

Weitere Beobachtungen über die Bildung des Graphites, speziell mit Bezug auf den Metamorphismus der alpinen Graphitlagerstätten.

Von

E. Weinschenk in München.

Eine Reihe von Aufsätzen, welche ich in dieser Zeitschrift¹⁾ veröffentlichte, beschäftigten sich mit der Frage nach der Bildung der Graphitlagerstätten. Schließlich habe ich die Resultate zusammenfassend dem internationalen Geologenkongreß²⁾ in Paris vorgelegt. Die Ergebnisse meiner Studien, welche von den gewohnten Anschauungen durchaus abweichend sind, haben zu mancherlei Kontroversen Anlaß gegeben; am eingehendsten wurde von Hörnes³⁾ eine Widerlegung meiner Ansichten über die Entstehung der Graphitlagerstätten der Steiermark versucht, welcher in durchaus sachlicher Weise meine Beobachtungen sowohl, als den daraus gezogenen Schlüssen entgegentritt. Zahlreiche andere Arbeiten, welche mich seither beschäftigten, hielten mich bis heute ab, auf diese Einwände weiter einzugehen, doch benutzte ich die Zwischenzeit, um alles auf die Entstehung der Graphitlagerstätten Bezügliche zu sammeln und namentlich durch eine große Reihe von Exkursionen meine Kenntnis der Zentralzone der Alpen überhaupt zu erweitern, so daß ich heute in der Lage bin, meinen früheren Beobachtungen eine kleine Nachlese anzufügen.

Was zunächst die Beschaffenheit des steirischen Graphites betrifft, so wirft mir Hörnes vor, daß ich die Qualität desselben bedeutend überschätze, und verweist mich auf die chemischen Untersuchungen von John, indem er mich an dieser wie an mehreren anderen Stellen einer Unkenntnis der Literatur zeihet. Ich kann nur wiederholen, daß die von Johns Analysen abweichenden Angaben in meiner früheren Abhandlung auf einer ganzen Reihe von eigenen Analysen beruhen, welche ich mit dem an Ort und Stelle sowohl in Krumau und Schwarzbach in Böhmen, als auch im Sunk, im Leimsergraben und bei Kaisersberg in Steiermark entnommenen Material angestellt habe, und die insgesamt einen viel höheren Graphitgehalt der tech-

¹⁾ Vergl. 1897 S. 286 u. 1900 S. 36 u. 174.

²⁾ Mémoire sur l'histoire géologique du graphite. Compt. rend. VIII. congr. géol. internat. 1900, Paris 1901 S. 447.

³⁾ R. Hörnes: Der Metamorphismus der obersteirischen Graphitlagerstätten. Mitt. naturw. Ver. Steierm. 1900 S. 90.

nisch benutzten steirischen Vorkommnisse erkennen ließen, wie diese auch fast durchgehend durch einen Mangel an Schwefel ausgezeichnet sind. Die gewöhnlichen böhmischen Sorten von Tiegelgraphit ergeben dabei einen Gehalt von 50—60 Proz., die steirischen einen solchen von 80—90 Proz. Kohlenstoff. Im übrigen ist ferner bei den ersteren der Gehalt viel mehr wechselnd als bei letzteren, was jedenfalls mit den Entstehungsbedingungen zusammenhängt, dort mit Graphit ungleichmäßig — je nach dem Maße der Zerrüttung des Gesteins — imprägnierte Schiefer, hier umgewandelte Steinkohlenflöze, deren Zusammensetzung in viel weniger weiten Grenzen schwankte.

In Bezug auf die Unterscheidung von Graphit und Kohle scheint meinem Gegner eine frühere Abhandlung von mir über den Graphitkohlenstoff⁴⁾ entgangen zu sein, aus welcher unzweifelhaft hervorgeht, daß die von John angewandte Methode der Elementaranalyse zur Unterscheidung von Graphit und amorphem Kohlenstoff nicht genügt, indem eben der elementare, amorphe Kohlenstoff mit dem Graphit völlig identisch zusammengesetzt ist. Nur das Verhalten gegenüber dem oxydierenden Gemenge von chloresaurem Kali und rauchender Salpetersäure, durch welches Graphit zu gelber Graphitsäure sich oxydiert, während der amorphe Kohlenstoff eine braune Lösung gibt, kann hier als ausschlaggebend angesehen werden.

In meiner früheren Abhandlung über die Graphitlagerstätten der Steiermark, erwähnte ich, daß die vom Zentralgranit entfernten Schiefer mehr und mehr ihre krystallinische Beschaffenheit verlieren, und daß die in denselben eingelagerten Flöze in weiterer Entfernung immer weniger graphitähnlich aussehen, so daß dieselben direkt als Anthrazite bezeichnet wurden. Ich hatte damals von den Halden dieser völlig aufgelassenen Grube einige Proben mitgenommen, mit welchen ich die Graphitsäurereaktion deutlich erhielt. Mit dem seither gesammelten umfangreicheren Material konnte ich dagegen den Nachweis liefern, daß nur ein kleiner Bruchteil dieser Vorkommnisse zum Graphit zu stellen ist, während der größere Teil amorpher Kohlenstoff ist, der dem Schungit von Inostranzeff am nächsten steht, daß also der Graphit in weiterer Entfernung vom „Zentralgneis“ tatsächlich in amorphe Kohle übergeht.

Mit diesen letzteren Vorkommnissen völlig übereinstimmende Bildungen sind mir in-

⁴⁾ Über den Graphitkohlenstoff und die gegenseitigen Beziehungen zwischen Graphit, Graphitit und Graphitoid. Zeitschr. Krystallogr. 1897, 18, 291.

