

Der mitteldeutsche Kupferschiefer als Sediment und Lagerstätte.

Von Professor Dr. Richard Lang, Halle a. S.¹⁾

	Seite
Einleitung	2
Erster Teil. Verbreitung, Gliederung und Zusammensetzung des mitteldeutschen Kupferschiefers	4
Zweiter Teil. Die Erzbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers in der Lagerstättenlehre	16
I. Primäre Erzbildung im mitteldeutschen Kupferschiefer	17
1. Der Kupferschiefer als syngenetische Lagerstätte	17
2. Der Kupferschiefer als epigenetische Lagerstätte	18
3. Der Kupferschiefer als syngenetische Lagerstätte mit akzessorischer Erzeinwanderung	27
II. Die sekundären Veränderungen in der Erzführung des mitteldeutschen Kupferschiefers	33
1. Gliederung der sekundären Veränderungen	33
2. Die sekundären Veränderungen in der Literatur	37
a) Lösungsfähigkeit zirkulierender Wässer auf Kupfererze S. 37. — b) Horizontale Veränderungen bei gleicher Tiefe S. 37. — c) Vertikale Veränderungen bei gleicher Tiefe S. 40. — d) Veränderungen der Erzmengen bei wechselnder relativer Tiefe S. 41. — e) Umbildungen zu Reichsulfiden S. 44. — f) Erzgehalt in seiner Gesamtheit S. 46.	
Dritter Teil. Die Entstehung und Umbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers im Lichte der chemischen und physikalischen Geologie	49
I. Lokale Bildung und Umbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers	49
A. Lokale Bildungsverhältnisse im mitteldeutschen Kupferschiefer	49
B. Die Umbildung im mitteldeutschen Kupferschiefer	49
1. Die hypohalinische Zone	49
a) Sekundäre Lateralsekretion im Gefolge der kretazischen und tertiären Gebirgsbildung S. 50. — b) Sammelkristallisation oder Kornvergrößerung S. 55 — c) Bildung der Reichsulfide S. 58.	
2. Epihalische Zone	61
3. Zementations-, Oxydations- und Detritationszone	62
II. Die Sedimentation des Kupferschiefers in Mitteldeutschland	64
A. Die die Bildung des Kupferschiefers vorbereitenden geologischen Ereignisse	65
1. Das Varistische Gebirge	65
2. Oberkarbon und Rotliegendes in Mitteldeutschland	66
3. Die Ausebnung Mitteldeutschlands am Ende der Rotliegendzeit	67
4. Klima und Abtragung zur Rotliegendzeit	68
B. Die Kupferschieferzeit und ihre Sedimente	70
1. Die Transgression des Kupferschiefermeeres und seine Bewohner	70
2. Klimaänderung und mechanische Sedimentation	72
3. Das Vindelizische Land zur Kupferschieferzeit	73
4. Die chemische Sedimentation	74
a) Der Ursprungsort der Erze S. 74. — b) Die Zusammensetzung des Meerwassers S. 77. — c) Die Fällung der Karbonate S. 78. — d) Der Bitumengehalt S. 79. — e) Der Schwefelwasserstoffgehalt und die Schichtung und Tiefe des Meeres S. 81. — f) Die Fällung der Erze S. 85.	
5. Erzgehalt, Mächtigkeit und Wert des abgebauten Kupferschiefers in Mitteldeutschland	92
Zusammenfassung der Ergebnisse	98
Literaturverzeichnis	101

1) Der am 13. November 1920 auf der Jahresversammlung in Halle gehaltene Vortrag gelangt hier in erweiterter Ausarbeitung zur Veröffentlichung. Der Herausgeber.

Einleitung.

Der Kupferschieferbergbau Mitteldeutschlands ist viele hundert Jahre alt. Bei Mansfeld und Eisleben wird er seit über 700 Jahren betrieben, reicht aber in seinen Uranfängen wohl in weit ältere Zeiten zurück. Auch vom Harzrand, vom Kyffhäuser, vom Thüringer Wald und von manchen anderen Stellen Mitteldeutschlands meldet die Geschichte von einem ehemaligen, zum Teil blühenden Bergbau, und gewaltige Halden entlang dem Ausgehenden des Kupferschiefergebirges bilden an zahllosen Stellen Mitteldeutschlands die stummen Zeugen regen einstigen Bergwerkbetriebs auch da, wo die Überlieferung nichts zu melden weiß.

Von diesem weitgedehnten alten Bergbau auf Kupferschiefer ist nur derjenige der Mansfeld'schen Kupferschieferbauenden Gewerkschaft übrig geblieben, die in gewaltigem Betrieb mit 1913—19 durchschnittlich ca. 14000 Bergleuten die Arbeiterzahl des gesamten deutschen Eisenerzbergbaues mit ca. 21000 bis zu ungefähr zwei Drittel erreichte.

Man sollte annehmen, daß die für das deutsche Nationalvermögen und die ganze heimische Wirtschaft überaus wertvollen Schichten des Kupferschiefers aufs genaueste bekannt, aufs eindringendste wissenschaftlich erforscht und auf ihren praktischen Wert geprüft seien.

In der Tat bestand vor etwa 100 bis 120 Jahren regstes praktisches und wissenschaftliches Interesse für diese Schichten, und schon damals wurde erkannt, daß erst die geistige Durchdringung des Problems der Bildung der Erzführung dieser Schichten ihre volle Ausbeutung ermögliche. Den Höhepunkt der wissenschaftlichen Entwicklung der Kenntnis des Kupferschiefergebirges bildete Freiesleben umfassendes, klassisches vierbändiges Werk über diesen Gegenstand, das in den Jahren 1807—1815 erschienen ist, und auf dem alle späteren Autoren aufbauen.

Freiesleben und seine Zeitgenossen haben noch einen regen Kupferschieferbergbau an zahlreichen Orten Mitteldeutschlands aus eigener Anschauung gekannt und daher einen Überblick über diese Bildungen gehabt, die kein Forscher nach ihnen mehr erreichen konnte. Denn seit diesen Zeiten hat sich der Kupferschieferbergbau immer mehr auf das Mansfeld-Eisleber Gebiet beschränkt, und heute kann der Geolog nur aus diesem relativ eng begrenzten Bezirk Erfahrungen sammeln oder er muß sich, wenn er umfassendere Studien betreiben will, auf die Nachrichten beschränken, die die alten Forscher uns überliefert haben.

Eigene Beobachtungen über weitere Gebiete außerhalb des engen Mansfelder Bezirkes anzustellen, ist heute unmöglich, da der Erzgehalt des Kupferschiefers am Ausgehenden mehr oder weniger vollständig ausgelaugt ist, und die alten in die Tiefe gehenden Baue von Grundwasser erfüllt sind.

Durch den Niedergang des Kupferschieferbergbaues oder wenigstens seine Beschränkung auf engen Raum sind manche Erkenntnisse der alten Forscher, eines Lasius, Voigt, Freiesleben u. a., verloren gegangen, und andere mit Theorien über die Genesis der Lagerstätten verquickte Auffassungen sind an deren Stelle getreten. Insbesondere die Meinung, daß die Erze des Kupferschiefers epigenetische Bildungen, durch auf Spalten aufgedrungene Metallösungen entstanden seien, und die Ansicht, daß die Erze, die heute im Kupferschiefer ihre Lagerstätte haben, aus den Quarzporphyren oder vom Harzgebirge herkommen, das zur Zechsteinzeit ein aufragendes Gebirge gewesen sei, haben eine für die Klärung der Erkenntnisse und damit schließlich auch wohl für die ganze Entwicklung des Kupferschieferbergbaues verhängnisvolle Rolle gespielt.

So war schon durch diese eben angedeuteten Auffassungen, die sich bei näherer Betrachtung als irrtümlich erweisen, die Möglichkeit einer Neubearbeitung der Frage der Bildung des mitteldeutschen Kupferschiefers und seiner Erze gegeben.

Auch war es an sich nicht wahrscheinlich, daß die weitverbreitete Annahme richtig sei, daß nur im Gebiet der Mansfelder Mulde genügende Erzmengen vorhanden seien, allen anderen Kupferschieferbezirken aber nur in minderem Maße zukämen. Es war nicht einzusehen, weshalb nicht an anderen Stellen, insbesondere an solchen, die, durch jüngere Schichten verdeckt, bisher unbeachtet geblieben sind, dieselben Erzmengen oder vielleicht sogar größere zu erwarten sein sollten.

Durch den Niedergang der Valuta und den schlimmen Ausgang des Krieges gewannen diese Fragen eine erhebliche praktische Bedeutung. Infolge der Notwendigkeit, möglichst im eigenen Lande alle Rohstoffe zu suchen und zu verwerten, deren die deutsche Wirtschaft bedarf, um die wirtschaftliche Abhängigkeit vom Ausland nach Möglichkeit zu vermindern und die eigene Produktionskraft zu steigern, lenkte sich das Interesse erneut den Schätzen an wertvollen Metallen zu, die wir auf deutschem Boden besitzen. Man mußte mit der Möglichkeit rechnen, daß alte längst verlassene Stellen des Bergbaues wieder mit Erfolg neu aufgeschlossen werden könnten. Inwieweit die Annahme einer weiteren Verbreitung reicher Kupferschieferlager in Mitteldeutschland berechtigt und damit die eventuelle Erweiterung des Kupferschieferbergbaues — unter Voraussetzung gleich günstiger Verhältnisse, wie sie heute im Kupferschieferbergbau bestehen — möglich ist, soll die vorliegende Abhandlung darlegen.

Daß die Frage der richtigen geologischen Erklärung einer Lagerstätte für die Beurteilung des Werts und damit für ihre praktische Ausbeutungsmöglichkeit von größter Wichtigkeit und möglicherweise von ausschlaggebender Bedeutung ist, braucht kaum betont zu werden. Je nach der Bildungsart einer Lagerstätte kann man mit langem Aushalten des Erzes und mit großer Gleichartigkeit der Ablagerung rechnen, oder man muß auf stets neue Gestaltung, auf einen fortwährenden Wechsel des Erzgehaltes nach Menge und Art oder gar auf ein Vertauben der Lagerstätte gefaßt sein.

