Werk

Titel: Der Stand des Problems der Entstehung des Mansfelder Kupferschiefers

Autor: Frebold, Georg

Ort: Berlin

Jahr: 1923

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?345572157_0014|log82

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

II. Besprechungen.

Der Stand des Problems der Entstehung des Mansfelder Kupferschiefers.

Von **Georg Frebold** (Hannover).

Der Mansfelder Kupferschiefer stellt eines der interessantesten Kupfererzvorkommen dar. Nicht allein, daß dieses Vorkommen eine außergewöhnliche Ausdehnung besitzt, sondern vor allem die Fülle der Probleme, die seine Zusammensetzung und Entstehung aufwerfen, haben seit langer Zeit immer wieder Bergleute und Geologen angezogen. Der Streit der Ansichten über diese Probleme ist so alt wie die wissenschaftliche Geologie überhaupt; er ist nie zur Ruhe gekommen und hat ganz neuerdings zu einer lebhaften Diskussion hinsichtlich der Entstehung der Lagerstätte geführt. Einen Überblick über diese neuesten Erörterungen zu geben, ist der Zweck der folgenden Zeilen.

Von der Literatur ist nur das berücksichtigt, was in den letzten Jahren über den Gegenstand erschienen ist. Hinsichtlich der Auffassung der Entstehung lassen sich zwei Gruppen unterscheiden:

I. Standpunkt der Epigenese:

F. Beyschlag, Beitrag zur Genesis des Kupferschiefers. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1900.

R. Beck, Die Lehre von den Erzlagerstätten II, 1909.

Beyschlag, Krusch, Vogt, Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine II, 1913.

P. Krusch, Die Verteilung der Metallgehalte (Cu, Ag, Mo, Va) im Riechelsdorfer Kupferschiefer, ein Beitrag zur Genesis des Flözes. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1919.

F. Beyschlag, Die Erzführung des Kupferschiefers. Zeitsch. f. prakt. Geol. 1921.

F. Beyschlag, Zur Frage der Entstehung des Kupferschiefers. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., Monatsber. 72. Bd., Nr. 11/12, 1921.

R. Beck-G. Berg, Abriß der Lehre von den Erzlagerstätten, 1922.

II. Standpunkt der Syngenese:

Stelzner-Bergeat, Die Erzlagerstätten I, 1904.

J. F. Pompeckj, Das Meer des Kupferschiefers. Branca-Festschrift 1914.

Geipel, Über die Rücken im Mansfeldschen Revier und ihren Einfluß auf die Erzführung des Kupferschiefers. Jahrb. d. Halleschen Verbandes f. d. Erforschung d. mitteldeutsch. Bodenschätze u. ihrer Verwertung, 1919, 1. Heft.

Erdmann, Diskussionsbemerkung dazu
v. Wolff, „ „ } ebendort
Walther, „ „

J. F. POMPECKJ, Kupferschiefer und Kupferschiefermeer. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., Monatsber. 72. Bd. Nr. 11/12, 1921.,

R. LANG, Herkunft und Bildung der Erze des mitteldeutschen Kupferschiefers. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges., Monatsber. 73. Bd., Nr. 8/10, 1922.

R. LANG, Der mitteldeutsche Kupferschiefer als Sediment und Lagerstätte. Jahrb. d. Halleschen Verbandes usw. 1921, 3. Heft.

H. SCHNEIDERHÖHN, Chalkographische Untersuchungen des Mansfelder Kupferschiefers. Neues Jahrb. f. Min., 57. Beil.-Bd., 1. Heft., 1922.

K. SCHLOSSMACHER, Der Charakter des derzeitigen Erzbestandes des Mansfeldischen Kupferschiefers. Metall und Erz, 5. Heft, 1922.

Seit altersher hat man den Mansfelder Kupferschiefer als ein klassisches Beispiel für den chemischen Niederschlag von Erzen aus metallischen Lösungen angesehen. Man glaubte, daß der Niederschlag gleichzeitig erfolgt sei mit der mechanischen Sedimentbildung in einem größeren abgeschlossenen Meeresbecken unter dem Einfluß reduzierender organischer Substanzen. Die Lösungen hielt man für Vitriole, die von Alkalisulfaten, wie sie in jedem Meereswasser vorkommen, begleitet gewesen sind. Die zahlreichen verwesenden organischen Reste zerlegten diese Alkalisulfate unter Bildung von Schwefelwasserstoff; dieser fällte dann die Metalle aus den Vitriollösungen als Sulfide aus. Mit J. C. FREIESLEBEN glaubte man, daß die im Kupferschiefermeer lebenden Ganoidfische durch jene Lösungen vergiftet worden sein. Die häufig zusammengekrümmten Leiber dieser Fische ließen diesen Tod deutlich erkennen.