zwischen aus der Gegend von Rifreddo, östlich von Savona im ligurischen Apennin, zugekommen, wo dieselben ebenfalls im Zusammenhang mit Graphitlagerstätten vom Charakter der steirischen stehen. Auch dort tritt mit der Entfernung vom „Gneis“ der amorphe Kohlenstoff und schließlich eigentlicher Anthrazit an Stelle des Graphites. Bei der bekannten Kohlenarmut Italiens würde diese ziemlich ausgedehnten Anthrazitlager — welche nicht wenig mächtige Flöze in versteinungsleeren Sandsteinen und Schiefen bilden, denen man permokarbonisches Alter zuschreibt — eine große Bedeutung besitzen, trotzdem dieselben den ziemlich hohen Aschengehalt von ca. 15 Proz. im Durchschnitt mehrerer Proben aufweisen. Dieselben entwickeln aber beim Zerschlagen Gase in nicht unbedeutender Menge, was ihrer Gewinnung selbstverständlich sehr hinderlich ist, und beim Erhitzen erweisen sie sich als eigentliche „Knisterkohle“, welche unter heftigem Sprühen und oft unter geradezu explosionsartigen Erscheinungen zu feinem Sand zerspringt, der durch jeden Rost hindurchfällt. Versuche, welche in dieser Richtung mit den steirischen Vorkommnissen angestellt wurden, ergaben für die Kohle von Dietmannsdorf ein ähnliches Verhalten, wenn auch in schwächerem Maße, und auch die Graphitvarietäten, deren Kohlenstruktur noch deutlich erhalten ist, ließen ein ähnliches Zerknistern erkennen.

Derartige Knisterkohlen sind auch aus unseren Kohlengebieten bekannt; sie finden sich aber dort nur unter Verhältnissen, in welchen eine kontaktmetamorphische Veränderung der Kohle durch Eruptivgesteine eingetreten ist. So ist z. B. ein derartiges Flöz bei St. Ingbert in der Rheinpfalz angefahren, dessen Ausbeutung wegen der Gasentwicklung beim Abbau und dem Zerknistern der Kohle beim Erhitzen eingestellt werden mußte. Dieses Flöz führt den Namen Melaphyrflöz, weil es das Liegende einer Melaphyrdecke bildet, deren kontaktmetamorphosierende Einwirkung die abweichende Beschaffenheit der außerdem zu Anthrazit umgewandelten Steinkohle hervorbrachte. Für die von mir früher aufgestellte Theorie von dem kontaktmetamorphen Ursprung der alpinen Graphitlagerstätten scheint mir in dem Auftreten dieser Knisterkohlen in weiterer Entfernung von dem eruptiven „Zentralgneis“ ein nicht unwichtiger Beweis geboten.

Dieser Anschauung, daß der Graphit hier eine kontaktmetamorphische Bildung darstellt, tritt Hörnes in erster Linie entgegen; von der Anschauung ausgehend, daß die

karbonischen Ablagerungen erst auf dem erodierten „Zentralgneis“ abgelagert wurden, hält er nur die Umwandlung der Kohle durch Dynamometamorphose für annehmbar. Es sollen daher die einzelnen Punkte seiner Beweisführung eingehend erörtert werden. Was zunächst die Behauptung von Hörnes betrifft, daß für die hier in Betracht kommenden Bildungen von Stur und v. Foullon der Nachweis einer dynamischen Umformung erbracht wurde, so kann ich dies nicht anerkennen. Stur legt das Hauptgewicht auf die Verzerrung der ihm vorliegenden Pflanzenreste, eine Erscheinung, welche die von mir aus dem Leimsergraben beschriebenen Funde vollständig vermissen lassen. Und auch wenn diese Verzerrung stets vorhanden wäre, so wäre dies doch wohl nur ein recht schwacher Anhaltspunkt für die Theorie der dynamometamorphen Umwandlung des ganzen Gebietes, da ja doch in ungemein zahlreichen Vorkommnissen viel stärker deformierte Petrefakten aus durchaus unveränderten Schichten bekannt sind. Ich erinnere nur an die ausgerenkten Belemniten aus dem Gebiete der sogen. „Glarner Doppelfalte“, welche in ganz unkrystallinischen Gesteinen sich finden. Überhaupt scheint mir dieses Gebiet besonders geeignet, die geringe Wirkung der Dynamometamorphose zu illustrieren, wo die intensivsten Dislokationen vorhanden sind, wie man sie selbst in den Alpen nur selten findet, ohne daß aus den klastischen Gesteinen krystallinische geworden wären.

Wenn dann Hörnes meiner Beobachtung, daß die Leimser Pflanzen so wohl erhalten sind, die Behauptung entgegenstellt, daß in den Glimmerschiefen des metamorphen Jura der Schweiz nicht alle Belemniten ausgewalzt sind, so ist das eine Tatsache, welche viel sicherer feststeht, als die von meinem Gegner gemachte Voraussetzung, daß die Ursache der krystallinischen Beschaffenheit dieser jurassischen Gesteine in der Dynamometamorphose zu suchen sei. Auch dort sind die Gesteine eben nur in der Nachbarschaft des „Gneises“ krystallinisch, welcher nicht selten auch die darüber lagernden „Glimmerschiefer“ injiziert. Auch mit der von Baltzer übernommenen Aufstellung mechanischer Zonen ist recht wenig geholfen, zumal gerade das Gebiet, in welchem Baltzer diese Theorie entwickelt hat, in ganz abweichendem Sinn gedeutet werden kann.

Soviel über die Beweise von Stur. Daß aus den prägnanten Schilderungen von Foullon der Schluß zu ziehen ist, „daß kaum ein Zweifel an der von ihnen (Stur und Foullon) klargestellten dynamometamorphen

Natur der karbonischen Schichtenserie Obersteiermarks obwalten könnte“, geht wenigstens aus den eigenen Worten Foullons und seinen Schlußfolgerungen nicht hervor. Ein Hinweis auf solche Anschauungen findet sich nur in dem Vergleich der hier auftretenden Gesteine mit jenen des Wechselgebirges und in den Bemerkungen, daß „das Vorhandensein zahlreicher Einschlüsse von organischer Substanz in den gewisse Schiefergesteine bildenden Mineralien nebst andern ein sicherer Beweis für die allmählich erfolgte Umwandlung der krystallinischen Gesteine aus einem klastischen Materiale ist“ und daß „das Zerbrechen der Krystalle durch hohen Druck bewirkt wurde.“ Hörnes bezieht sich sodann auf die Aufnahmeberichte von Vaček, mit welchen er sich in der Hauptsache einverstanden erklärt, mit Ausnahme der Auffassung des Gneises, den Hörnes im Gegensatz zu jenem für einen Granit ansieht, aber für einen uralten Granit, auf welchem transgredierend Phyllit und Karbon sich abgesetzt haben. Für die in Frage kommenden Erscheinungen ist der Unterschied zwischen einem derartigen Granit und einem Gneis durchaus irrelevant, da der Granit nur dann für die Umwandlung herangezogen werden kann, wenn er als jüngere Bildung die karbonischen Schichten durchbrochen hat.