Da das Ausgehende des Kupferschiefers und die zunächst der Oberfläche liegenden Schichten, wie schon erwähnt, für direkte Untersuchungen ungeeignet sind, weil Kupfer und Silber ausgelaugt oder mindestens umgelagert und durch Oxydation verändert sind, somit kein Abbild der in der Tiefe vorhandenen Verhältnisse liefern, so mußte auf direkte Untersuchungen zumeist verzichtet werden. Die Arbeit mußte sich daher vielfach auf die zahlreichen, oft eingehenden und sehr sorgfältigen Berichte beschränken, wobei jedoch eine Prüfung auf ihre Richtigkeit bzw. die Objektivität der Darstellung in erster Linie zu erfolgen hatte.

Durch die Bearbeitung der umfangreichen Literatur und zahlreicher Handschriften ließ sich aber ein überraschend klares und in vielen Punkten von dem bisherigen abweichendes Bild von dem Werdegang und den nachträglichen Veränderungen der Erzlagerstätte des Kupferschiefers gewinnen. Hieraus ließ sich nicht nur der Erzgehalt, welcher erst in der Tiefe konstanter wird, und die Mächtigkeit der Schichten klar festlegen, sondern auch die Verbreitung und Veränderung des Erzgehaltes über die verschiedenen Gebiete Mitteldeutschlands erkennen.

Es ist auffällig, daß das in dieser Schrift zu zeichnende Bild viel besser mit dem übereinstimmt, das die Forscher vor 100 bis 150 Jahren von dem Kupferschiefer und seiner Erzführung geschaffen hatten, als mit demjenigen, das man heute gemeinhin von dieser Lagerstätte aus der Literatur zu erhalten pflegt. Offenbar war in früheren Zeiten das Bild viel richtiger dargestellt worden als hernach, weil man damals, ohne durch Hypothesen voreingenommen zu sein, sich scharf an die Befunde hielt, die die Beobachtung an Ort und Stelle ergab. Erst jetzt, nach eingehendster Erforschung und Zusammenfassung aller geologischen und petrographischen Befunde auf moderner Grundlage, kommt man viel-

fach wieder auf die alten Auffassungen zurück, und man gelangt zu dem Resultat, daß die Alten vorurteilslos oft viel klarer geschaut, als mancher Forscher der späteren Zeit, der mit dem Bleigewicht der Theorie belastet war.

Die nachstehenden Ausführungen sind in drei Teile gegliedert. Der eine befaßt sich mit der Verbreitung, Gliederung und Zusammensetzung des mitteldeutschen Kupferschiefers, der zweite mit der Deutung der Erzbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers in der Lagerstättenlehre, der dritte mit der Entstehung und Umbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers im Lichte der chemischen und physikalischen Geologie.

Während in Teil I und II hauptsächlich die beobachteten Verhältnisse und die Anschauungen der Lagerstättenforscher über den Kupferschiefer und seine Erze, ihre Bildung und Umbildung, behandelt sind, wird im III. Teil auf die Erscheinungen der Bildung und Umbildung des Kupferschiefers vom Standpunkt der chemischen und physikalischen Geologie und von der umfassenden Warte der Paläogeographie eingegangen. Im einzelnen unterrichtet das am Anfang der Arbeit stehende Inhaltsverzeichnis über den Aufbau der Schrift.

Im III. Teil wird eingehend besprochen, wie, vor allem in vertikaler Richtung, das Erz im Kupferschiefer sich seit seiner Entstehung unter verschiedenen Bedingungen, insbesondere in verschiedenen Tiefen unter der Erdoberfläche verändert hat, und wie die geologische Entstehung des Kupferschiefers, die Herkunft und Beschaffenheit der Minerallösungen, ihre Ausscheidungsart und Ausscheidungsfolge im Zechsteinmeer und die Verteilung über die weiten Flächen erfolgt ist, die der Kupferschiefer bedeckt. Es wird hierbei vor allem die horizontale Verbreitung berücksichtigt.

Erst hieraus läßt sich schließlich ein exakter Schluß auf die heutige Verteilung der Kupfer- und Silbererze in den verschiedenen Kupferschiefer in ihrem Untergrunde bergenden Gebieten Mitteldeutschlands ziehen, der ein ganz überraschend günstiges Ergebnis liefert.

Bisher hatte man meist nur die Vertikalentwicklung des Erzes beurteilt und zwar im allgemeinen nur, soweit sich das im Bereich desselben Grubenkomplexes ermöglichen ließ. Die horizontale Verbreitung der Erze des Kupferschiefers über weite Länderflächen hat man bisher allgemein zu wenig verfolgt, in früheren Zeiten, weil die geologische Wissenschaft noch keine genügende Entwicklung erreicht hatte, in jüngerer Zeit insbesondere, weil unter der Voraussetzung epigenetischer Bildungsweise eine vergleichende Untersuchung kaum Interesse bot.

Es hat sich jedoch ergeben, daß gerade die regional vergleichende Untersuchung des Kupferschiefers und seiner Erze die wertvollsten Aufschlüsse über die Verbreitung der Erzgehalte in den verschiedenen Gebieten Mitteldeutschlands ergab.

Erster Teil.

Verbreitung, Gliederung und Zusammensetzung des mitteldeutschen Kupferschiefers.

Blickt man auf die Kartenbilder, die uns den geologischen Aufbau Mitteldeutschlands vermitteln, so erkennt man den Kupferschiefer als feines dünnes Band, das die älteren deutschen Mittelgebirge in schmalen Saum umzieht. Trotz ihrer bescheidenen, kaum nach Metern zu messenden Mächtigkeit zeigt aber diese schwache Schicht eine ganz überraschend weite Verbreitung.

Der Kupferschiefer umzieht den Harz in einer feinen Linie, die höchstens da unterbrochen ist, wo der Kupferschiefer, wie z. T. am Nordrand des Gebirges, durch tektonische Störungen in die Tiefe abgesunken ist. Nur auf Blatt Lauterberg und Gieboldehausen fehlt er lokal auf einige Kilometer Erstreckung, während er zwischendurch wieder nachgewiesen ist. Auf Blatt Osterode sind Mächtigkeitsschwankungen zu beobachten, jedoch nirgends ein völliges Verschwinden. Sonst ist er überall im Bereich des Harzes als sehr gleichartig bleibendes Sediment nachgewiesen.

Östlich umschließt der Kupferschiefer die ausgedehnten Porphyrgelände von Halle und verschwindet in nach Norden umbiegender Schleife unter jungen Sedimenten. In nordwestlicher Richtung taucht er wieder bei Magdeburg und im Flechtinger Höhenzug auf.

Südlich des Harzes lagert sich Kupferschiefer rings um den Kyffhäuser, verschwindet jedoch infolge tektonischer Verlagerung auf der Nordseite zum Teil und reicht beim Ratsfeld weit aufs Gebirge hinauf.

Auch der Thüringer Wald wird von Kupferschiefer umsäumt, wo er gleichfalls zum Teil infolge von Verwerfungen verschwindet. Nur im Bereich des Blattes Schmalkalden ist ein ganz lokales Fehlen des Kupferschiefers bzw. seiner Äquivalente beobachtet. So hat sich, wie Bücking berichtet, in einem Fall der Kupferschiefer um die Klippe eines in das Zechsteinmeer aufragenden Granitporphyrganges regelmäßig angelagert. Im Thüringer Wald sind verschiedentlich letzte Reste von Zechstein, mehr oder weniger tektonisch verlagert, auf den Höhen des Gebirges nachgewiesen worden, so insbesondere auf den Blättern Suhl und Crawinkel-Oberhof, sowie bei Scheibe im südöstlichen Thüringer Wald. Diese Reste bezeugen einwandfrei, daß der Thüringer Wald zur Zechsteinzeit als solcher nicht existiert hat und vom Zechsteinmeer überflutet war.

Auch vom Kyffhäuser kann man auf Grund des Hinaufreichens des Kupferschiefers bis auf die höchsten Teile des Gebirges dessen einstige Überflutung annehmen, bzw. die außerordentlich viel jüngere Entwicklung dieser Erhebung, die frühestens nach dem Abschluß der Jurazeit eingesetzt haben mag.

Schon in Analogie zu den eben gemachten Angaben kann man dasselbe für den Harz annehmen. Auch hier hat zur Kupferschieferzeit das Meer das Gebiet weithin überflutet. Darauf weisen die nördlich und südlich des Harzes gleichartig ausgebildeten Schichten des übrigen Zechsteins, besonders aber die auffallend gleichmäßige Entwicklung der Triasschichten hin, die bei Zwischenlagerung eines Festlandes oder einer der Größe des Harzes entsprechenden Insel keinesfalls zu beiden Seiten so gleichartige Gesteine hätten liefern können, sondern zweifellos einen Fazieswechsel hätten aufweisen müssen. Schließlich ist für die eben angeschnittene Frage von Bedeutung, daß selbst für die mittlere und einen Teil der oberen Kreidezeit Schröder das Fehlen einer dem Harz entsprechenden Erhebung nachgewiesen hat.

Zwischen diesen eben genannten Gebieten und weit nach Westen erstreckt sich, meist unter Bedeckung durch Triasschichten, der Kupferschiefer in Thüringen, wie durch an zahlreichen Orten niedergebrachte Bohrungen nachgewiesen ist. Man möchte versucht sein anzunehmen, die Tiefe, in der der Kupferschiefer unter dem Salzgebirge erreicht werde, sei so beträchtlich, daß sie im allgemeinen für praktische Ausbeutung des Kupferschiefers nicht mehr in Frage komme. Dem ist entgegenzuhalten, daß der Durchschnitt der auf der Karte eingetragenen und aller weiteren bekannt gewordenen Bohrungen 484 m Tiefe ergibt, und daß nur zwei Bohrungen Tiefen von über 900 m erreicht haben.

Wohl kommen Verschwächungen des Flözes und ganz vereinzelt auch Auskeilungen inmitten der gewaltigen Kupferschieferplatte vor. Es ist aber keine Stelle innerhalb des genannten Gebietes bekannt geworden, die auf einen größeren

Landkomplex innerhalb des einstigen Kupferschiefermeeres hindeutete. Es handelt sich vielmehr nur um verstreute kleine Inseln, die bis zu einigen Kilometern Ausdehnung besessen haben mögen, vielleicht aber zum Teil oder ausschließlich überhaupt nur um Untiefen, auf denen die Sedimentation in dem seichten Meere vermindert war oder durch Wegwaschung immer wieder gestört wurde, oder aber um andere fazielle Ausbildung, insbesondere in Form von organogenen Riffkalken, die den Mergelschiefer des Kupferschiefers vertreten, und durch deren Entwicklung der Absatz des Kupferschiefers selbst verhindert wurde.

Die Küstengebiete des alten Kupferschiefermeeres lassen sich mit ziemlicher Sicherheit feststellen. Sie sind auf der der Arbeit beigegebenen Übersichtskarte (Tafel I) dargestellt.