Bei genauerer Durchforschung des Vorkommens aber stellte sich die eigentümliche Tatsache heraus, daß an den sog. Rücken der Erzgehalt des Flözes beträchtlich steigt. Das war immerhin ein gewichtiger Grund gegen die Annahme eines chemischen Niederschlages von Erzen am Meeresgrunde und damit auch gegen die syngenetische Deutung. Ja, diese Tatsache schien geradezu nachdrücklich darauf hinzudeuten, daß der Schiefer erst nachträglich von Erzlösungen durchtränkt worden sei und zwar gerade von diesen als Rücken bezeichneten Verwerfungsklüften aus. Zudem ließ sich von diesem epigenetischen Gesichtspunkt aus auch die andere Tatsache gut verstehen, daß das Erz durchaus nicht die Niveaubeständigkeit besitzt, wie man ursprünglich, so namentlich v. GRODDECK, auf dem Boden der Sedimentationstheorie stehend, verteidigen zu müssen glaubte. Auf Klüften aufsteigende metallische Lösungen halten sich bei ihrem Absatz nicht an einen bestimmten Horizont.

In neuester Zeit hat vor allem BEYSCHLAG die epigenetische Entstehung der Erze im Kupferschiefer mit Nachdruck vertreten. Gegen die von der gegnerischen Seite vielfach behauptete Zuführung der Kupferlösungen vom Lande her wendet er ein, daß dann die stärksten Kupferniederschläge in den Flußdeltas, die schwächsten hingegen in der Mitte des Kupferschiefer-Meeresbeckens erfolgt sein müßten — was nicht der Fall ist. Vielmehr zeigt sich gerade das

Umgekehrte: reichlicher Erzniederschlag im eigentlichen Becken. Und für die submarinen Quellen als Erzzubringer liegt nicht der geringste Anhalt vor. Darüber hinaus fragt BEYSCHLAG weiter, woher denn der Kupfergehalt der Wasserläufe stammen soll.

Als einzige Quelle des Kupfers kann nach BEYSCHLAG nur das Magma der permischen Eruptivgesteine, der Porphyre, Porphyrite und Melaphyre in Frage kommen. Und zwar aus zwei Gründen. Zunächst führen die permischen Eruptivbildungen in Europa überhaupt Kupfer und namentlich in Deutschland sind mit den permischen Eruptiven Kupferkonzentrationen vergesellschaftet, z. B. im Saar-Nahe-Gebiet. Im Mansfelder Gebiet reichen die großen Porphyrergüsse von Halle-Landsberg bis zum Melaphyr bei Hettstedt am Ostharz hin. Ja, vielfach weisen die Eruptivgesteinsgerölle des Rotliegend-Konglomerates auf die Einwirkungen von verdeckt liegenden Eruptivmassen in der Tiefe hin. Zum andern verschwindet der Erzgehalt des Kupferschiefers immer mehr, je mehr sich der Zechstein vom permischen Untergrunde — der Zechstein transgrediert in Deutschland über das Rotliegende — entfernt und damit immer weiter über die alten Gebirgsrümpfe übergreift. Was den engen Zusammenhang zwischen den permischen Eruptivergüssen und der Erzführung des Kupferschiefers beweist.

Wie bereits bemerkt, setzen durch den Kupferschiefer jene als Rücken bezeichneten Verwerfungen, an denen vielfach der Erzgehalt des Kupferschiefers beträchtlich zunimmt, namentlich dann, wenn diese Rücken dicht zusammengedrängt auf engem Gebiete vorkommen. Diese Rücken sieht BEYSCHLAG als Zubringer der Erzlösungen an. Auf ihnen sind Erzlösungen aufgestiegen und haben sich, sobald sie in den Kupferschiefer gelangten und dort mit den reduzierenden und ausfällenden Substanzen zusammentrafen, niedergeschlagen. Daß die Nähe der Rücken vielfach besonders erzreich ist, hat darin seinen Grund, daß die Erzausscheidung auf den Rücken auf die nachfolgenden Lösungen stauend wirkte. Die Lösungen mußten sich daher im durchlässigen Weißliegenden verbreiten, sich unter dem eigentlichen Schieferflöz stauen und eine Haupterzniederlage schaffen unter dem Einfluß des hangenden bituminösen Schiefers. So ist die „Tresse" entstanden, in der die Verdrängung der Quarzgerölle durch Kupferkies auf lange anhaltende Einwirkung der Erzlösungen hinweist. BEYSCHLAG hat somit auch eine Deutung für die Bleichung des sog. Weißliegenden: sie ist die Folge der hier gestauten und zirkulierenden Lösungen.