Vaček versucht in seinen Berichten den Unterschied zwischen einer „krystallinischen“ Phyllitformation und einer „klastischen“ Serie von Karbongesteinen aufzustellen: erstere, d. h. die krystallinischen Gesteine sind bezeichnet durch das sogen. Rannachkonglomerat, mit dem wir uns noch eingehender zu befassen haben. Irgend welche petrographischen Unterscheidungsmerkmale der beiden Gesteinsreihen werden im übrigen vermißt; es können solche auch nicht gut gegeben werden, da es sich bei den für diese Abtrennung in Betracht kommenden Schichtensystemen um eine in petrographischem Sinne durchaus gleichmäßige Serie phyllitartiger Gesteine handelt, die bei etwas wechselnden Mengenverhältnissen der einzelnen Bestandteile insgesamt aus Quarz, Chloritoid, Graphit, etwas Kalkspat und Rutil bestehen, die in Bezug auf ihre Struktur durchaus gleichartig sind, und die Vaček jedenfalls insgesamt für Phyllite genommen hätte, wenn nicht in einzelnen Schichten karbonische Pflanzenreste gefunden worden wären. Da nun die von Vaček aufgestellte kühne Hypothese, daß diese homogene Schieferserie in zwei Formationen aufzuteilen sei, von welchen das Karbon transgredierend in einer schon damals existierenden Mulde auf dem erodierten Phyllit

abgelagert wäre, weder mit besonders bezeichnenden Profilen, noch sonstwie weiter gestützt wird, so glaube ich, in vollem Recht gewesen zu sein, wenn ich mich in meiner früheren Abhandlung mit dieser Theorie nicht weiter befaßte.

In der Tat bestehen in den in Betracht kommenden Ablagerungen zwei petrographisch wohl charakterisierte Gesteinstypen, die eine Trennung in zwei Abteilungen notwendig machen. In erster Linie sind dies die schon erwähnten, in ihrem ganzen Habitus außerordentlich gleichmäßigen „Chloritoidphyllite“ mit ihren Graphiteinlagerungen, welche nicht nur durch das gelegentliche Vorkommen von Fossilresten und durch das Auftreten von Konglomeraten als ursprünglich klastische Gesteine gekennzeichnet sind, sondern die auch in ihrer ganzen chemischen Zusammensetzung den Charakter normaler Sedimente an sich tragen. Den zweiten Typus repräsentiert hauptsächlich der sogen. Gneis, in seinem ganzen Habitus wie in seiner chemischen Zusammensetzung völlig übereinstimmend mit den analogen Gesteinen der Tauern, des Zillerthales, des Gotthardtmassivs etc., deren granitischer Charakter und den Schiefen gegenüber geringeres Alter schon durch die massenhaften Apophysen deutlich wird, welche diese Massive dort in das Nebengestein aussenden.

Mit diesem von mir seinerzeit unter dem Namen „Zentralgranit“ abgeschiedenen Gesteinstypus zeigen nun einige an sich ziemlich untergeordnete Einlagerungen in den oben erwähnten Phylliten eine nahe Verwandtschaft. Vaček und ebenso Hörnes, welche die in sich homogene Serie der Chloritoidphyllite unter zwei, ganz verschiedene geologische Perioden verteilen, rechnen trotz des charakteristischen Gegensatzes in der gesamten Beschaffenheit diese Einlagerungen von „Gneis“ resp. „Mikroturmalingneis“ schlechtweg zu ihrer Phyllitserie, obwohl der echt granitisch-aplitische Charakter der den durchaus abweichend zusammengesetzten Phylliten konkordant eingelagerten Bildungen, zumal bei mikroskopischer Untersuchung, deutlich hervortritt. Es ist eine unzweifelhafte Tatsache, daß unter den echten, in ihrer ursprünglichen Struktur erhaltenen Sedimenten Gesteine vom chemischen Typus dieser Einlagerungen vollständig unbekannt sind, daß also der Unterschied zwischen dem sedimentären Typus der Chloritoidphyllite und dem granitischen dieser Einlagerungen für den Petrographen zu einem fundamentalen wird, der es direkt verbietet, beide Arten von Gesteinen als äquivalente Dinge anzusehen. Allerdings zeigen diese Vorkommnisse

nirgends irgend eine Andeutung durchgreifender Lagerungsform; es sind vielmehr auf weite Entfernungen aushaltende, durchaus schichtenförmige Bildungen, deren Deutung schwierig werden kann, wenn man die hier diskutierten Lagerstätten allein in Betracht zieht.

Überblickt man aber die Verhältnisse der zentralalpiner Gesteine in weiterem Umkreis, so trifft man stets in den dünnstiefriigen Glimmerschiefern und Phylliten der Zentralzone solche abweichende Einlagerungen, welche ebenso wie hier fast allenthalben durch einen Turmalin Gehalt ausgezeichnet sind. Während diese aber in den am vollkommensten schieferigen Gesteinen durchaus den Charakter von Schichten tragen, nehmen sie, sobald sie in Kalke, in Eklogite, Amphibolite und andere weniger schieferige Gesteine übersetzen, den Charakter echter Gangbildungen an, welche die betreffenden Gesteine nach allen Richtungen durchadern und oft eigentliche Kontaktbreccien hervorbringen. Die feinkörnige Beschaffenheit derartiger Apophysen ist z. B. im Gebiete des Großvenedigers dieselbe wie in den Vorkommnissen der Steiermark (s. d. Z. 1900 S. 36), desgleichen in der Umgegend von Klausen in Südtirol, wo die Gesteine noch dazu durch eine ausgezeichnete mikropegmatitische Struktur und häufig auch durch durchgreifende Lagerung ihren Ursprung deutlich verraten. An andern Stellen aber, so z. B. bei Hüttenberg in Kärnten, werden sie ersetzt von großkörnigen Turmalinpegmatiten, welche, solange sie in den Schiefern auftreten, ebenfalls als weitaushaltende, eigentlich schichtenförmige Einlagerungen zu verfolgen sind, sobald sie aber in die eingelagerten krystallinischen Kalke übersetzen, eigentliche Gangform annehmen. Ganz dasselbe beobachtet man in den Vorkommnissen von Tiroler Marmor in Rathschingesthal bei Sterzing, welcher ganz von großkörnigem Turmalinpegmatit durchadert ist.