Im Westen reichen die Ablagerungen bis zum Rheinischen Schiefergebirge, im Südwesten bis zum Spessart.

Die südöstliche Grenze aber läuft quer durch Mitteldeutschland. Sie läßt sich hier vom südöstlichen Teil des Thüringer Waldes aus Richtung Coburg über die Gegend von Saalfeld und Gera und weiter gegen Borna zu in nordöstlicher Richtung verfolgen und zum Teil genau festlegen. Die einstige Küste hat sich also entlang dem Nordwestrand des sächsischen Mittelgebirges hingezogen und das Kupferschiefermeer hat somit das Erzgebirge nie erreicht.

Hier vom Frankenwald, Vogtland und Granulitgebirge an und weit nach Südosten über die böhmische Masse (Vindelizisches Gebirge!) hin hat sich daher zur Kupferschieferzeit Land erstreckt. In den Gebieten, in denen der Kupferschiefer verschwindet, wird das ältere Gebirge direkt von Mittlerem oder Oberem Zechstein überlagert, so weithin in Sachsen. Letztere transgredieren also über den Unteren Zechstein, wie dies fast allgemein beobachtet ist. Der ältere Zechstein hat eine kleinere Fläche überdeckt als die höheren Schichten.

Die Mächtigkeit des Kupferschiefers in Mitteldeutschland ist, wie schon eingangs erwähnt wurde, weithin sehr gleichartig. Bei Mansfeld und Eisleben beträgt sie ca. 60 cm. Sie dürfte einen Meter innerhalb des hier betrachteten Gebiets kaum überschreiten. Wo größere Mächtigkeiten angegeben werden, handelt es sich, abgesehen von ungenauen Messungen, wohl immer um eine Faziesänderung der über dem Kupferschiefer liegenden Schichten, die dann von dem eigentlichen Kupferschiefer nicht mehr mit Sicherheit getrennt werden können. Die Mächtigkeit von 11 Metern, die — allerdings schon weit außerhalb unseres Gebietes, in Lippe — von Krusch angegeben worden ist, ist jedenfalls darauf zurückzuführen.

Auch die Gesteinsbeschaffenheit des Kupferschiefers ist in Mitteldeutschland weithin außerordentlich gleichartig.

Im allgemeinen besteht er aus einem bituminösen und daher dunkel bis schwarz gefärbten Mergelschiefer. Schon durch seine dunkle Farbe fällt er zwischen den über und unter ihm liegenden Gesteinen auf. Am Ausgehenden aber zeichnet er sich häufig auch durch seine grünen Malachitanflüge aus, durch die sich sein Kupfergehalt verrät. In der Tiefe läßt er sulfidische Ausscheidungen von Kupfererzen erkennen. Diese Kupfererze können in Form von größeren Ausscheidungen oder in feinsten Verteilung auftreten.

Die in größeren derben Partien vorkommenden Erze sind besonders solche von Buntkupfererz und Kupferglanz, die in Form feiner, gern parallel zur Schichtung verlaufender Schnüre, aber auch als Anflüge auf Verwerfungs- und Klufflächen, den sogenannten „Rücken“, auftreten. Aber auch Kupferkies und metallisches Silber findet sich hier nicht selten. Besonders in den oberen Lagen des Kupferschiefers findet man Körner und Bohnen oder Nieren von Erz,

die vom Bergmann sogenannten „Hieken“. Diese derb vorkommenden Erze lenken zwar vor allem das Auge auf sich, treten aber doch im Verhältnis zur Gesamtmenge der Erze zurück.

Der in feinsten Verteilung im Kupferschieferflöz auftretende Erzgehalt wird vom Bergmann als „Speise“ bezeichnet. Sie macht die Hauptmasse des Erzes aus. Die einzelnen Erzteilchen sind so außerordentlich klein, daß sie mit unbewaffnetem Auge nicht erkannt werden können. Jedoch verursachen sie im hellen Licht einen Metallschimmer auf den angebrochenen Flächen. Dieser charakteristische Schimmer hat, wie Schrader angibt, „entweder eine goldgelbe Farbe und deutet auf vorherrschenden Kupferkies, oder eine violblaue und kupferrote (bunte) Farbe und deutet dann auf vorherrschendes Buntkupfererz; er wird auch, jedoch seltener, dunkel stahlblau (von Kupferglanz), auch mitunter graugelb (von vorherrschendem Eisenkies), auch endlich zuweilen bleigrau (von Bleiglanz).“ Zu den genannten Erzen treten noch Kobalt-, Nickel-, Zink-, Silber-, Molybdän- und Selenverbindungen. Ja selbst Vanadium, Uran und Gold ist im Kupferschiefer nachgewiesen.

Als Mergelschiefer hat das Gestein einen gewissen Karbonatgehalt. Und zwar ist es in der Hauptsache kohlenaurer Kalk, dem Magnesiumkarbonat untergeordnet beigemischt ist. Der Karbonatgehalt schwankt zwischen ca. 15 und 50 %.

Auch der Bitumengehalt bzw. der Gehalt an organischer, kohligter Substanz ist sehr hoch und erreicht im bergfrischen Gestein bis zu 10 und 20 %. Daher brennt das Gestein, wenn es erst entzündet ist, von selbst weiter, eine Erscheinung, die früher für die Verhüttung von großer Bedeutung war. Das Gestein ist daher auch als Ölschiefer oder Brandschiefer zu bezeichnen.

Der Karbonatgehalt einerseits und der Metallgehalt bzw. Bitumengehalt andererseits stehen in einem ziemlich genauen Verhältnis zueinander. Und zwar ist der Metallgehalt um so größer, der Karbonatgehalt um so kleiner, je höher der Bitumengehalt ist. Mit abnehmendem Bitumengehalt nimmt auch der Metallgehalt ab, während der Kalkgehalt steigt. Da nun der Bitumengehalt in der tiefsten Lage, die zugleich auch die feinstkörnige ist, am stärksten ist, so ist auch der Metallgehalt darin am höchsten und der Karbonatgehalt am niedrigsten. Letzterer nimmt im allgemeinen in den höheren Lagen zu, erstere ab. Jedoch ist die Zunahme des Karbonatgehaltes keine völlig gleichmäßige. Daß in der Verteilung des Kupfer- und Silbergehaltes bei allem Wechsel im einzelnen im großen Ganzen eine gewisse Konstanz in den einzelnen Lagen vorhanden ist, zeigt die graphische Darstellung der Erzgehalte auf der 4. Tiefbausohe bei Eisleben auf Tafel II am Schluß der Abhandlung.

Entsprechend der Bedeutung der Lagerstätte ist der Kupferschiefer trotz seiner geringen Mächtigkeit vom Bergmann von alters her in einzelne Horizonte gegliedert worden.

Unter dem mehrere Meter mächtigen Zechsteinkalk, dem „eigentlichen Zechstein“ der älteren Autoren, liegt die Fäule, ein 75 cm bis 1,3 m mächtiger dünnplattiger Kalk. Darunter liegt das Dach oder der Dachklotz mit 15 bis 35 cm Mächtigkeit. Dann folgen die vor allem abgebauten Schichten, die in den verschiedenen Bergbaugebieten folgendermaßen bezeichnet werden:

Bei Eisleben:	Dachberge oder Graue Berge	}	13 — 18 cm
	Noberge oder Schwarze Berge			
	Oberer und Unterer Schieferkopf	.	.	6,5 — 10,5 „
	Kammschale	.	.	2,5 — 4 „
	Grobe Lette	.	.	4 — 5 „
	Feine Lette	.	.	3 — 4 „

Bei Hettstedt:	Dachberge oder Oberberge	}	15,5 — 22,5 cm		
	Noberge oder Schwarze Berge				
	Lochberge		10,5 — 15,5 „		
	Kammschale		2 — 4 „		
	Kopfschale		2 — 3 „		
	Oberer und Unterer Schieferkopf		6 — 8 „		
	Lochschale		1,5 — 2,5 „		
	Lochen		2,0 — 3,5 „		
	Liegende Schale		1,5 — 2 „		
Bei Bottendorf:	Oberberge, Braune Schiefer od. Noberge		21 — 26 „		
	Dachschiefer	} Schwarze	8 „		
	Mittelschiefer			} Schiefer	8 „
	Schrammschiefer				

Am westlichen Harzrand wurden folgende Horizonte unter dem Zechsteinkalk unterschieden:

Lochberge	14,5 — 15,5 cm
Kopf	7 „
Lochschale	2 — 2,5 „
Lochen	1,5 — 2 „

Im südwestlichen Teile des Thüringer Waldes gliederte der Bergmann die unter dem Dachklotz liegenden Kupferschieferschichten folgendermaßen:

Dachberge	15 — 20 cm
Berge	13 — 15 „
Oberer Schieferkopf	7 — 8 „
Unterer Schieferkopf	8 — 9 „
Lette	1 — 1,5 „

Bei Mansfeld und Eisleben ist der Kupferschiefer in seinem unteren Teile, den sogenannten Schiefeln, ein äußerst feinkörniges und feinschichtiges, festes Gestein, das nur langsam verwittert. Die Schiefeln enthalten das Erz vor allem in allerfeinster Verteilung als Speise. Der durchschnittliche Metallgehalt derselben beträgt 3,1 % Kupfer und 0,017 % Silber.

Die Dachberge, die über den Schiefeln liegen, haben weniger dunkle, mehr graue Färbung und bei ihrem stärkeren Karbonat- und geringeren Bitumengehalt geringere Neigung zur Schichtung und sind daher mehr dickbankig. Die Kopf- und die Kammschale sind durch das Vorkommen feinsten Gipses ausgezeichnet. Die Speise tritt völlig zurück, dagegen sind in ihnen die Erzkieken in unregelmäßiger Verteilung eingesprengt, die jedoch größtenteils aus Schwefelkies bestehen. Nur nahe den „Rücken“ ist wertvolles Erz zu beobachten. Hier nur bestehen die Hieken z. T. aus Kupfererzen. Die Metallführung dieses Horizontes beträgt, soweit derselbe verhüttet wird, im Durchschnitt ca. 1,53 % Kupfer und 0,0063 % Silber.