Das einzige Mineral, dem BEYSCHLAG syngenetische Entstehung zuspricht, ist der Schwefelkies. Kupferkies ist durch frühzeitige Epigenese im Schiefer entstanden, eine zweite spätere Epigenese, die vielleicht erst im Zusammenhang mit den tertiären Bodenbewegungen steht, hat Buntkupfererz und Kupferglanz abgesetzt. Soweit BEYSCHLAGs Deutung.

Vonseiten der Gegner, der Syngenetiker, sind gerade neuerdings eine Reihe von gewichtigen Einwänden gegen die epigenetische Deutung erhoben worden, die BEYSCHLAGs an sich einleuchtende Erklärung zum mindesten sehr fraglich machen. LANG führt gegen die Epigenese folgende Gründe ins Feld: 1. Es wird durch die epigenetische Auffassung nicht gesagt, warum nur durch den bituminösen Mergelschiefer die Erze ausgefällt sein sollen. Da die Erzlösungen aus der Tiefe stammen, so hätten sie ebenso gut sich in den bituminösen und kohligen Schichten des Karbons oder des Rotliegenden absetzen können. Eine Bestätigung dieser Möglichkeit fehlt. 2. Erzgänge, von denen aus evtl. eine Infiltration des Kupferschiefers stattgefunden haben könnte, lassen sich nicht nachweisen. 3. ist nach LANGs Ansicht die Ausscheidung der Erze nicht notwendig durch den Bitumengehalt des Schiefers veranlaßt; im süddeutschen Buntsandstein ist auf Gängen ohne Einwirkung bituminöser Substanzen Kupfererz ausgeschieden. 4. Das Aufsteigen der Erzlösungen kann man als postvulkanischen Vorgang auffassen und die Epigenetiker wären damit im Recht. Es ist aber sehr fraglich, ob die als Rücken bezeichneten Verwerfungen und Klüfte bereits in so früher Zeit bestanden haben. Vielmehr spricht manches dafür, daß diese Störungen vielleicht erst am Ausgange der Jurazeit, sehr wahrscheinlich aber erst zur Kreide- und Tertiärzeit sich gebildet haben. Trifft das zu, dann können die postvulkanischen Erscheinungen der Quarzporphyre nicht mehr wirksam gewesen sein. 5. Als schwerstwiegender Einwand haben die Untersuchungen v. WOLFFs zu gelten, die das Ergebnis zeitigten, daß in den permischen Quarzporphyren überhaupt kein Silber- geschweige denn ein Kupfergehalt nachzuweisen ist. Was an Kupfer sich in permischen Eruptivgesteinen findet, beschränkt sich auf Diabase und Melaphyre und ist hier im wesentlichen an die in ihnen enthaltenen Augite und Hornblenden gebunden.

Von vornehmlich bionomischen Gesichtspunkten wendet sich POMPECKJ gegen die Deutung einer epigenetischen Entstehung. An Fossilien haben sich folgende Arten im Kupferschiefer gefunden: vor allem Fische, dann 1 Echinoderm, 6 Brachiopoden, 4 Bryozoen, 10 Lamellibranchiaten, 1 Scaphopode, 1 Gastropode, 2 Cephalopoden, 1 Stegocephale, 2 Reptilien und eingeschwemmte Landpflanzen (Ullmannia, Voltzia, Sphenopteris, Odontopteris). Das ist, so folgert POMPECKJ mit Recht, namentlich mit Rücksicht auf die Brachiopoden, eine typische Meeresfauna, der Kupferschiefer ist also als eine Meeresablagerung aufzufassen. Ein tief abgetragenes Land hat in den Meeresraum des Kupferschiefers den feinsten Schutt transportieren lassen.

Aber noch etwas anderes erkennt POMPECKJ aus der Fauna des Kupferschiefers. Es ist nämlich auffallend, daß Brachiopoden und Bryozoen im Kupferschiefer nur spärlich und schwach gedeihen, daß vor allem die Grundfische des Meeres überwiegen. Es ist erklärlich,

daß in den Regionen des Meeres, wo sich der Kupferschiefer aus den vergiftenden Metallösungen bildete, ein reiches Leben nicht zur Entfaltung kommen konnte. Ja, in Anlehnung an JAEKEL verficht er die These, daß die ganze Fischfauna des Kupferschiefers dem Meeresteil nicht eigentümlich, daß sie vielmehr eine in das Kupferschiefer-Meeresbecken gedrängte Süßwasserfauna sei. Wenn das auch als etwas zu weit gegriffen erscheint, so wird man seinen folgenden Worten doch durchaus beistimmen können: „Die an benthonischen Leben so überaus armen Tiefen des Kupferschiefermeeres als auch die petrographischen Verhältnisse des Sedimentes weiß ich nur als Analoge des Schwarzen Meeres zu deuten".