Alle diese gang- und lagerartigen Abzweigungen von granitisch-aplitischem Material sind petrographisch durchaus gleichwertig, in der Korngröße allein kann ein trennender Unterschied doch kaum gesucht werden, in der Zusammensetzung ist überhaupt keiner vorhanden, und wenn Hörnes die gneisartigen Einlagerungen in den steirischen Graphitlagerstätten für sedimentäre Bildungen ansehen will, so muß er ganz ebenso die großkörnigen Pegmatite von Hüttenberg für ebensolche Gebilde halten, da sie nicht nur in ihrer Zusammensetzung, sondern ebenso in ihrer schichtenartigen Lagerungsform mit den hier betrachteten

völlig übereinstimmen. Mit diesen identisch sind aber die massenhaften Gänge von Pegmatit, welche bei Hüttenberg die Einlagerungen von körnigem Kalk durchadern und von deren Verhältnissen Baumgärtl in einer in Bälde im Jahrbuch der k. k. Reichsanstalt erscheinenden Abhandlung eine Reihe von lehrreichen Profilen geben wird.

Übereinstimmend damit sind die schon erwähnten Turmalinpegmatite in den Marmorlagern von Sterzing, welche sowohl den Marmor selbst, als die in demselben vorhandenen Gänge von Amphibolit in allen Richtungen durchsetzen und letztere öfter ganz mit Turmalin imprägnieren. Diese Vorkommnisse lagern ebenso wie die Graphitlagerstätten der Steiermark direkt über dem Zentralgranit, und sie zeigen auch in Bezug auf ihr geologisches Alter nicht allzu viel Abweichungen von jenen, wie Stücke mit massenhaften Krinoidenstielgliedern beweisen, welche Herr Bergverwalter Penco in St. Martin am Schneeberg in der dortigen Fortsetzung der Sterzinger Marmorlager aufgefunden hat.

Lager und Gänge erscheinen so, hier wie überall, nicht als prinzipiell entgegengesetzte Bildungen, sondern vielmehr als durchaus gleichwertig, und der Unterschied zwischen beiden beruht nur auf der besseren oder schlechteren Schieferstruktur des Nebengesteins, in welche sich solche Abzweigungen ergossen haben. Die Einlagerungen von gneisähnlicher Beschaffenheit in den Chloritoïdphylliten der Steiermark können nur als Abzweigungen eines granitischen Massivs angesehen werden, und der Granit, zu welchem sie gehören, ist hier wie in der ganzen Kette der Zentralalpen der darunter lagernde Zentralgranit.

Diesen Deduktionen steht nun scheinbar eine Beobachtung von Vaček entgegen, welche auch Hörnes besonders hervorhebt, nämlich das Auftreten des sogen. Rannachkonglomerates zwischen dem Gneis und den Schiefern; denn dieses Konglomerat, welches das Hangende des Gneises bildet, enthält abgerollte Bruchstücke von Gneis, kann also nach Hörnes nur auf dem schon erodierten Zentralgneis abgelagert sein, der somit älter ist, als die karbonischen Schiefergesteine, in welche er dann auch keine Apophysen aussenden und deren krystallinische Beschaffenheit unter solchen Verhältnissen nicht mit den von diesem gneisartigen Granit ausgehenden Agentien in Zusammenhang gebracht werden könnte. Es stehen sich hier also zwei Reihen von Beobachtungen gegenüber, von denen die eine der anderen diametral entgegengesetzt ist.

Die Bedeutung des Rannachkonglomerates und seiner Gneisgerölle erscheint aber viel geringer, wenn man näher auf die Sache eingeht. Zunächst ist eine genauere petrographische Untersuchung der Gerölle bisher nicht ausgeführt worden, ihre Identifizierung mit dem Zentralgranit somit immerhin etwas gewagt; denn daß die karbonische Schichtenreihe der Steiermark der Abtragung eines Gneis- oder Graniterritoriums ihre Entstehung verdankt, das folgt schon aus der Zusammensetzung ihrer sämtlichen Glieder. Die mikroskopische Beschaffenheit der Zentralgranite unserer Alpen von einem Ende an das andere ist eine so einheitliche und in so hohem Maße charakteristische, daß man dieselben im Dünnschliff nicht leicht mit andern „Gneisen“ verwechseln kann. Aber selbst wenn eine weitgehende petrographische Übereinstimmung zwischen den Geröllen und dem Zentralgranit nachgewiesen werden könnte, möchte ich ihre Beweiskraft gegenüber meiner Anschauung nicht allzu hoch einschätzen. Die ganze Zentralkette unserer Alpen ist bezeichnet durch das Auftreten des Zentralgranites, eines durchaus eigenartigen, in seiner Gesamtheit aber ganz auffallend gleichmäßigen Gesteines, für welches an Hunderten von Punkten mit Sicherheit nachgewiesen werden kann, daß es schmelzförmig in die Schichten eingedrungen ist, innerhalb deren man es jetzt vorfindet. Die Erscheinungen der Injektion der Schiefer, der Apophysenbildung, der Entstehung von Kontaktbreccien, das Auftreten von Pegmatitgängen im Nebengestein sind in den Alpen ungeheuer verbreitet. Dazu kommen endogene Modifikationen des Granites selbst gegen die Randzonen, Porphyrbildung, aplitische Facies etc., die man auch in dem steirischen „Gneis“ verfolgen kann, sodaß vom petrographischen Standpunkt aus überhaupt kein Zweifel an dem Verhältnis des Granites zu seinen Nebengesteinen möglich ist. Bei Sterzing sind es Krinoideenkalke, welche in solchem Verhältnis zum Zentralgranit stehen; anderswo triadische Dolomite, am Gotthard und an zahlreichen andern Punkten der Schweiz belemnitenführende Schiefer, und an all diesen Punkten ist der Zentralgranit sicher jünger als die betreffende Ablagerung, d. h. an einzelnen Stellen ist derselbe mindestens postjurassisch. Nach den Anschauungen von Hörnes müßten die steirischen Zentralgranite archaisch sein, und wir hätten somit die vom chemisch-geologischen Standpunkt aus höchst wunderbare Erscheinung, daß in einem einheitlichen Gebiete, wie es allen geologischen Erscheinungen nach die Zentralalpen darstellen, von der archaischen Periode

an bis ans Ende der mesozoischen die vulkanische Tätigkeit fortgesetzt ganz gleichmäßige Magmen geliefert hätte, eine Erscheinung, welche in direktem Gegensatz zu allen Beobachtungen steht, welche in Gebieten mit nachweisbar lange andauernder vulkanischer Tätigkeit gemacht wurden. In einem und demselben Gebiete sind vulkanische Intrusionen, welche zeitlich große Unterschiede aufweisen, auch stets chemisch in hohem Maße verschieden.