Die Minern, d. h. die gesamten schmelzwürdigen Teile des Flözes, die aus den Schiefeln und den Dachbergen bestehen, zu denen an anderen Stellen noch die Sanderze treten, haben bei der Mansfeldschen Gewerkschaft einen Durchschnittsgehalt von 2,8 bis 3,1, also durchschnittlich etwa 3 % Kupfer und 0,015 % Silber. Aus den bekannt gewordenen Zahlen ergibt sich, daß bei diesem Gehalt nur verhältnismäßig wenig Dachberge bei der Verhüttung Verwendung finden, und daß deren Menge kaum 20 % der verhütteten Erzmassen beträgt.

Von größter praktischer Bedeutung, aber auch von hohem wissenschaftlichem Interesse, namentlich auch in Hinsicht auf die Entstehung der Erzlagstätte, sind die Rücken. Dem Bergmann sind die Rücken vor allem als Stellen der Erzanreicherung, nicht nur innerhalb der gewöhnlichen Mächtigkeit

des Flözes, sondern darüber hinaus in den nächsthöheren und nächsttieferen Schichten bekannt. So weist schon Freiesleben darauf hin, daß „die zwischen den Rücken liegenden Strebstreifen . . . fast stets von ungewöhnlicher Reichhaltigkeit und ihre Schiefer oft auf 10 bis 14 Zoll (26 bis 36 cm) Höhe schmelzwürdig“, während sonst die durchschnittliche Mächtigkeit des abgebauten Flözes nur die untersten 7 bis 13 cm umfaßt. Es wäre aber irrtümlich, anzunehmen, daß die Rücken ausschließlich zu starker Erzanreicherung führten. Auch das Gegenteil, eine mehr oder weniger erhebliche Verminderung des Erzgehaltes, kann in diesem Falle eintreten. Und zwar ist dann nicht allein der Rücken selbst metallarm oder gar frei davon, sondern die Abnahme des Erzgehaltes reicht bis auf weite Erstreckung von ihm und kann sogar bis zum nächsten Rücken anhalten. Es braucht daher ein Rücken keinesfalls die Erzanreicherung zu begünstigen. Einen klaren Einblick in den Wechsel des Erzgehaltes von Ort zu Ort bietet

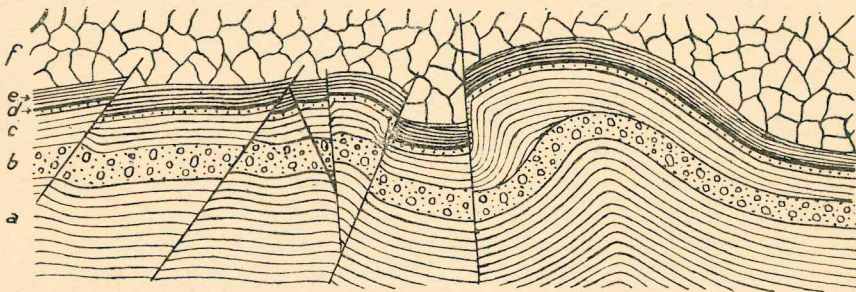


Abb. 1.

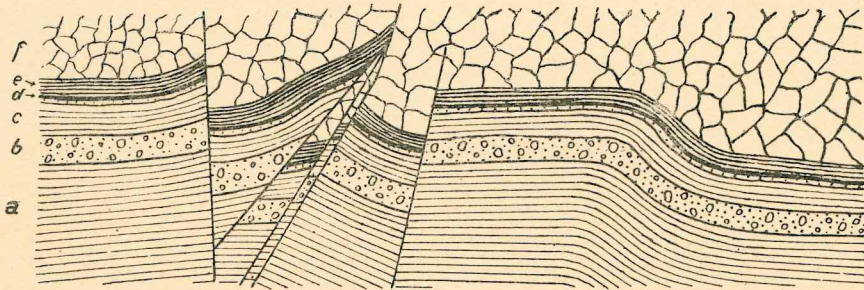


Abb. 2.

Abb. 1 u. 2. Rücken im Felde der Eduardschächte bei Hettstedt.
Nach Stelzner-Bergeat.

a—c Rotliegendes und Weißliegendes, *d* Kupferschiefer, *e* Zechstein, *f* Gips.

die graphische Darstellung, die am Schluß der Abhandlung als Tafel II beigegeben ist. Einige charakteristische Stellen von Rücken sind in den Abb. 1 bis 3 auf S. 9 und 12 dargestellt. Die Veredelung des Flözes in der Nähe der Rücken zeigen die Abb. 4 und 5 auf S. 19 und 39.

Für den Bergbau ist auch das Liegende des Kupferschiefers von Bedeutung gewesen. Denn in den obersten Lagen desselben, direkt an der Grenze zum Kupferschiefer, findet man in bis zu 5 und 10 cm Dicke das „Sanderz“, das seinen Namen von der sandigen Beschaffenheit des Gesteins hat, in das der Erzgehalt eingebettet ist. Es wurde wegen seiner bleichen Farbe als Weißliegendes oder Grauliegendes bezeichnet im Gegensatz zu dem petrographisch ähnlich ausgebildeten, der Farbe nach aber völlig verschiedenen darunter folgenden Rotliegendes.

Heute wird nach Meinecke das Liegende des Kupferschiefers in drei nach Entstehung und Gesteinsbeschaffenheit verschiedene Schichtglieder getrennt.

Erstens ist das Grauliegende zu nennen, das nichts anderes als Rotliegendes darstellt, das in seinen obersten dem Zechstein zunächst liegenden Partien von oben her und, wie Meinecke annimmt, durch die Wässer des Zechsteinmeeres entfärbt und ausgebleicht ist.

Als Weißliegendes bezeichnet Meinecke einen feinkörnigen, grauweißen, diagonalgeschichteten Sandstein, der nach seiner Auffassung aus den verhärteten Dünen am Ufer des Zechsteinmeeres sich gebildet hat.

Als dritte Ausbildungsform des Liegenden tritt uns das Zechsteinkonglomerat entgegen, das ein wechselnd sandiges bis konglomeratisches oder brekzienartiges Gestein darstellt und sich durch das Vorkommen von marinen Zechsteinfossilien als echtes Sediment des Zechsteinmeeres dokumentiert.

In den obersten paar Zentimetern dieser Schichten hat sich oft Kupfererz in beträchtlichen Mengen angesiedelt, so daß der Bergbau an manchen Orten zum Teil oder ausschließlich auf den Abbau dieser Sanderze betrieben wurde. Auch die Erklärung der Entstehung dieser Erzführung bietet erhebliche Schwierigkeiten.

An Fossilien sind im Gebiet von Mansfeld und Eisleben im wesentlichen nur Fische, vor allem der bekannte Paläoniscus Freieslebeni Blainv., und Reste von Landpflanzen gefunden.

Die eben vom Kupferschiefer bei Mansfeld und Eisleben gegebenen petrographischen Verhältnisse bleiben sich in westlicher Richtung so gut wie gleich, so am Harze, am Kyffhäuser und bei dem Kupferschiefervorkommen von Bottendorf.

Doch scheint nach Südwesten zu, im nordwestlichen Teile des Thüringer Waldes, die petrographische Beschaffenheit etwas zu wechseln, insofern das Gestein in seinen unteren Lagen etwas bitumenärmer und zugleich mürber und bröckeliger wird. Er wird daher als Tonmergelschiefer bezeichnet. Diese Erscheinung ist sowohl bei Ohrdruf und Ilmenau, als auch bei Schweina auf der Westseite des Gebirges beobachtet.

Im Spessart und in der Wetterau ist er in lettiger Form ausgebildet und wird daher als Kupferletten bezeichnet. Der Kupferschiefer wird somit gegen Südwesten allmählich reicher an Ton und Feinsand.

Gehen wir von den eben genannten Gebieten in südöstlicher Richtung gegen die alte Küste zu vor, so drückt sich diese Annäherung an das Festland auch in einer faziellen Änderung aus. Während dem Kupferschiefer noch bei Ohrdruf und auf Blatt Crawinkel-Gräfenroda Kalkkonkretionen fehlen, treten diese bei Ilmenau in Form der bekannten Schwülen auf, deren Inneres fast stets ein Fossil zu enthalten pflegt. Der kohlen saure Kalk hat sich also hier gern um organische Reste angesetzt und sich in Form von Knauern entwickelt. Auch tritt gegen Südosten ein allmählich zunehmender Glimmer- und Feinsandgehalt auf.

Am klarsten tritt der Fazieswechsel im Kupferschiefer entlang dem über Saalfeld und Gera führenden Kupferschieferband heraus. Hier ist das Zechsteinkonglomerat als Liegendes des Kupferschiefers weit verbreitet. Es ist sehr wechselnd ausgebildet und besteht entweder aus einem zu unterst mit Quarz und Schieferbrocken brekzien- oder konglomeratartig durchsetzten und fast versteinierungsfreien Gestein mit kristallinischem karbonatischem Bindemittel oder an anderer Stelle aus dolomitischem Sandstein, die beide nach oben in fast reinen Dolomit übergehen können. Der Dolomit wird als „Mutterflöz“ bezeichnet und besteht aus einem bis mehreren Dolomitbänken, die bis etwas über einen Meter Mächtigkeit erreichen. Darüber folgt dann der eigentliche Kupfer-

schiefer, der Sand, Glimmer und, wie auch in den strandferneren Gebieten, Ton enthält neben dem reichlich vorhandenen Bitumen und einem schwachen Dolomitgehalt. Die Mächtigkeit desselben schwankt bei Gera zwischen 35 und 50 cm. Nahebei wird aber das Kupferschieferflöz schon durch einen hellbräunlich-grauen Dolomitmergel vertreten. Wieder an nahe gelegener anderer Stelle lagert über einer 5 cm starken dunkelfarbigem Schiefermergelschicht eine 18 cm mächtige Mergelbank mit großen Kalkknollen. Es ergibt sich der allgemeine Eindruck, daß nahe der Küste der Kupferschiefer in seiner ganzen Vertikalstreckung dolomitisch-kalkig wird. In diesem Falle ist er von den hangenden und liegenden Dolomiten höchstens an seiner dunkleren Farbe oder auch überhaupt nicht unterscheidbar. Weiter ist das Mutterflöz bei Pößneck und Könitz, Kamsdorf, Schwarzburg und Königsee entwickelt. Bei Kamsdorf erreicht es die Mächtigkeit von 1,6 Metern.