In beiden Fällen findet sich im Meere salzarmes fischreiches Oberflächenwasser. Nach der Tiefe nimmt der Salzgehalt zu, Brachiopoden, Bryozoen und Muscheln sind hier die Hauptvertreter organischen Lebens. Das Reich der Tiefe ist sauerstoffarm, das Wasser ist hier vergiftet durch den von Bakterien erzeugten Schwefelwasserstoff. In ihm sind Fische und Plankton dem Tode verfallen, sie sinken in die Tiefe und liefern dort neben dem bereits vorhandenen Schwefeleisen das Bitumen.

Es bleibt nur die Frage, wie von der syngenetischen Auffassung aus das Problem des Erzreichtums in der Nähe der Rücken gedeutet werden soll. An der Ausfüllung der Rückenspalten beteiligen sich vor allem Schwerspat und Kalkspat. Kommen sie zusammen vor, so ist Schwerspat sekundär; zuweilen ist dem Schwerspat noch jüngerer Gips aufgewachsen. Ferner finden sich — allerdings in untergeordneten Mengen — Quarz, Cölestin, Anhydrit und bituminöse Ausscheidungen. An Erzen sind vertreten Kupfer-, Kobalt- und Nickelerze, sowie Bleiglanz, Zinkblende, Schwefelkies und Molybdänglanz. Gediegenes Silber sitzt in Form kleiner Drähte derbem Kupferglanz auf. Ganz selten ist Uranpecherz in kleinen hirsekorngroßen Kügelchen in Kalkspattrümchen. Der Kalkspat hat dabei dieselbe rötliche Farbe wie jener, der das Joachimsthaler Uranpecherz begleitet. Die Erze treten meistenteils in den Teilen auf, die dem Kupferschieferflöz am nächsten liegen. Hinsichtlich des Alters der Rücken ist GEIPEL geneigt, ihre Entstehung ins Tertiär zu verweisen. Gestützt wird diese Mutmaßung dadurch, daß auch heute noch ein schwaches Ausklingen der damals stattgefundenen Bewegungsvorgänge an einigen Hauptrücken stattfindet. Darauf deuten gelegentlich die lockeren Reibungsprodukte auf den Spalten hin. Der seitliche Druck, der die Schichten zusammenstaute und das Aufrichten der Rückenspalten bewirkte, hält auch heute noch an; darauf weisen die starken, bergschlagartigen Spannungsauslösungen, die sich in der Nähe dieser Spalten sowohl beim Auffahren von Strecken im Liegenden, wie auch bei frischen Anhieben des Flözes im unverritzten Felde gezeigt haben.

Nun nimmt BEYSCHLAG an, darin einer Theorie POŠEPNÝs folgend, daß die Minerallösungen auf den Rückenspalten zirkulierten und die Imprägnation des Kupferschiefers verursachten. Daraus wäre zu folgern, daß sich ein Teil der Metallverbindungen bereits in den Spalten des Liegenden abgeschieden hätte und daß sich in größerer Tiefe unter dem Kupferschiefer darin Kupfermineralien oder Nickelerze finden müßten. Das ist nicht der Fall. Es ist ferner sehr problematisch, weshalb die auf den Rückenspalten emporsteigenden Erzlösungen schon beim Kupferschiefer Halt machten und nicht bis in den höheren, ebenfalls bituminösen Stinkstein gelangten. Man könnte einwenden, daß der hydrostatische Druck dazu nicht ausreichte. Aber er muß vorhanden gewesen sein, denn sonst hätten die Lösungen von den Rücken aus nicht viele 100 m in die feinsten Lagen des Kupferschiefers hineingepreßt werden können.

Den Imprägnationsvorgang vorausgesetzt, hätte man weiter erwarten müssen, daß der Erzgehalt von den Rücken aus auf größere Erstreckung hin gleichmäßig abgenommen hätte. Das ist nicht der Fall. Unter der weiteren Annahme, daß die Rücken mit der größten Sprunghöhe auch am tiefsten ins Liegende setzen, müßten gerade sie den geeignetsten Weg für die aufsteigenden Lösungen geboten haben. Aber die reichsten Erzpartien finden sich, wie bereits erwähnt, gerade an verhältnismäßig kleinen Rücken, die vielleicht nur wenige Meter in die Tiefe setzen.