Fassen wir alle Beobachtungen zusammen, welche für meine Anschauung sprechen, daß der Zentralgranit in den steirischen Graphitlagerstätten die umwandelnden Agentien geliefert hat, welche die krystallinische Beschaffenheit der karbonischen Schiefer bewirkten, so kommen wir zu folgenden Resultaten:

1. Die krystallinische Beschaffenheit der Schiefer zeigt keinen Zusammenhang mit dem größeren oder geringeren Maße ihrer Zusammenpressung; Schiefer, welche kaum disloziert sind, erscheinen hochkrystallinisch, wenn sie dem Granit nahe liegen, solche, die intensiv gefaltet und transversal geschiefert sind, erscheinen rein klastisch, wenn sie entfernter vom Granit anstehen.

2. Die Umwandlung der Kohle in Graphit erweist sich ebenfalls als unabhängig von dem Maße der Dislokation, ist vielmehr auf die Nachbarschaft des Granites beschränkt. Mit der Entfernung von diesem tritt an Stelle des Graphites ein Schungitähnlicher Anthrazit, welcher beim Erwärmen zerknistert, eine Eigenschaft, welche sonst nur kontaktmetamorphische Kohlen zeigen. Auch auf das Auftreten koksähnlichen Graphites bei Kaisersberg sei hier noch einmal hingewiesen. Hörnes dürfte wohl ziemlich isoliert mit der Anschauung dastehen, daß durch die Reibung bei gebirgsbildenden Prozessen so hohe Temperaturen entstehen, daß Kohle verkocht. Das wäre doch wohl nur denkbar bei der plötzlichen Auslösung einer gewaltigen Spannung, was in diesem Fall ganz undenkbar ist, da dabei mächtige Verwerfungen und Zerreibungen entstehen müßten.

3. Der Granit selbst zeigt gegen die Randzonen endogene Modifikationen, er wird reicher an Kieselsäure und Alkalien, zeigt deutlichere Schieferung und nimmt porphyrtartige Struktur an.

4. Innerhalb der Schiefer trifft man schichtenförmige Einlagerungen vom chemischen Typus granitisch-aplitischer Gesteine, deren ganze Beschaffenheit mit Sicherheit gegen ihre sedimentäre Natur spricht, und die petrographisch identisch sind mit den

Apophysen, welche in weitester Verbreitung durch die ganze Kette der Alpen vom Zentralgranit ausschwärmen und in schieferigen Gesteinen die Form aushaltender Lager, in weniger schieferigen jene eigentlicher Gänge annehmen, welche bald feinkörnig, bald grobkörnig ausgebildet, immer als Fremdlinge den Gesteinen gegenüberstehen, innerhalb deren man sie findet, und die ferner fast überall durch einen Gehalt an Turmalin ausgezeichnet sind.

5. Die vollkommene Übereinstimmung in dem petrographischen Typus, welche zwischen den hier vorliegenden Gesteinen und dem Zentralgranit der Alpen überhaupt vorhanden ist, spricht für eine zeitlich nicht durch ganze geologische Perioden getrennte Intrusion derselben; da aber für die Mehrzahl der granitischen Massive der Alpen ein um vieles geringeres geologisches Alter mit Sicherheit nachweisbar ist, so ist auch von diesem Standpunkt aus ein mindestens postkarbonisches Alter der Vorkommnisse in der Steiermark durchaus anzunehmen.

6. Die ungemein ausgedehnte Talkbildung, welche in der Nachbarschaft der steirischen Graphitlagerstätten sowohl, als jener in den kottischen Alpen vorhanden ist, ebenso wie das Auftreten mächtiger Magnesitstöcke in den Kalken kann überhaupt ohne Zuhilfenahme vulkanischer Agentien nicht erklärt werden. Solche intensiv wirkende chemisch-geologische Prozesse sind nur als Folgeerscheinungen vulkanischer Tätigkeit denkbar, und zwar sind stets und allenthalben, wo derartige Erscheinungen in solcher Intensität und Ausdehnung auftreten, mächtige granitische Massive in nächster Nachbarschaft nachweisbar.

Gegen all diese Betrachtungen kann Hörnes nur die Gneisgerölle des Rannachkonglomerates anführen, deren Bedeutung infolge mangelnder petrographischer Untersuchung an sich sehr gering ist, die aber auch von anderen Gesichtspunkten aus als nicht allzu triftige Beweisgründe erscheinen; ich erinnere nur an die von Branco und Fraas untersuchten Konglomerate an der Überschiebung im Ries, an die Glauchgänge von Nagyág etc., welche beweisen, wie vorsichtig man gerade bei der Verwertung von Konglomeraten für die Entscheidung geologischer Fragen sein muß.

Wenn Hörnes des weiteren versucht, für den Metamorphismus der steirischen Graphitlagerstätten gerade hier besonders intensiv wirkende Stauungen zu konstruieren, so ist dies meines Erachtens ein durchaus unnötiges Unternehmen. In der Nachbarschaft des Zentralgranites sind solche Um-

wandlungen in der ganzen Alpenkette vorhanden, welche an zahlreichen Stellen zu viel höher krystallinischen Gesteinen geführt haben. Man könnte sich nach den von Hörnes angegebenen Wirkungen des stauenden böhmischen Massivs etc. höchstens fragen, weshalb hier an solcher, für den Dynamometamorphismus so eminent günstiger Stelle nur phyllitartige Gesteine, nicht eigentliche Glimmerschiefer etc. entstanden sind. Meiner Anschauung nach haben hier die Schiefer eine verhältnismäßig weniger intensive Umwandlung aus dem Grunde erlitten, weil sie das schwebende Dach des granitischen Lakkolithen bilden, welches stets von der Metamorphose viel weniger beeinflußt wird, als wenn die Schichten von dem Schmelzfluß durchbrochen und zerrüttet wurden.