Betrachtet man die weiter nach Südosten gegen den Frankenwald, das Vogtland und das sächsische Granulitgebirge anschließenden Gebiete, so läßt sich schließlich der Untere Zechstein überhaupt nicht mehr nachweisen. In diesem Fall liegt dann Mittlerer oder selbst Oberer Zechstein direkt auf älterer Unterlage auf unter Ausschalten des Unteren Zechsteins. So erklärt Liebe mit Recht von Blatt Triptis: „Das ältere Zechsteinmeer hat den größeren Teil der Sektion nicht bedeckt“! Ebenso fehlt der Untere Zechstein auf Teilen von Blatt Gera und Blatt Ronneburg, ebenso nordöstlich bei Altenburg und bei Frohburg und Tautenhain auf sächsischem Gebiet. Südwestlich von Gera fehlt der Kupferschiefer zum Teil bei Triptis, ganz auf Blatt Weida und Woltersdorf. Bei Pörnitz ist er zum Teil noch ausgebildet. Weiter ist er auf Blatt Meeder noch vorhanden bzw. durch graue Letten oder dolomitischen Kalkstein vertreten, auf Blatt Sonneberg aber scheint er zum Teil nicht mehr vorhanden zu sein. In dem südlich anschließenden Blatt Steinach sind noch Spuren von Unterem Zechstein beobachtet.

Der eben besprochene, vom Südrande des Thüringer Waldes nach Nordosten sich erstreckende Streifen jungpaläozoischer Schichten ermöglicht es mit größter Sicherheit, den alten Uferrand des Kupferschiefermeeres zu verfolgen. Daß es die alte Küste war, die hier sich erstreckte, kann man nicht allein daran erkennen, daß die Schichten ganz allmählich gegen Südosten auskeilen und dabei nach oben hin keine Zeichen von sekundärer Aufarbeitung tragen, sondern auch an der hier entwickelten dolomitischen Randfazies: dem immer stärker sich entwickelnden und schließlich den ganzen Mergelschiefer überwuchernden und verdrängenden dolomitisch-kalkigen Mutterflöz.

Aber noch ein weiteres Moment kann für die Landnähe herangezogen werden. Einmal die Ausbildung von Bryozoenriffen, die entlang der Uferzone nachgewiesen sind. Diese kommen jedoch auch überall vor, wo seichte Stellen im Meere sich finden. Weiterhin ist aber das immer wieder in diesem Raum nachgewiesene Vorkommen von bivalvenreichen Faunen in oft größter Mannigfaltigkeit der Individuen, im Gegensatz zu der Armut an gleichartigen Formen in den zentraleren Teilen des einstigen Kupferschiefermeeres, ein charakteristisches Merkmal von Landnähe. Formen wie *Productus*, *Rhynchonella*, *Pecten*, *Spirifer*, *Nautilus* beweisen zugleich, daß es sich hier um rein marines Tierleben und somit um ein echtes Meer beim Kupferschiefer gehandelt hat.

Es ist selbstverständlich, daß die Übersichtskarte am Schluß der Abhandlung nur die Hauptstreckung des alten Uferrandes darstellen kann. Die ehemalige Gliederung der Strandlinie entlang dem von Bryozoenriffen übersäten Küstengebiet im einzelnen zu zeigen, ist eine Aufgabe, die wegen der unzureichenden Aufschlüsse nie mit genügender Genauigkeit wird durchgeführt werden können. Zudem ist sie für die vorliegende Arbeit ohne Bedeutung.

Entsprechend dem Vorkommen von Untiefen oder kleinen Inseln, die wir in den zentraleren Teilen des mitteldeutschen Kupferschiefermeeres anzunehmen haben, konnte man auch erwarten, daß gelegentlich das Mutterflöz innerhalb dieses Gebietes sich zeigen würde. Dies ist u. a. bei Seesen am Westrande des Harzes in der Tat der Fall, wo Kaiser und Siegert plattige bis dickbankige, blaue, dichte bituminöse Kalke 40 cm bis 1 m mächtig beobachtet haben, die nach Schichthöhe und petrographischer Beschaffenheit mit dem Mutterflöz verglichen werden können. Auch Bryozoenriffe sind hier an Stellen flacheren Wassers nicht ausgeschlossen.

Was schließlich die Erzführung der eben besprochenen Gebiete anbelangt, so läßt sich darüber folgendes mitteilen.

Die westlich von Mansfeld belegenen Kupferschiefer bauenden Gruben haben nirgends seigerwürdiges Erz gefördert, das heißt, das Erz war nirgends so stark silberhaltig, daß sich die Trennung von Kupfer und Silber gelohnt hätte. Dies war schon in den Sangerhäuser Revieren der Fall. Schon Freiesleben betont: „Die Sangerhäuser Kupfer enthalten nur wenig Silber; selten und höchstens bis zu 6 oder 8 Lot im Ztr.“ (= 0,006 bis 0,008 %). Dasselbe gilt für die Bezirke der früheren Grafschaften Stolberg und Roßla. Hier

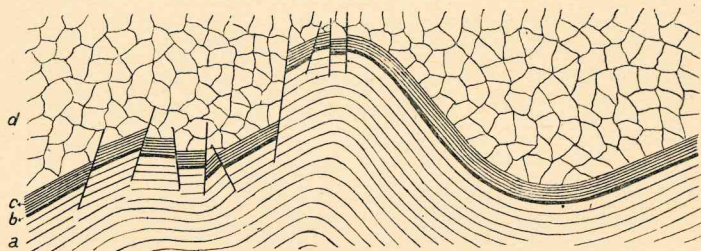


Abb. 3. Rückenflexur mit Verwerfung des Kupferschieferflözes.
(Flözberg im 23. Lichtloch des Zabenstedter Stollns.)
Nach Schrader.

a Rotliegendes, b Kupferschiefer, c Zechstein, d Stinkstein und Asche.

betrug der Kupfergehalt im Stolberg-Rottleberoder Revier nach Angaben von v. Mielecki durchschnittlich pro Maß Erz und Schiefen = 9,34 bis 9,4 sächs. Pfund (= 2,75 %), der Silbergehalt, der durch Untersuchung einer größeren Menge Kupfer festgestellt wurde, und der nicht überall so hoch war, ergab 6 1/2 Lot im Zentner Garkupfer (= 0,00575 % auf die Minern bezogen), also nur ungefähr ein Drittel dessen von Mansfeld-Eisleben. Bergmeister Müller von Eisleben nahm sogar für die Schiefer nur 1 Zentner Kupfer im Fuder Erz (= 1 2/3 %) an, während das höhere Gesamtausbringen auf die mitgeführten Sanderze von 1 1/2 bis 2 1/2 Zentner im Fuder (= 2 1/2 bis 4 %) Metallgehalt zurückzuführen ist. Auch Wehrhan kommt zu ähnlichen Zahlen, die nach Umrechnung für das einstige Buchhölzer Revier 2,7 % Kupfer, für das Kreuzstieger Revier 2,95 %, für das Breitunger Revier 4,57 % als langjährige Durchschnitte ergeben! Bei Seesen am Westrande des Harzes enthielt der Kupferschiefer durchschnittlich 2,5 %, das Sanderz 2 % Kupfer.¹⁾

Sehr genau sind wir über das Richelsdorfer Kupferschiefervorkommen unterrichtet. Dort beträgt der Kupfergehalt nach neueren Untersuchungen Kruschs im Schiefer 2,4 bis 2,8 %, im Sanderz bei durchschnittlich 5 cm

¹⁾ Es ist mir ein Bedürfnis, an dieser Stelle Herrn Berghauptmann Dr. h. c. Scharf für die Erlaubniserteilung zur Benutzung der wertvollen Bibliothek, Manuskripten- und Kartensammlung des Oberbergamts Halle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Stärke 4 bis 6 %. Der Silbergehalt erreicht nach Kruschs Annahme selten 0,0075 % in den Schiefen, im Sanderz scheint er ihm höher zu sein. Allerdings erbrachten die von ihm untersuchten Proben als Höchstwerte nur bis zu 29,4 g Silber in der Tonne Schiefen, entsprechend 0,00294 %, und 40,5 g in der Tonne Sanderz, entsprechend 0,00405 %. Der Silbergehalt, für den allein der beobachtete von noch nicht 0,003 % in Rechnung gezogen werden darf, ist somit gegenüber demjenigen von Mansfeld und Eisleben auf weniger als ein Sechstel zurückgegangen.

Am nördlichen Teile des Südwestrandes des Thüringer Waldes wurde bei Kupfersuhl, Schweina, Glücksbrunn und an andern Orten früher Bergbau auf Kupferschiefer betrieben. Der Gehalt an Kupfer an letztgenanntem Orte überstieg nach Angaben von Dorsemagen schließlich nie 1,4 %. Nur entlang den Rücken war eine höhere Ausbeute bis zu 3 und 4 % zu erreichen. Dabei war der Silbergehalt zu gering, um ihn auszuscheiden. Der Durchschnittsgehalt von Lette und Schieferkopf an Kupfer ist zu 1,32 bis 2,5 % bestimmt worden.

Im Gegensatz zu diesen westwärts belegenen Gebieten haben die südlich von Mansfeld-Eisleben liegenden vor allem einen hohen Silbergehalt zu verzeichnen. So gibt das seinerzeit bestehende Bergamt Bottendorf 1780 als Durchschnitt der Kupferproduktion 2,875 % an, eine Zahl, die von Erdmenger und Schrader in sorgfältigen Untersuchungen und Aktenstudien bestätigt worden ist.¹⁾ Der Silbergehalt stellte sich nach ebendiesem Autoren auf 0,015 %. Danach steht dieses Vorkommen demjenigen von Mansfeld keineswegs nach. Das war auch Freiesleben schon bekannt, der dazu angibt: „Sehr silberreich waren die Bottendorfer Schiefer. Schreiber gibt 22 Lot im Ztr. Schwarzkupfer an; aber die Schiefer vom Kesselföz sollen (nach handschriftlichen Angaben) bis 27 Lot im Ztr. Kupfer gehalten haben“ (= 0,021 bis 0,026 %).

Schließlich sei noch der Ilmenauer Erze gedacht, über die uns der einstige erste Bergbeamte des Weimarischen Staates und hervorragende Bergmann und Geolog Voigt eine eingehende Arbeit als letztes Vermächtnis überliefert hat. Danach waren die dortigen Erze bei günstigem Kupfergehalt noch reicher an Silber als bei Mansfeld und Bottendorf. Auf 1 Zentner Kupfer kamen im langjährigen Durchschnitt 1,868 Mark Silber (die Mark = 0,23385 kg) = 0,873 Pfund. Freiesleben sagt von ihnen im Anschluß an die Angaben über die Bottendorfer Erze: „Noch mehr hielten die Ilmenauer Schwarzkupfer (wenigstens 32 Lot, bisweilen aber sogar 70 bis 120 Lot im Ztr.)“ (= 0,031 % bzw. 0,07 bis 0,12 % unter Voraussetzung einer durchschnittlich 3 proz. Kupferführung). Nach Voigts sehr genauen Angaben ist (gleichfalls unter Voraussetzung einer nur 3 proz. Kupferführung) der durchschnittliche Silbergehalt = 0,026 %.