Alles in allem sind das Gründe, die gewichtig gegen die POŠEPNÝ-BEYSCHLAGsche Aszensionstheorie sprechen. Es bleibt also im Grunde bei der alten, von LASIUS und FREIESLEBEN verfochtenen Präzipitationstheorie, freilich unter Aufnahme der modernen Untersuchungen über Sedimentation, über physiologische Einwirkung von metallischen Lösungen auf Meeresorganismen usw. GEIPEL hat da in einiger Hinsicht schon 1918 die Striche gezeichnet, die das Bild der Entstehung des Kupferschiefers vom syngenetischen Standpunkt aus ergeben: „Der feine Schlamm, aus welchem der Kupferschiefer entstand, konnte sich in seinen feinen gleichmäßigen Lagen nur ganz allmählich in einem tiefen und ruhigen Meeresbecken absetzen. Ebenso ruhig vollzog sich aber auch der Niederschlag der Metallverbindungen aus schwachen Lösungen, welche in dieses Meeresbecken hineinflossen und dabei so verdünnt wurden, daß sie ohne Schaden von den darin lebenden Tieren ertragen werden konnten."

* * *

Nun hat ganz neuerdings SCHNEIDERHÖHN der von POMPECKJ, LANG, GEIPEL u. a. vertretenen Präzipitationstheorie eine sehr bedeutsame Stütze dadurch gegeben, daß er den Mansfelder Kupferschiefer mit Hilfe der von ihm besonders ausgearbeiteten Methoden zur Untersuchung undurchsichtiger Substanzen im auffallenden Licht

untersuchte. Zur Anwendung kommt dabei das metallographische Mikroskop, freilich mit eigens für diese Untersuchungen eingerichteten Abänderungen und Beobachtungsmethoden.

In ungeätzten Anschliffen des Kupferschiefers lassen sich mit Hilfe des Mikroskops drei Komponenten deutlich erkennen: Quarz, Karbonate und bituminös-tonige Massen. Quarz tritt in Gestalt eckiger splittriger Körnchen von 0,005—0,02 mm Größe auf, die stets locker verstreut liegen. Die Karbonate sind als abgesetzte, rasch auskeilende gewellte Flasern und Linsen, seltener als rundlich abgeplattete Konkretionen ausgebildet. Die Ätzung mit Essigsäure läßt erkennen, daß sie meist aus Kalkspat bestehen. Seine Fasern sind senkrecht auf die Schichtfläche gestellt, die Konkretionen hingegen zeigen oft eine radialfaserige Anordnung. Die Linsen und Bänder werden etwa 0,01—0,05 mm dick und bis 0,2 mm lang. Die Konkretionen sind größer (bis zu mehreren mm). Seltener ist Dolomitspat. Alles dieses erscheint eingebettet in einer strukturlosen glatten Grundmasse, der Ton- und Bitumensubstanz. Diese tritt in schmalen Bändern auf, die im großen Ganzen den Schichtflächen parallel sind, im einzelnen aber mannigfache Windungen und Schlängelungen um Quarzkörner, Kalkspatlinsen, Dolomit- und Erzpartien herum zeigen. Durch Ätzung mit heißem Petroleum werden die bituminösen Bestandteile oberflächlich aufgelöst und erscheinen nunmehr rauh und in sich wieder struiert. Bei sehr starken Vergrößerungen mit Immersionsobjektiven erkennt man in diesen bituminösen Massen zunächst kleinste parallel gelagerte Serizitblättchen; die Bitumensubstanz besteht wieder aus vielen in sich außerordentlich fein gewellten, gefältelten und geschlängelten Lagen. Ferner zeigen sich jetzt noch in großer Menge Organismenüberreste in den bituminösen Partien: kleinste Schälchen von runder, halbrunder oder geschlängelter Gestalt von durchweg 0,0025 mm Dicke. SCHNEIDERHÖHN ist der Ansicht, daß das Material dieser Formen Phosphorit ist. Er läßt dabei die Frage offen, ob es sich um Formen einer fossilen Mikrofauna handelt. Kohlige Substanzen sind in den bituminösen Bändern sowie im ganzen Gestein nicht vorhanden.

