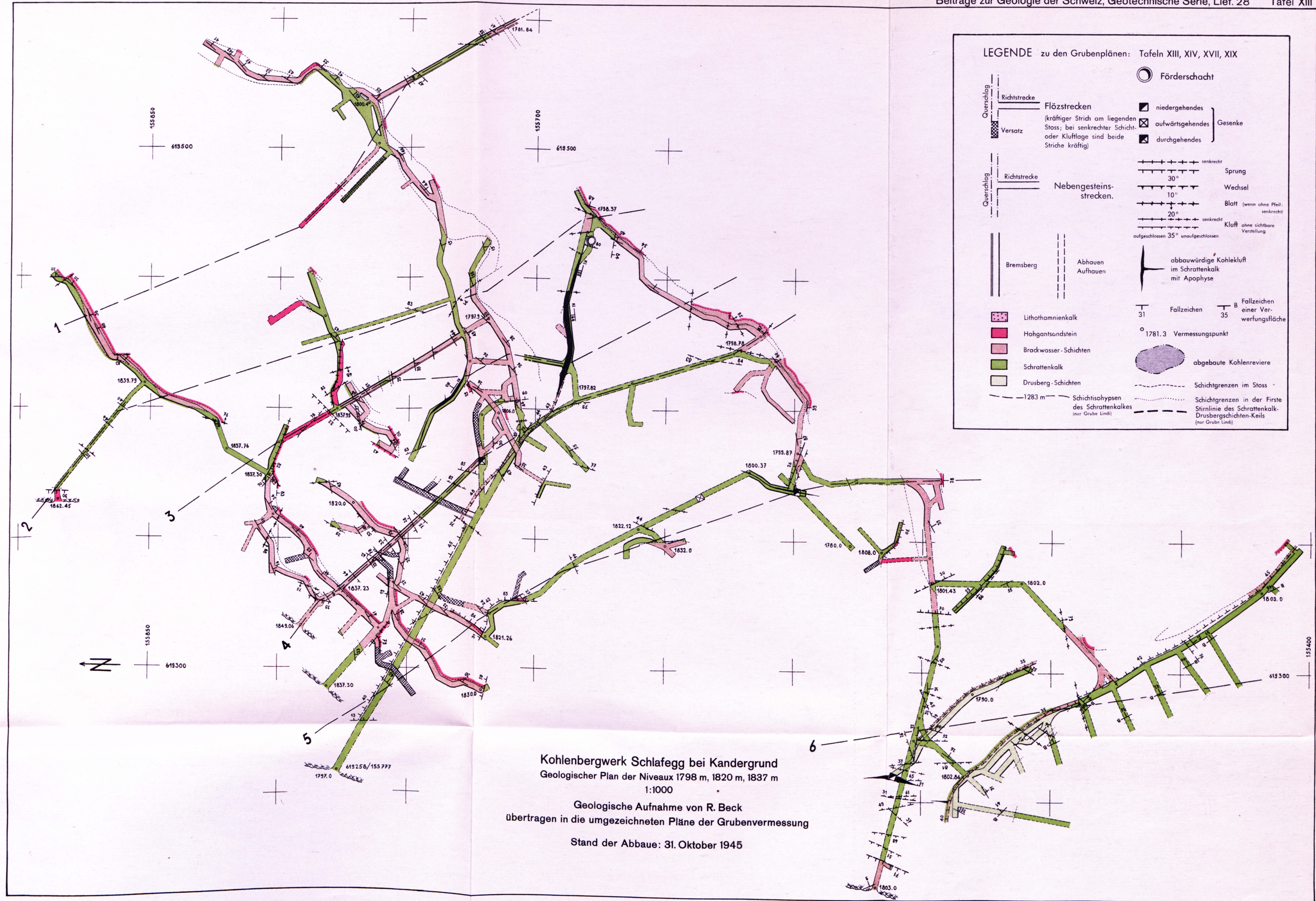
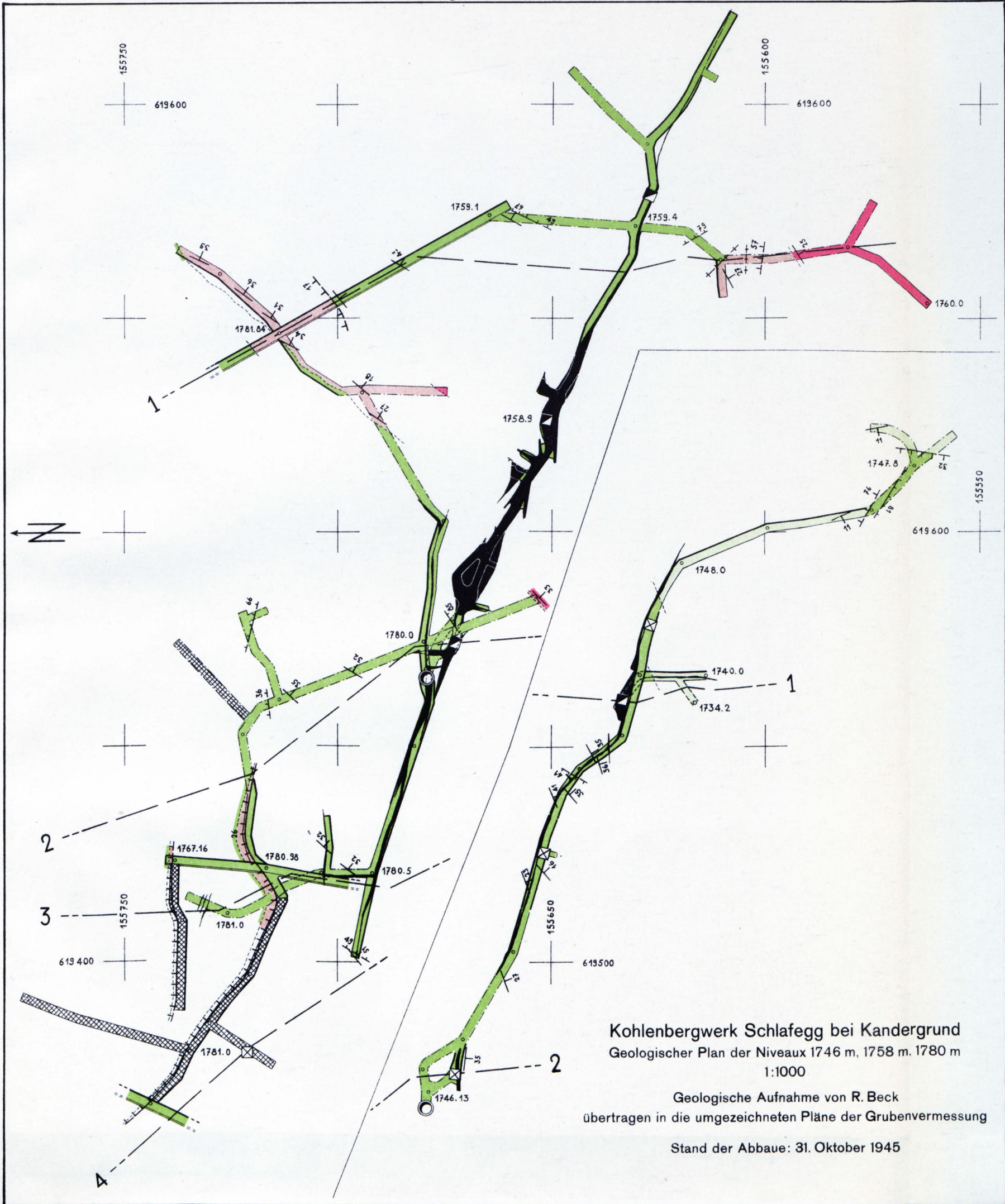


Abb. 62. Grube Horn

Kohlenmigration in Högantsandstein. Die Quarzkörner sind teilweise korrodiert und liegen in Kohlensubstanz eingebettet
Dünnschliff, Vergr. 27mal





NW

SE

1

1800

2

1820

1725

3

1825

1740

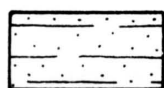
1760

Kohlenbergwerk Schlafegg bei Kandergrund

Geologische Querprofile durch das Abbaugebiet

1:1000

Legende:



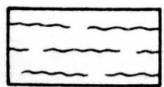
Horgantsandstein



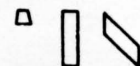
Brackwasserschichten mit linsigen Kohlenflözen



Schrattenkalk mit kohlenführenden Klüften, verkarsteter Oberfläche mit Basisflöz
an der Basis stellenweise Höhlenbildung (Profil 6)



Drusberg - Schiefer



von der Profilinie geschnittene Stollen