Zur Ergänzung sei noch auf die Verhältnisse bei Kamsdorf kurz eingegangen. Sie lassen sich jedoch mit den sonst hier besprochenen nicht ohne weiteres vergleichen, weil hier die Erze zum Teil in Gangform auftreten, also mit dem syngenetischen Kupferschiefererz nicht alles gemein haben. Jedoch ist auch hier das Kupferschieferflöz von Einfluß, das sich durch das abgebaute Gebiet quer durchzieht. Giebelhausen hat die verschiedenen Erzvorkommen in jedem Gebiet sorgfältig getrennt in silberleere und silberhaltige Kupfererze, die zumeist auf den Gangspalten brechen, und in den Erzgehalt des Kupferschiefers und des Weißliegenden. Er gibt von letzteren Schichten an, daß der Erzgehalt in ihnen meist zu gering sei, um bauwürdig zu sein. Meist enthalte das Flöz nur 1 Pfund Kupfer im Zentner und 0,004 Pfund Silber, das Weißliegende sogar nur 0,33 Pfund. Hin und wieder finde jedoch eine Zunahme

1) Herrn Bergrat Schrader, ehemaligen Ober-Berg- und Hütten-Direktor der Mansfeldschen Kupferschieferbauenden Gewerkschaft, bin ich für sein lebhaftes und warmes Interesse an dieser Arbeit zu herzlichem Dank verpflichtet.

des Gehaltes, namentlich in der Nähe von Störungen, bis auf 2 Pfund Kupfer und 0,02 Pfund Silber statt, in welchem Falle das Erz gewonnen werde. Aus letzterer Zahl geht wiederum ein verhältnismäßig sehr hoher Silbergehalt hervor. Freiesleben gibt hierfür, ohne jedoch in bezug auf die Herkunft der Erze zu spezialisieren, an: „Auch die fahlerzhaltigen Kupferschiefer von der Unteren Freyheit zu Kamsdorf gehören unter die silberreichsten; indem sie nach den vor einiger Zeit davon gemachten Schmelzen im Fuder (zu 48 Ztr.) gegen 64 Lot Silber gehalten haben“ (= 0,044 %).

Für die späteren Überlegungen ist es von größter Wichtigkeit, nicht nur über die Kupfer- und Silberführung, sondern auch über den Gehalt des mitteldeutschen Kupferschiefers an den andern Elementen und Verbindungen genauen Aufschluß zu haben. In den früheren Jahrhunderten, in denen der Bergbau in weiter Verbreitung getrieben wurde, hat es jedoch eine chemische Untersuchung im modernen Sinne nicht gegeben. Wir sind daher ausschließlich auf die Resultate angewiesen, die vom Gebiet der Mansfelder Mulde uns zur Verfügung stehen.

Den Durchschnittsgehalt des geförderten Materials der Feinen Lette, Groben Lette und Kammschale, die während eines Monats vom Hoffnungsschacht gefördert wurde, gibt folgende Analyse an:

SiO ₂	33,15 %	Mg	1,0 %
Al ₂ O ₃	17,3 „	Ni	0,018 „
CaO	10,4 „	Ag	0,014 „
Cu	2,75 „	S	2,310 „
Fe	2,6 „	CO ₂	9,240 „
Zn	1,276 „	H ₂ O	1,700 „
Bitumen	9,060 %		

dazu kommt (in der Analyse nicht enthalten):

Pb ca.	0,5 %
Mn „	0,3 „
Mo „	0,15 „
Co „	0,018 „

Diese Analyse nebst Ergänzungen liefert eine Übersicht über die in Frage kommenden Kombinationen. Es ist jedoch auch wichtig, zu erfahren, wie die Verteilung der einzelnen Elemente und Verbindungen auf die verschiedenen Schichtglieder sich gestaltet. Dies zeigt folgende Zusammenstellung.

Es finden sich in den folgenden Lagen

	Cu	Ag	Fe	Zn	Pb	Mn	CaO	MgO	CO ₂	C	H ₂ O
Sanderz	1,05	0,002	1,8	0,12	0,16	0,17	12,04	1,85	10,23	—	0,35
Schiefern	3,24	0,018	2,9	1,85	0,59	—	11,03	3,69	10,49	8,75	7,29
Dachberge	1,92	0,007	2,1	0,62	0,18	—	16,85	4,69	16,61	1,92	5,04
Kammschale	0,85	—	2,0	2,04	1,47	0,20	5,94	4,83	7,56	9,96	8,87
Kopf	0,71	—	1,6	2,11	0,94	0,25	12,50	7,49	16,26	3,70	4,07
Schwarze Berge	0,58	—	1,9	0,90	0,83	0,34	10,76	6,69	14,02	1,61	2,87
Dachberge	0,14	—	1,7	0,46	Spur	0,52	22,16	9,36	26,16	0,32	1,58
Fäule	0,15	—	1,6	0,62	0,05	0,47	24,90	4,98	24,39	0,22	1,42
Zechstein	0,04	—	0,7	Spur	0,03	0,58	40,97	3,14	33,65	0,21	0,85

Von Glücksbrunn am Thüringer Wald sind durch Dorsemagen folgende Kupfergehalte in den verschiedenen Lagen des Kupferschiefers angegeben:

Im Oberen Schieferkopf	0,2 — 0,3 %	Kupfer
im Unteren Schieferkopf	0,5 — 0,7 „	„
in der Lette	bis 1,5 „	„
im Zechsteinkonglomerat	2,4 — 4,0 „	„

Aus den Analysen der verschiedenen Schichten des Kupferschiefers ergibt sich, daß im Mansfelder Gebiet der Kupfergehalt in den Schiefen am höchsten ist und nach oben zu fällt. Ebenso ist dies beim Silber der Fall, doch wird dieses schon in der Kammschale nicht mehr nachgewiesen. Das Eisen hält sich in verhältnismäßig engen Schwankungen und sinkt nur in der Kalkschicht des eigentlichen Zechsteins. Sehr auffällig ist der den Eisengehalt zum Teil erreichende Zinkgehalt, der in den Schiefen der Kammschale und dem Kopf eine Menge von 2% ausmacht und erst von hier ab nach oben fällt. Auch der Bleigehalt ist nicht unerheblich und erreicht in der Kammschale gegen 1½%. Der Mangangehalt nimmt im wesentlichen von unten nach oben zu; ganz ausgesprochen ist diese Zunahme, allein unterbrochen in der Kammschale, beim Kalk und der an Calcium-Magnesium gebundenen Kohlensäure, während beim Magnesium der Maximalgehalt in die Dachberge fällt. Ganz deutlich ist auch die Abnahme des Bitumen- und Wassergehaltes von unten nach oben festzustellen.

Allein im Bereich der Sanderze treten sehr große Verschiedenheiten auf, die sich insbesondere auch im Bergbau bemerkbar machen; im einen Fall ist das Sanderz unbauwürdig, im andern Fall enthält es dagegen den reichsten Metallgehalt. Es wird auf diese Verschiedenheit noch zurückzukommen sein.

Auch innerhalb der gleichen Lagen des Kupferschiefers wechselt der Erzgehalt von Ort zu Ort, und er wird ganz erheblich von den Rücken beeinflusst. Den klarsten Einblick in diese Verhältnisse gewährt die Untersuchung Köhlers über die 4. Tiefbausohle des Eisleber Gebiets, die auf Tafel II dargestellt ist, und auf die im weiteren Verlauf dieser Abhandlung zurückzukommen sein wird.

Diese Tabelle zeigt aber auch aufs deutlichste, daß Bohrkerne keinesfalls Durchschnittswerte des Erzgehaltes des Kupferschiefers ergeben können. Je nachdem die Bohrung die Linien des Erzgehaltes schneidet, wird der Wert entweder zu hoch oder zu niedrig sein, was für die Beurteilung des Wertes der Lagerstätte auf alle Fälle ungünstig ist.

Aber es erheben sich gegen die Benutzung von Bohrkernen oder überhaupt von Einzelanalysen noch weitere Bedenken. Einzelanalysen oder Resultate nur kurzen Erzabbaus können stets nur ein einseitiges Bild ergeben. Deshalb ist im Vorstehenden und im Folgenden grundsätzlich auf alle Einzelangaben von Analysen verzichtet und es sind ausschließlich die Werte langjähriger Produktion in den verschiedensten Abbaugebieten verwendet, da nur sie wahre Durchschnitte liefern. Bei Bohrungen kommen noch weitere Unsicherheiten hinzu, die sich oft nicht vermeiden lassen. Vielfach wurden die Bohrkerne aus dem Bereich des Kupferschiefers in zerbrochenem Zustand ans Tageslicht gefördert, und es war dann eine heikle Frage, die erzreicheren und erzärmeren Partien richtig zu sortieren. Es konnten so bei der Probenahme auch bei sorgfältigster Arbeit die folgenschwersten Fehler unterlaufen, wenn unrichtige Gesteinsbrocken ausgewählt wurden. Ist ja doch das bergfrische Gestein sowieso außerordentlich schwierig zu unterscheiden. Wenn das Gestein völlig zerbröckelt ist, ist eine richtige Trennung überhaupt nicht mehr durchführbar.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß bei der üblichen „Handelsanalyse“ geringe Erzgehalte, die unter 0,1 bis 0,2% liegen, zumeist nicht mehr genau angegeben werden können, weil die gewöhnliche Methode nicht genügend genau ist, und daß daher von vornherein ein genaueres Analysenverfahren, als sonst üblich, angewandt werden muß, wenn man z. B. den durchschnittlichen Silbergehalt des Kupferschieferflözes, der ja nur einen Bruchteil des noch sicher in der Handelsanalyse feststellbaren Wertes beträgt, exakt feststellen

will. Es muß somit auch in dieser Hinsicht jede angegebene Analyse kritisch beurteilt werden.

Man ersieht daraus, daß so viele Zufälligkeiten bei den Analysen mitsprechen, daß sie nicht als maßgebend angesehen werden können. Sie sind höchstens geeignet, ein mehr oder weniger falsches Bild zu liefern.

Damit sei der erste, rein beschreibende Teil abgeschlossen und in einem zweiten Teil die Entstehung des mitteldeutschen Kupferschiefererzes nach den Prinzipien der Lagerstättenlehre behandelt.