Das Erz selbst tritt zunächst in Erzlinsen und Erzflasern auf und gleicht darin strukturell den Karbonaten, an deren Stelle es in den erzreichen Lagen tritt. Der Unterschied zwischen der fein eingesprengten Speise und den lang durchhaltenden Erzlinealen ist im mikroskopischen Bilde nicht von grundsätzlicher Art. Letztere sind weiter nichts als Anhäufung und Hintereinanderreihung von Erzlinsen, -bändern und -adern. Sie sind hier in der erzreichsten Schicht nur stärker geschart und die Speise im Liegenden und Hangenden erscheint mehr als Beginn und Ausklang der Erzsedimentation. In Erzlinsen und Erzflasern herrscht Buntkupfererz vor, Kupferglanz ist weit seltener, Zinkblende und Bleiglanz zeigen sich vereinzelt. Kupfer-

kies ist — das ist besonders wichtig — beschränkt auf durchgreifende Trümer und Gängchen sowie deren Umgebung; im Vergleich zu den Haupterzen ist er deutlich sekundär und jünger. Kupferkies und Pyrit hingegen sind das Hauptvererzungsmaterial der zahlreichen, im Kupferschiefer sich findenden Mikroorganismen. Beim eigentlichen primären Erzgehalt des Kupferschiefers haben also Kupferkies und Pyrit keine Bedeutung.

Die Buntkupferkies- und Kupferglanzlinsen und -flasern stoßen, wie man das bei stärkerer Vergrößerung beobachten kann, mit ganz scharfer Grenze an das Nebengestein, die bituminösen Bänder des Nebengesteins passen sich den Formen der Erzlinsen bis in die allerfeinsten Einzelheiten völlig an. Die Erzlinsen bestehen außer aus sulfidischen Kupfererzen und wenigen eckigen Quarzkörnchen nur noch aus rhomboedrischem Kalkspat, Dolomitspat oder Eisenspat. Alle Beobachtungen lassen sich dahin zusammenfassen, daß Verdrängungserscheinungen zwischen Sulfiden und Karbonaten kaum eine Rolle spielen, daß vielmehr eine etwa gleichzeitige Entstehung der Karbonate und des Buntkupfererzes anzunehmen ist. Kupferglanz hingegen ist deutlich jünger als Buntkupferkies. Der Kupferglanz ist stets als pseudomorphe Verdrängung von Buntkupferkies entwickelt, ohne daß er die ihn umgebenden Karbonate irgend beeinflußt hätte. Hinsichtlich der Kupferglanzführung in den Erzlinealen läßt sich kein Zusammenhang mit den sekundären durchgreifenden Rissen, Spalten und Gängen feststellen. Von letzteren aus hat sich vielmehr stets Kupferkies gebildet, der sowohl Buntkupferkies wie Kupferglanz verdrängt. Von anderen Erzen fanden sich häufiger Zinkblende, selten Bleiglanz und ganz selten Fahlerz. Pyrit ist nicht beobachtet. Sie alle sind mit Buntkupferkies verwachsen, so daß man für sie gleichzeitige Entstehung annehmen muß.

Außerdem finden sich im Gestein durchgreifende Gängchen und Trümchen, die stets Kupferkies und keine Gangarten enthalten. Ebenso fehlen Verdrängungsreste. Umwandlungserscheinungen zeigen sich nur dort, wo diese Gängchen Buntkupferkies- und Kupferglanzlinsen durchsetzen: die Linsen sind auf beiden Seiten der Gängchen 1—2 mm weit ganz oder teilweise in Kupferkies umgewandelt. Die Karbonateinschlüsse der Erze in den Linsen werden dabei aufgezehrt, was darauf schließen läßt, daß diese Kupferkiesgängchen sich wohl aus sauren Lösungen gebildet haben.

Das Eigenartigste, was bei der Anwendung dieser neuen mikroskopischen Methode resultierte, ist Folgendes. Überall im Kupferschiefer treten in unzähligen Exemplaren ganz kleine Erzanhäufungen von charakteristischer Struktur auf. SCHNEIDERHÖHN hat deren 10000—30000 Stück im Kubikmillimeter gezählt. Sie finden sich frei im Gestein meist zwischen den bituminösen Schichten, ein kleiner Teil von anderer Struktur zeigt sich in den Erzlinsen. Es lassen

sich vier Gruppen dieser Gebilde unterscheiden: 1. Kugel- und stäbchenförmige Gebilde von 4—8 μ Durchmesser und bis 20 μ Länge; sie bestehen aus Kupferkies. 2. Kugelförmige, elliptische und eingeschnürte Formen von derselben Größe wie 1.; sie zeigen keine Struktur und bestehen aus Buntkupferkies oder Kupferglanz. 3. Gebilde bis zu 15 μ Durchmesser von meist kugeliger Gestalt, die innen meist aus Buntkupferkies oder Kupferglanz bestehen, aber am Rande mit wenigen Punkten Kupferkies besetzt sind. 4. Kleinste, eben noch zu erkennende Pünktchen von Kupferkies, die die bituminöse Substanz in großer Menge durchstäuben. Die länglichen Formen sind den bituminösen Schiefern stets konkordant eingelagert, die kugeligen Formen werden gewissermaßen von der bituminösen Substanz umflossen. Was diese Gebilde in Wahrheit darstellen, sei weiter unten besprochen. —

Hinsichtlich der Entstehung ist dazu folgendes zu bemerken.