Was schließlich die die Graphitschiefer überlagernden Kalke etc. betrifft, welche in meiner früheren Abhandlung als fragliches Silur bezeichnet wurden, so stehen diese mit den genetischen Fragen, die uns hier beschäftigen, in keiner Beziehung, und ich gebe bereitwillig zu, daß die von mir gegebene Hypothese nicht aufrecht zu erhalten ist; daß aber auch diese Gesteine älter sind, als die Intrusion des Granites, scheint mir durch das Auftreten von Magnesit- und Pinolithstöcken innerhalb derselben bewiesen. Eine Zufuhr von Magnesia in ursprünglich reine Kalksteine ist zwar an zahlreichen Punkten ohne begleitende vulkanische Tätigkeit bekannt, aber es ist eine ebenso bezeichnende Erscheinung, daß die Anreicherung von Magnesia nur bis zur Zusammensetzung von Dolomit führt, wenn sie den normalen Agentien der Fossilisierung ihre Entstehung verdankt, während die durchaus lokalen Vorkommnisse von Magnesit ebenso wie jene von Talk allenthalben mit besonders gearteten Prozessen in Verbindung stehen. Stets ist in der nächsten Nachbarschaft solcher Bildungen ein Granit oder ein diesem äquivalenter Gneis vorhanden, eine Verbindung, welche wohl nicht zufällig sein kann. Ich erinnere hier nur an die berühmten Vorkommnisse von Magnesit in der Veitsch, an jene ungemein ausgedehnten Magnesitablagerungen in Oberungarn, welche sich von Jolsva bei Rosenau bis nach Kaschau verfolgen lassen und die hier von ebenso reinen Talkvorkommnissen begleitet sind, wie sie in der hier in Betracht kommenden Gegend die Vorkommnisse des Magnesits begleiten.

Die petrographische Untersuchung der Gesteine ebenso wie die chemisch-geologischen Erscheinungen in dem Gebiete der steirischen Graphitlagerstätten lassen die Theorie ganz

unmöglich erscheinen, daß der Zentralgranit in diesem Gebiet älter ist, als die ihn überlagernden krystallinischen Schiefer von karbonischem Alter; sie zeigen ebenso, daß die Trennung von Phyllit und Karbon eine durchaus willkürliche Annahme ist, welche nicht aufrecht erhalten werden kann. Dagegen beobachtet man die allmähliche Abnahme der krystallinischen Beschaffenheit der Schiefer, den Übergang von Graphit in amorphe Kohle mit der Entfernung von dem granitischen Kern und ist dadurch wohl auch berechtigt, die Graphitbildung mit eben diesem Granit in Verbindung zu bringen, welcher als intrusiver Lakkolith die Schiefer emporgehoben hat.

Anschließend daran möchte ich noch einige Beobachtungen mitteilen, welche sich auf die Entstehung der Graphitlagerstätten beziehen. Aus der von mir seinerzeit⁵⁾ beschriebenen Graphitlagerstätte bei Ragedara auf Ceylon wurde mir ein kleiner Graphitgang mit einem Gesteinseinschluß zugesandt, der ganz besonders geeignet ist, den Zusammenhang zwischen der Bildung von Graphit und Nontronit zu illustrieren. Der Gesteinseinschluß besteht aus einem stark zersetzten, lichten, granatfreien Granulit. Er ist rings umgeben von radial gestellten Graphitblättchen und durchsetzt von einem kleinen, parallel-schuppig-faserigen Trum von Graphit; außerdem sind in demselben zahlreiche kleine Graphitrosetten zerstreut. Jede dieser Graphitrosetten ist nun das Zentrum eines gelben Flecks, der vorherrschend aus Nontronit besteht; ferner ist das kleine Trum sowohl, wie der ganze Rand des Einschlusses gegen den Graphit zu von einem schmalen, gelben Nontronitband umsäumt, während der Einschluß sonst frei von Nontronit ist. Das Stück bildet so eine ganz hervorragende Illustration zu der von mir seinerzeit gegebenen Theorie, indem der Nontronit hier ganz an den Graphit gebunden erscheint. Besonders wichtig für meine Auffassung der Bildung der Graphitlagerstätten aber scheinen mir eine Reihe von Beobachtungen zu sein, welche ich durch das lebenswürdige Entgegenkommen des Herrn Bergmeisters Gruber und des Herrn Bergpraktikanten Umhau in Amberg beim Abbruch des dortigen alten Hochofens zu machen Gelegenheit hatte.

Zur Illustrierung der Verhältnisse dient nebenstehende Skizze (Fig. 5) des abgebroche-

nen Hochofens; rechts sind an derselben die entsprechenden beim Betriebe herrschenden ungefähren Temperaturen, sowie die Zahl der von unten nach oben gezählten Mantelbleche eingezeichnet. Herr Umhau, von welchem die Skizze herrührt, berichtet darüber:

„Die Verkohlung der Steine begann am oberen Rande vom Blech 11, sie nahm von oben nach unten immer mehr zu, ebenso wie sie sich vom Schachtinnern nach außen zu helleren Farben abstufte. Auf einer Seite

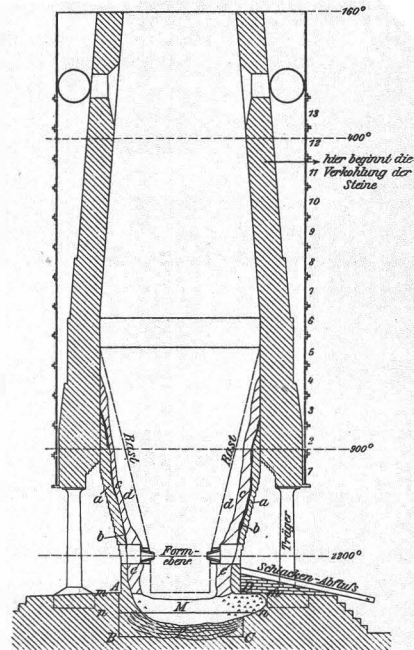


Fig. 5.