Zweiter Teil.

Die Erzbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers in der Lagerstättenlehre.

Bei der Betrachtung des mitteldeutschen Kupferschiefers als Lagerstätte hat man zu unterscheiden zwischen der primären Erzbildung und den sekundären Veränderungen, die die Erze nach ihrer Bildung erlitten haben.

Allgemein stehen sich zwei Auffassungen von der primären Erzbildung des Kupferschiefers gegenüber:

1. diejenige der syngenetischen Entstehung, die gleichzeitig und zusammen mit dem Absatz des Kupferschiefers erfolgte,
2. diejenige der epigenetischen Bildung, d. h. der nachträglichen Einwanderung und Abscheidung der Erze nach der Zechsteinzeit in das feste Gestein.

Setzt man epigenetische Entstehung voraus, so hat man verschiedene Bildungsmöglichkeiten ins Auge zu fassen. Man kann unterscheiden zwischen Metalllösungen, die von unten, durch Aszendenz, und solchen, die von oben, durch Deszendenz, gekommen sind. Die letztere Auffassung ist jedoch, da äußerst unwahrscheinlich und völlig ohne Berechtigung, von keiner Seite vertreten. Sie wird daher im folgenden nicht weiter diskutiert. Es bliebe auch unerklärbar, woher der Kupfer- und Silbergehalt des Kupferschiefers aus den hangenden Schichten hätte kommen sollen, da eine Erzführung aus keiner überlagernden Schicht oder Schichtengruppe bekannt ist, geschweige denn eine so gewaltige Kupfer- und Silbermenge, wie sie der Kupferschiefer birgt.

Heute ist zweifelsfrei festgestellt, daß auf die primäre Erzbildung sekundäre Umwandlungen folgten. Vielfach wurden nämlich die Vorgänge primärer Art mit solchen von sekundärer Entstehung verwechselt und umgekehrt, und vielfach wurde den sekundären, aber in der Tiefe sich abspielenden Veränderungen nicht die Bedeutung beigemessen, die sie besitzen.

Alle sekundären Veränderungen, die nach der Bildung des Erzes eingesetzt haben, können als solche der Diagenese bezeichnet werden. Im einzelnen sind es die Vorgänge unter dem Einfluß der Diagenese in größerer Tiefe unter der Erdoberfläche und schließlich diejenigen der Verwitterung, die zunächst der Oberfläche statthaben und die in die Vorgänge der Oxydation, Zementation und Detritation weiter gegliedert werden können.

Es ist jedoch vorher noch zu entscheiden, ob nicht zwei verschiedene Arten primärer Erzbildung in den Kupferschieferlagerstätten Mitteldeutschlands vorliegen. Es wird nämlich von verschiedener Seite die Auffassung vertreten, daß nach der syngenetischen Bildung des Erzes eine zweite akzessorische Erzführung auf Spalten erfolgt sei, gleichsam eine zweite Lagerstätte mit der ersten sich verknüpft habe. Es muß daher auf diesen Punkt in einem besonderen Abschnitt eingegangen werden. Es handelt sich darum, daß von den Rückenspalten des Gebirges aus neues Erz in die syngenetische Kupferlagerstätte ein-

gedrungen sei und sie angereichert habe. Und zwar kann das Erz wiederum durch Aszendenz oder durch Deszendenz herangeführt worden sein.

Diesen beiden letzteren Möglichkeiten steht die Ansicht gegenüber, daß das primäre Erz nur durch sekundäre Vorgänge: Erzumlagerung, Erzkonzentration und Erzwegführung verändert worden sei.

Hierbei sind die Verhältnisse in verschiedener Tiefe heranzuziehen:

1. Es ist auszuscheiden die Zone der sekundären Lateralsekretion (hypohalinische Zone) unter dem Salzspiegel bzw. unter dem in Gips umgewandelten Anhydritgebirge, d. h. die Zone, die keinerlei Beziehungen zur Erdoberfläche seit der Bildungszeit des Kupferschiefers gehabt hat. Hier haben nur Umlagerungen der Erze und Konzentrationen in den Rücken stattgefunden.

2. Über der Zone der sekundären Lateralsekretion ist eine weitere Zone bis zum Grundwasserspiegel (epihalinische Zone) auszuscheiden. Hier haben, nach oben zu in steigendem Maße, Auslaugungen, aber auch Konzentrationen an bestimmten Stellen, z. B. in den Rücken, stattgefunden. Die Einwirkung des Sauerstoffs fehlt.

3. Zu oberst, an und über dem Grundwasserspiegel, liegt die Oxydationszone, die Zementationszone und die Verwitterungszone. Hier ist die Veränderung und schließlich oft die völlige Auslaugung der Erze noch weiter fortgeschritten, so daß eine Vergleichung mit der Erzführung in der Tiefe nicht mehr möglich ist. Der Sauerstoff der Luft hat auf die Erze verändernd eingewirkt und zur Bildung neuer Mineralien Veranlassung gegeben.

I. Primäre Erzbildung im mitteldeutschen Kupferschiefer.

1. Der Kupferschiefer als syngenetische Lagerstätte.

Seit der Zeit, da J. G. Lehmann 1756 in seinem „Versuch einer Geschichte von Flötzgebirgen“ als erster Geolog auf das Kupferschieferflöz aufmerksam machte, ist von allen älteren und von fast allen jüngeren Autoren, die sich mit den Erzen des Kupferschiefers beschäftigt haben, deren Bildung als ein Sediment angesehen worden, das sich gleichzeitig mit dem bituminösen Mergel des Kupferschiefers in feinsten Verteilung niederschlug. Das Kupferschieferflöz ist demnach eine geschichtete Lagerstätte. Es seien hier nur die wichtigsten Vertreter dieser Anschauung: Freiesleben (1807), von Cotta (1861), von Groddeck (1879), und Stelzner und Bergeat (1904) genannt. Aber auch fast alle Geologen der Jetztzeit sind von der Syngeneese der Erze des Kupferschiefers überzeugt.

Am besten drückt vielleicht von Groddeck diese Auffassung aus, indem er vom Kupferschiefer schreibt: „Die feine Schichtung, die Versteinerungsführung und die Verbreitung über Hunderte von Quadratmeilen, kennzeichnen das Kupferschieferflöz der deutschen Zechsteinformation in einer Weise, die sich bei keiner anderen Lagerstätte so ausgezeichnet wiederholt, als geschichtete Lagerstätte. Die Erze müssen gleichzeitig mit dem kohligem Schlammniederschlag, dem bituminösen Mergelschiefer als Träger der Erze, abgelagert sein. Es ist ganz unmöglich, daß die Erze erst später, nach Bedeckung des Mergelschiefers mit den jüngeren Zechsteinschichten, etwa von Klüften oder Rücken aus, in das Flöz eingedrungen sind.“

Ähnlich äußert sich Bergeat über den streng syngenetischen Erzgehalt des Kupferschiefers. Er betont: „Die Kupferführung gerade des unteren Zechsteins ist ein so charakteristisches Kennzeichen desselben in weiten Gebieten, daß der Zusammenhang nur durch eine Syngeneese von Erz und Nebengestein erklärt werden kann.“

Der Kupferschiefer wurde und wird somit fast allgemein als syngenetische Erzlagerstätte, als sedimentäres Erzlager, aufgefaßt. Kaum eine geschichtete

Erzlagerstätte zeigt in der Tat so ausgezeichnet ihre Eigenart wie gerade der Kupferschiefer. Der Kupferschiefer mitsamt seinem Erzinhalt ist in ganz Mitteldeutschland ein stratigraphisch genau festlegbarer geologischer Horizont.

Da der dritte Teil der Schrift dem Vorgang der Sedimentierung und den weiteren Umständen, unter denen sich der Absatz des mitteldeutschen Kupferschiefers vollzog, gewidmet sein wird, soll an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen werden.

Dieser in geologischen Kreisen allgemein herrschenden Auffassung von der Syngenese der Erze des Kupferschiefers sind in neuerer Zeit namhafte Lagerstättenforscher entgegengetreten, indem sie scharf die Epigenese der Erze des Kupferschiefers verfechten.

2. Der Kupferschiefer als epigenetische Lagerstätte.

Für die Auffassung des Kupferschiefers als epigenetischer Lagerstätte sprechen eine Reihe gewichtigster Gründe, die die Berechtigung für die Aufstellung dieser Theorie ergeben. Sie wurde von Pošepny 1879 aufgestellt und wird besonders von Beyschlag (1900), sowie von Beck (1901) vertreten.

a) Der stärkste Einwand gegen die syngenetische Erzführung des Kupferschiefers ist derjenige, daß der Kupferschiefer nicht so niveaubeständig sei, wie es die Vertreter der Syngenese des Kupfererzes, die Syngenetiker, annehmen. Das Fehlen der Niveaubeständigkeit wird darin erblickt, daß nicht nur in den Lagen der Lette, der hauptsächlich Kupferschiefer führenden Schicht, sondern auch im Liegenden (Sanderz) und Hangenden (Hieken) Kupfererz sich findet, und daß die Verteilung in vertikaler Richtung von Ort zu Ort wechselt, ja daß oft eine durchgreifende Lagerung des Erzes innerhalb des Flözes sich erkennen läßt.

b) Die oben genannten Forscher verweisen des weiteren darauf, daß auch in der horizontalen Verteilung der Erze eine völlige Ungleichartigkeit herrscht. Neben starken Erzanreicherungen entlang von Verwerfungen und Klüften, den sogenannten Rückenspalten, findet man mit zunehmender Entfernung von ihnen vielfach eine auffällige Abnahme des Erzgehaltes und somit oft einen Wechsel zwischen reichen, armen und tauben Partien.

c) Die schwierige Frage, weshalb die Erze gerade im Kupferschieferflöz und nicht auch an anderen Stellen sich ausgeschieden haben, wird von Beyschlag dadurch erklärt, daß die primären Lösungen auf den Rückenspalten und an der Grenze zwischen dem Liegenden und dem Kupferschieferflöz zirkulierten und erst durch die im Kupferschiefer enthaltenen bituminösen Substanzen zur Ausfällung gebracht wurden, da dieselben imstande seien, „reduzierend auf Schwermetallösungen einzuwirken.“

Pošepny gibt noch einige wenig stichhaltige Gründe zugunsten der Auffassung des Kupferschiefers als epigenetischer Lagerstätte an. Er meint, daß, wenn der Erzgehalt aus Meerwasser ausgeschieden sei, das Kupfer auch in allen Sedimenten anzutreffen sein müßte. Weiter nimmt er an, daß eine zeitweise stärkere Anreicherung des Meeres mit Metallsalzen undenkbar sei, und daß die Krümmung der Paläoniscusleichen keinen Beweis für die Vergiftung dieser Tiere durch das gelöste Kupfer darstelle. Schließlich glaubt Pošepny, daß der Metallgehalt des Kupferschiefers unter metasomatischer Umsetzung mit Gipsschichten, die das Erz ersetzte und verdrängte, erst in den Mergelschiefer eingewandert sei. Schon die Tatsache, daß sich die genannten jüngeren Autoren diese letztere Beweisführung Pošepnys nicht zu eigen machten, spricht gegen deren Stichhaltigkeit. Die Unhaltbarkeit wird aus den weiteren Erörterungen hervorgehen.