Die Quarzkörnchen in den erzfreien Zonen des Kupferschiefers sind detritogene Komponenten, die ebenso wie die zahlreichen nicht vererzten Organismenüberreste, die anscheinend aus Phosphorit bestehen, aus dem Kupferschiefermeer sedimentiert sind. Die bituminösen Substanzen gehören zu den „Kleinorganismen des Planktons" (POMPECKJ). Die Ausscheidung der festen Karbonate, vor allem $CaCO_3$, hat unter dem Einfluß dieser planktonischen Lebewelt stattgefunden, freilich haben dabei H_2S, $(NH_4)_2CO_3$, NH_4OH usw., also Stoffe, die der Fäulnis ihre Entstehung verdanken, mitgewirkt. $CaCO_3$ hat sich in Linsen, Flasern, Bändern und Konkretionen zwischen den Sapropellagen abgeschieden.

Die Erze selbst haben sich durch die Mitwirkung des offenbar reichlich vorhandenen H_2S abgesetzt. Die Sulfide, vor allem das Buntkupfererz, gehören derselben Bildungsphase an wie der Kalkspat und die anderen rhomboedrischen Karbonate; das zeigt ihre gegenseitige Verwachsungsstruktur sehr deutlich. Buntkupferkies ist somit primär und nicht durch Verdrängung von Kalkspat gebildet. Er ist entstanden durch Einwirkung von H_2S auf die im Meereswasser gelöst gewesenen Kupfer- und Eisensalze. Die merkwürdige Paragenese von Buntkupferkies und Eisenspat sieht SCHNEIDERHÖHN als die Ursache dafür an, daß Pyrit so gut wie völlig fehlt. Ihre Entstehung ist zweifellos auf das Vorhandensein von CO_2, H_2S, $FeSO_4$ und $CuSO_4$ zurückzuführen; $FeCO_3$ wird sich dabei bei einer gewissen CO_2-Konzentration ausgeschieden haben.

Kupferglanz hingegen ist entschieden jünger als Buntkupferkies und hat diesen offenbar durch Einwirkung alkalischer Lösungen verdrängt. Die Kupferglanzbildung ist eine Zementation, aber nicht von deszendenter Art, vielmehr eine Art Autozementation. Die Lösungen nämlich, die zuerst Buntkupferkies ausschieden, haben mit diesem reagiert und kupferreichere Sulfide, vor allem Kupferglanz gebildet.

Das alles spricht durchaus nicht dafür, daß eine deszendente Zementation erst sekundär die im Kupferschiefer befindlichen Reichsulfide gebildet habe und daß der ursprüngliche Erzgehalt des Schiefers fast völlig umgelagert sei. Für das Haupterz, den Buntkupferkies, ist das entschieden zu verneinen.

Nun die zahllosen mikroskopisch kleinen Erzanhäufungen. SCHNEIDERHÖHN schließt sich hier der von POMPECKJ und B. DOSS verfochtenen Meinung an, daß im Kupferschiefermeer desulfierende Bakterien und Schwefelbakterien selbstverständlich vorhanden gewesen sind. Er sowohl wie der Frankfurter Paläobotaniker KRÄUSEL betonen nachdrücklich, daß diese rundlichen punktierten Gebilde fossile Schwefelbakterien sind, die in ihrem noch erkennbaren Habitus mit den am häufigsten rezent beobachteten Formen (Monas, Thiophysa, Beggiatoa, Thiotrix) übereinstimmen. Die oben unter 2. gestellten Formen lassen sich nicht so leicht mit rezenten Formen vergleichen, es ist aber durchaus möglich, daß sie den rezenten, H_2S erzeugenden, anäroben desulfurierenden Bakterien (Vibrio, Microspira, Bacterium) zuzurechnen sind.