Profil eines Hochofens, die Verkohlung der Steine zeigend.

des Ofens nahm die Verkohlung des Mauerwerks schon kurz nach oben bezeichneter Stelle in dem Maße zu, daß man das Steinformat oft garnicht oder nur mehr schwer erkennen konnte. Dieses verkohlte Mauerwerk war stark zerklüftet und namentlich in diesen Klüften wurden Krystallkrusten von Zinkoxyd gefunden; neben den Krystallen lagerte sich amorpher Kohlenstoff in größeren Mengen ab. Von Blech 5 und 4 abwärts fand man Zinkoxydkrystalle nur mehr selten und dann nur in größerer Entfernung vom inneren Ofenrand in den Steinfugen, dagegen gab es von dieser Höhe ab eine Unmenge Tropfzink.

Eine merkwürdige Erscheinung war folgende: In der Rast des Ofens war das Mauerwerk nur mehr in der Stärke der mit *a* bezeichneten Schicht erhalten, *d* fehlte vollständig und *c* war ein schlackenähnlicher, schwarzer, sehr hygroskopischer Steinansatz. Zwischen diesem Steinansatz nun und dem erhaltenen Mauerwerk war eine durchschnitt-

⁵⁾ Diese Zeitschr. 1900 S. 174.

lich 4 cm, manchmal aber auch bis 10 cm mächtige Rußschicht *b*.

M im Bodenstein *ABCD* bezeichnet die Eisensau. Sie bestand aus allerlei Eisenarten und an den mit Hacken signierten Stellen fanden sich mit Graphit bedeckte Eisenkrystalle. Das Vorkommen derselben beschränkt sich, wie ersichtlich, nicht auf den Bodenstein, sondern erstreckte sich darüber hinaus bis zum Träger des Ofenschachtes und zwar nur auf der Seite des Ofens, wo der Schlackenabfluß liegt, also die Wärme am stärksten zusammengehalten wurde durch das Mauerwerk, auf dem das Schlackenabflußrohr aufliegt, und vermehrt wurde durch die Schlackenhitze.

Im untersten Niveau der Eisensau fanden sich Gänge von mit Eisen gemischten Stickstoffscyantitan, welche auch in das Mauerwerk *P* übergriffen, das nicht mehr das frühere Steinformat zeigte, sondern, wie die Zeichnung angibt, schieferig muldenförmige Struktur in Parallelität zum unteren Rande der Ofensau erkennen ließ. In diesen Schiefen konnte man die früheren Steinfugen durch Eisen zusammengekittet erkennen.

Der reine Graphit kam vor in den noch erhaltenen Steinen des Bodensteins von *m-n* bis *n-n* in Rissen und Spalten, in den Steinfugen, dann im Tegel, welcher vom Verstopfen des Stichloches herrührt, und in Koks und Kaltgemisch vom Gichten vor dem Ausblasen.“

Die Untersuchung des umfangreichen, der Zeichnung entsprechend etikettierten Materials ergab, daß, soweit die Mantelbleche reichen, ausschließlich amorpher Kohlenstoff in den Steinen vorhanden war, welche zum Teil die Breccienstruktur der ursprünglichen Schamotte noch deutlich erkennen ließen, zum Teil aber auch gleichmäßig schwarz und von Kohle erfüllt waren. Dann hatten sie eine lockere Beschaffenheit angenommen. Durch massenhafte Adern von derbem Zinkoxyd, in welchen in großer Zahl prachtvolle Drusen mit Krystallen saßen, erhielt das an sich oft geradezu erdige Gebilde einige Festigkeit. Der amorphe Kohlenstoff erfüllte den Stein durchaus gleichmäßig und verlieh ihm je nach seiner Menge eine graue bis rein schwarze Farbe. Öfter war auch zu sehen, daß die eckigen Schamottebröckchen, welche einen Teil der Steine bilden, viel stärker mit Kohlenstoff imprägniert waren, als deren Bindemittel. In den unteren Teilen des Ofens, wo an Stelle der Bildung von Zinkoxyd jene von Zink getreten war, blieben die Erscheinungen der Kohlenimprägnation gleich. Von diesen Bildungen unterscheiden sich die Steine aus dem Niveau der Form-

ebene und den noch tiefer gelegenen Partien. Hier ist Graphit an Stelle des amorphen Kohlenstoffs getreten, zum Teil in der Art, daß die kleinen Bruchstücke, welche in den Schamotten vorhanden sind, ganz mit feinschuppigem Graphit — in seiner Struktur ähnlich dem kleinschuppigen Vorkommen aus den Schwarzenbergschen Gruben zu Schwarzberg in Böhmen — erfüllt waren und eine milde Beschaffenheit und glänzenden Strich angenommen hatten, während in dem härteren Zwischenmittel grobschuppiger Graphit zur Ausbildung gekommen war. In andern Stücken war der ganze Stein gleichmäßig unter Verwischung seiner breccienartigen Struktur mit ziemlich grobschuppigem Graphit imprägniert, sodaß solche Stufen bei oberflächlicher Betrachtung den grobschuppigsten Graphitneisen des Passauer Gebietes oder solchen von Ticonderoga nicht unähnlich sind. Die mikroskopische Untersuchung ergab, daß die Ablagerung des Graphites begleitet ist von der Bildung einer feinschuppigen gelben Substanz von nontronitähnlichem Aussehen, die sich aber, wie zu erwarten stand, als wasserfrei erwies. Diese Substanz muß, der qualitativen Probe nach, nicht arm an Eisenoxyd sein, während die unveränderten Gestellsteine nur sehr geringe Mengen von Eisen aufweisen. Im übrigen war eine Veränderung der Beschaffenheit des Steines mikroskopisch nicht nachweisbar.