Die desulfurierenden Bakterien und die Fäulnisbakterien erzeugen Schwefelwasserstoff, der von den eigentlichen Schwefelbakterien verbraucht wird. Sind nun im Meereswasser Schwermetalle gelöst, so verbindet sich der bakteriell entstehende H_2S mit den Schwermetallen zu unlöslichen Sulfiden. Ferner ist die Abscheidung von Kalk innerhalb dieses Kreislaufs wichtig. In der Zone der Schwefelbakterien werden freilich die im Meerwasser gelösten Bikarbonate durch die bakteriell entstehende Schwefelsäure in Sulfate verwandelt. Im Faulschlamm aber wird $CaSO_4$ durch die desulfurierenden Bakterien wieder zurückverwandelt; es entsteht dabei einerseits H_2S, zum andern scheiden gewisse Bakterienarten (z. B. Bact. calcis) neben H_2S und NH_3 auch $CaCO_3$ in festem Zustand aus. SCHNEIDERHÖHN faßt diese ganzen Prozesse folgendermaßen zusammen: „Die kombinierten organischen und anorganischen Reaktionen am Grund eines Kupferschiefermeeres, in dem wir einen gewissen Cu- und Fe-Gehalt annehmen, würden unter der absoluten Herrschaft desulfurierender Bakterien ergeben: Abscheidung von H_2S, der sofort zum größten Teil zur Ausfällung von Cu- und Fe-Sulfidgelen verbraucht wird, zum andern Teil nach oben diffundieren kann; weiterhin Abscheidung von Kalkspat bezw. Dolomit oder Eisenspat."

Nur eine Frage erhebt sich hier: Ist bei einer solchen Annahme einer Cu- und Fe-reichen Bodenschicht oder eines gleichmäßig verteilten Metallgehaltes im Kupferschiefermeer bakterielles Leben überhaupt möglich? Salze der Metalle, vor allem des Kupfers, sind doch starke Bakteriengifte!

Man hat in dieser Hinsicht Versuche mit Bact. coli angestellt, das man mit und ohne Zusatz von $CuSO_4$ zum Nährboden züchtete.

Giftwirkungen zeigten sich bei einer Konzentration von 1 : 10000 und höher, das Wachstum wurde gehemmt. Bei geringeren Konzentrationen nahm das Wachstum rasch zu, bei noch weiteren Verdünnungen nahm das Wachstum wieder ab bis zu einem Grenzwert, der dem Wachstum ohne $CuSO_4$-Zusatz entsprach. SCHNEIDERHÖHN gibt in Anlehnung an BENECKE folgende Tabelle des Wachstums:

Gewichtsteile Nährboden auf ein Teil $CuSO_4$	Anzahl der Kolonien von Bact. coli
10000	0
30000	2000
100000	7550
10000000	4000
100000000	3000
∞	3000

Daraus folgt, daß Konzentrationen zwischen 1 : 60000 und 1 : 50000000 einen erhöhten Wachstumsreiz ausüben; das Optimum liegt bei etwa 1 : 100000. Ähnliche Werte sind für viele andere Bakterien nachgewiesen. Es fragt sich nur, wie hoch der Cu-Gehalt des Kupferschiefermeeres anzunehmen ist. Der Kupfergehalt des Flözes, des älteren Steinsalzes und des Salztones sind bekannt. ERDMANN hat daraus berechnet, daß „siebenmal der Kupfergehalt desjenigen Meerwassers, welches später das ältere Steinsalz zur Ausscheidung brachte, nach Ausscheidung als Sulfid sich zu ersetzen brauchte, um das nötige Kupfer zum Kupferschieferflöz zu liefern". BILTZ und MARCUS haben berechnet: 0,5 mg Cu/kg im älteren Steinsalz und 5—13 mg Cu/kg im Salzton. Das entspricht 17 mg Cu/cbm Meerwasser, was einer Konzentration von 1 : 20000000 gleich ist. Es ist nun einerlei, ob man diese Konzentration siebenmal hintereinander oder gleich ihr Siebenfaches 1 : 3000000 annimmt — man kann jedenfalls damit den ganzen Kupferinhalt des Kupferschiefers aus dem Kupfergehalt des Zechsteinmeeres ableiten. Konzentrationen von 1 : 3000000 oder 1 : 20000000 aber liegen gerade innerhalb der Werte (1 : 100000 und 1 : 10000000), bei denen die Kupfersalze auf die Bakterientätigkeit den günstigsten Einfluß haben. Die Kupferkonzentration, die man aus geologischen Gründen fordern muß, hat also auf die Tätigkeit der Bakterien besonders günstig eingewirkt.

Ich fasse SCHNEIDERHÖHNs Ergebnisse kurz zusammen:

Aus dem Bild der Anschliffe folgt: 1. Der Kupferglanz ist etwas jünger als Buntkupfererz. Kupferglanz ist aus letzterem durch zementative Verdrängung entstanden. 2. Das Buntkupfererz ist primär; das beweist das Fehlen jeglicher Verdrängungsreste älterer Sulfide im Buntkupfererz, seine gleichzeitige Entstehung mit Karbonaten und das Fehlen der Zementationsmetasomatose. 3. Der Kupferkies der