Die aus ziemlich reinem, mittelschuppigem Graphit bestehenden Ausfüllungen der Fugen und Klüfte zeigen ein schieferiges Gefüge, die einzelnen Blättchen liegen parallel zur Gangfläche im Gegensatz zu der Beschaffenheit der Ceyloner Gänge. Besonderes Interesse boten der mikroskopischen Untersuchung die schieferigen Steine aus der in der Zeichnung mit *P* bezeichneten Partie des Bodensteins. Die schieferige Struktur derselben tritt durch die mehr oder minder parallele Anordnung der großen Graphitblätter hervor, welche in der lichten Hauptmasse in Menge eingewachsen sind. Unter dem Mikroskop sieht man, daß hier der Stein völlig umkrystallisiert ist, von seiner ursprünglichen Struktur ist keine Spur mehr erhalten. Er besteht in der Hauptsache aus skelettartigen Krystallisationen, welche oft große Ähnlichkeit mit den Chondren der Meteorsteine aufweisen und sehr augitähnliche Eigenschaften haben. Zwischen denselben trifft man größere, gedrungen rektanguläre Durchschnitte mit ausgezeichneter Zonarstruktur, in welcher einzelne Zonen anomale Interferenzfarben der niedersten Ordnung, andere kaum eine Spur einer Doppelbrechung aufweisen, während

ihre Lichtbrechung nicht unbedeutend ist. Ich halte sie für ein dem Åkermanit Vogts nahestehendes Silikat. Die großen Graphitblätter durchziehen dieses Aggregat durchaus geradlinig, indem sie die einzelnen Skelette und Krystallindividuen auseinanderschneiden und die beiden Teile öfter gegeneinander verwerfen. Der Graphit ist also hier in das umkrystallisierte und von parallelen Absonderungen schon durchsetzte Gebilde eingedrungen. Ähnlich wie bei den in das Nebengestein eingedrungenen Graphittäfelchen aus den Lagerstätten auf Ceylon beobachtet man auch hier eine schmale Umsäumung dieser Blättchen durch eine faserig schuppige Substanz.

Daß auch die Eisensau Graphit, zum Teil in ungemein grobschuppigen Partien, enthält, braucht nicht weiter ausgeführt zu werden; desgleichen wurde das Mineral in Täfelchen in Schlackenpartien aufgefunden, welche in der Sau vorhanden sind, und die in der Hauptsache aus Glas mit Leisten von Plagioklas und skelettartigen Krystallisationen von Olivin bestehen.

Die mir zugesandten Proben von Gestellsteinen, deren Untersuchung oben beschrieben wurde, erwiesen sich, je mehr sie mit Kohlenstoff resp. Graphit imprägniert waren, umso mehr hygroskopisch und entwickelten einen lebhaften Geruch nach Blausäure mit Ausnahme der bei *P* gebrochenen schieferigen Stücke. Die Untersuchung der ersteren ergab neben einem Gehalt an Cyankali eine Menge von Potasche, sodaß die Stufen erst nach längerem Auskochen mit Wasser aufbewahrt werden konnten. Aber auch dann bildete sich, namentlich auf den graphitführenden Stufen, eine schimmelähnliche Ausblühung, welche sich als Zinkvitriol erwies.

Ein besonderes Gewicht wurde bei diesen Studien ferner darauf gelegt, die Beschaffenheit des Kohlenstoffs in den verschiedenen Gestellsteinen genauer zu erforschen, um eventuell Übergänge zwischen amorphem Kohlenstoff und Graphit, also graphitoïd-ähnliche Bildungen aufzufinden. Das Resultat war durchaus negativ. Zwischen den erdigen Absätzen von amorphem Kohlenstoff in der Form von Ruß und den Ablagerungen von wohlkennbarem Graphit ließ sich chemisch eine scharfe Grenze feststellen. Übergänge irgend welcher Art wurden nicht aufgefunden.

Die Gesamtheit der Erscheinungen weist mit Sicherheit darauf hin, daß ein Eindringen von Kohlenstoff in das Innere der an sich kohlenstofffreien Gestellsteine als Folge des Hochofenbetriebes sich eingestellt hat, daß

diese Einwanderung von Kohlenstoff ferner eine Zerstörung der Steine im Gefolge hatte, indem dieselben um so lockerer werden, je stärker sie mit Kohlenstoff imprägniert sind, daß aber hier, entgegengesetzt zu den von Lürmann⁶⁾ beschriebenen Erscheinungen die Bildung derselben innerhalb der Gestellsteine im allgemeinen nicht abhängig erscheint von dem Vorhandensein kleiner Schwefelkiesknötchen, sondern vielmehr durchaus gleichmäßig im ganzen Stein stattgefunden hat, wobei sich höchstens ein Unterschied zwischen den kleinen Schamottebröckchen in diesen Steinen und deren Bindemittel feststellen läßt. Es ergibt sich ferner, daß in einzelnen Teilen die Graphitbildung von einem Absatz eisenoxydhaltiger Substanzen begleitet war, genau wie dies in den Lagerstätten des bayerisch-böhmischen Grenzgebirges und in geringerem Maße auch auf Ceylon der Fall war.

Im Anschluß hieran mag noch bemerkt werden, daß von Amberg sowohl als von den Eisenwerken in Vajda - Hunyad in Siebenbürgen eine Anzahl von Hochofenschlacken vorliegen, auf deren Blasenräumen massenhaft Täfelchen von Graphit aufgewachsen sind. Dabei ließ sich in Vajda-Hunyad verfolgen, daß die Schlacken, welche vom Hochofen weg direkt in parallelepipedische Eisenformen eingegossen werden, nur in den äußersten, der Erkaltoberfläche zunächstgelegenen Partien graphitführend sind. Der Graphit ist also auch hier ohne Zweifel ein Absatz aus gasförmigen Agentien, zumal die Schlacken selbst keinen Graphit enthalten.

Die regional-metamorphosierten Eisenerzlager im nördlichen Norwegen. (Dunderlandstal u. s. w.)

Von

J. H. L. Vogt (Kristiania).

Diese Vorkommen und zwar namentlich Dunderlandstal, bei welchem die Anwendung der magnetischen Separation nach dem System Edison geplant ist, haben in der letzteren Zeit in hohem Grade die Aufmerksamkeit in wirtschaftlicher Beziehung auf sich gezogen. Teils aus diesem Grunde und teils des an diese Vorkommen sich knüpfenden geologischen Interesses wegen ist eine Beschreibung in dieser Zeitschrift berechtigt. — Die folgende Darstellung ist zum Teil ein Referat eines Vortrages von mir, über die Erzlagerstätten und den Bergbau im nördlichen Norwegen, in der zweiten Landessitzung

⁶⁾ Stahl und Eisen 1898, I, 168.