Es handelt sich somit nach Pošepny, Beyschlag und Beck um auf Gängen aufgedrungene Erze, die jedoch wegen der eigentümlichen Form ihrer Ausscheidung als scheinbare Erzlager auftreten.

Die angegebenen Darlegungen angesehenen Forscher können nicht übergangen werden. Vielmehr verlangen sie eine eingehende Beschäftigung mit dieser nicht ohne weiteres von der Hand zu weisenden Theorie der Epigenese der Kupfererze. Jedenfalls weisen die von diesen Forschern angegebenen Gründe auf Tatsachen hin, die durch reine Syngenese nicht erklärt werden können. Insbesondere durch diesen Hinweis kommt ihrer Auffassung besondere Bedeutung zu; denn sie veranlaßte, den früher stark vernachlässigten sekundären Veränderungen der Erzlagerstätte das Augenmerk zuzuwenden, die, wie gezeigt werden wird, ebensogut und besser die eigenartigen Unregelmäßigkeiten der Erzführung erklären.

Trotz der mancherlei scheinbar stichhaltigen Gründe, die für eine Epigenese der Erze des Kupferschiefers sprechen, ist in der Tat die Theorie der Epigenese des Kupferschiefers unhaltbar.

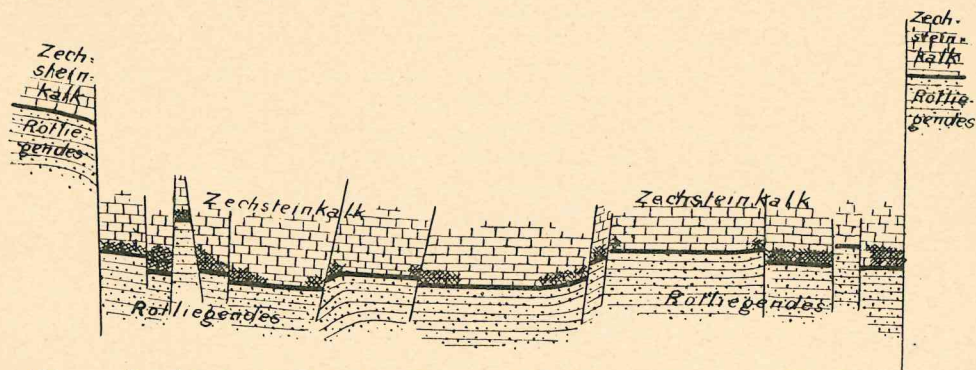


Abb. 4. Veredelnder Einfluß der Rücken auf die höheren Lagen des Kupferschiefers.
(Profil des Flözgrabens südlich von dem 80er Flächen.)
Nach Brückmann.

Die Schraffierung zeigt die Erzanreicherung an.

Als Gründe gegen die Epigenese der Erze des Kupferschiefers sind zu nennen:

1. Die von den Syngenetikern in erster Linie ins Feld geführte allgemeine und trotz allen Verschiedenheiten durchschnittlich sehr gleichartige Verbreitung des Erzgehaltes im mitteldeutschen Zechstein. Wo man in größere Tiefe kommt, findet man silberhaltiges Kupfererz in weitester Verbreitung: vom Richelsdorfer Gebirge nordwestlich des Thüringer Waldes über diesen hinweg und selbst bis in die Nähe des Frankenwaldes und über den Kyffhäuser, das Zechsteinvorkommen von Bottendorf und das östliche Harzvorland bis zum Harz und ins Gebiet von Alvensleben nordwestlich Magdeburg; ja selbst in Schlesien, in Kurhessen und in der Provinz Hannover findet sich noch kupfer- bzw. silberführender Kupferschiefer.

Diese ganz außerordentlich weit verbreitete Kupfererzführung kann kaum darauf zurückgeführt werden, daß gleichmäßig allenthalben zu einer gewissen Zeit epigenetisch kupfer- und silberhaltige Wässer aufgedrungen seien und das Kupferschieferflöz durchzogen haben. Eine so allgemeine und in der Erzausscheidung überall so ausschließlich auf eine und dieselbe Schicht beschränkte Durchsetzung des Gebirges mit ganz bestimmten Erzen ist kaum denkbar. Die Erfahrungen in Ganggebieten sprechen dagegen. In Ganggebieten findet man

viel mehr Wechsel in der Erzführung, und nirgends kennt man in ihnen eine gleichartige Verbreitung auf viele hundert Kilometer.

Zur Frage der allgemeinen Verteilung von Erzlagerstätten sei ein geistvolles Wort von Cottas angeführt. Er sagt: „Um die wichtige Frage nach der Verteilung der Erzlagerstätten und insbesondere der Gänge, Stöcke und Imprägnationen einzelner Erze, deren Individuen ihrer Natur nach auf verhältnismäßig kleine Ausdehnungen beschränkt sind, und nicht wie die Lager große horizontale Flächenräume einnehmen, um also diese Frage etwas gründlicher zu erörtern und nicht bloß nach allgemeiner Abschätzung zu entscheiden, habe ich versucht, die in vorstehenden Tabellen aufgezählten Orte auf Karten mit Hilfe von Farbstiften für die einzelnen Metallvorkommnisse zu bezeichnen. Die Arbeit war mühsam, führte aber zu gar keinem befriedigenden, oder vielmehr zu einem fast nur negativen Resultat“. Von Cotta führt als einigermaßen einheitlichen nichtsedimentären Erzbezirk das Erzgebirge an. Der erzhaltige Kupferschiefer umfaßt aber in seiner Gesamtheit ein Vielfaches der Fläche, die das Erzgebirge einnimmt. Schon aus diesem Grunde muß der Kupferschiefer eine sedimentäre Erzführung enthalten.

Auch ist die Verteilung der Erze nach Menge und Art über weite Flächen keineswegs eine willkürliche, wie dies bei allen Gangbildungen der Fall ist. Vielmehr herrscht trotz allen Schwankungen im einzelnen eine ganz bestimmte Gesetzmäßigkeit, die sich einerseits auf die Kupfer- und Silbermengen in den verschiedenen Lagen des Kupferschieferflözes, dann aber vor allem auch auf das Mengenverhältnis von Kupfer zu Silber in den verschiedenen Kupferschiefergebieten bezieht und die sich nur durch Syngenesen erklären läßt. Über diese sei im dritten Teil der Abhandlung berichtet.

2. Daß der Erzgehalt, wenn man die Gesamtheit der Ablagerungen des Kupferschiefers ins Auge faßt, nicht völlig gleichartig bleibt, sondern allmählich sich verändert und nach Westen zu abnimmt, sei jedoch keinesfalls bezweifelt. Ebenso wenig kann man aber diese „Unbeständigkeit im Streichen“ als Beweis für epigenetische Erzbildung heranziehen. Denn überall, wo ein Meer von verschiedenen Seiten her aus Küstengebieten gespeist wird, wie das stets bei einer gewaltigen Meeresbucht der Fall ist, als welche wir das mitteldeutsche Kupferschiefermeer aufzufassen haben, wird je nach der geologischen Beschaffenheit dieser Festlandgebiete, die diese Meeresbucht umsäumen, verschiedener Detritus und verschiedenes gelöstes Material in das Meer hinausgeführt und in der näheren oder weiteren Entfernung von der jeweiligen Küste abgesetzt. Daher werden die Gesteine, auch bei „syngenetischer“ Bildung, keinesfalls überall völlig gleichartig sein können, vielmehr von Ort zu Ort einem mehr oder weniger erheblichen faziellen Wechsel unterliegen. Pompeckj hat diese Erscheinung besonders berücksichtigt. Er schreibt: „Das Becken des Kupferschieferabsatzes dehnte sich allermindestens über etwa 60000 qkm aus, vermutlich war es um mehrfaches größer. Dieses Becken war von Land mit Gesteinen verschiedener und in regional verschiedener Art umrahmt. Zweifelsohne wurden ihm an verschiedenen Stellen verschiedenartige Lösungen ebenso wie ja verschiedenartige Sinkstoffe zugeführt. Ganz natürlich ergibt sich da — die Syngenesen von Gestein und Erz angenommen — regional verschiedenartige Ausfällung. Das ist ganz selbstverständlich. Kein größerer Seeraum, kein Meeresraum ist mit einer wirklich homogenen Lösung gefüllt; vielmehr sind in solchen Räumen der Inhomogenitäten eine Fülle, und inhomogene Fällungen sind die Regel. Man nehme doch Kalkflöze eines Meeresraumes, die über größere Erstreckung sich verfolgen lassen — bleiben die von einem bis zum anderen Ende chemisch, mineralogisch gleich? Keineswegs, und dabei wird man die örtlich schwankenden Mengen von Pyrit und Melnikowit, von Magnesiumkarbonat

ebensowenig wie die wechselnden Beimengungen von Bitumen oder Ton und Sand als epigenetisch, als später zugeführt erklären.“

3. Die Epigenese der Erzführung des Kupferschiefers wird völlig unerklärlich, sobald man einige im Kupferschiefer weit verbreitete, sonst aber seltene Metalle für den Beweis heranzieht.

So ist Molybdän in relativ großen Mengen, in nicht unerheblichem Maße auch Vanadin und bei Mansfeld-Eisleben auch Uran im Kupferschiefer enthalten.

Wären diese Metalle in der weiten Verbreitung, in der sie heute im Kupferschiefer gefunden werden, jeweils aus der Tiefe aufgestiegen, so müßten auch die Kupfer und Silber führenden Erzgänge, die wir z. B. im Harz und im Thüringer Wald in älteren Schichten finden, dieselben seltenen Metalle enthalten. Bis heute ist aber nur in einem einzigen Falle Molybdän als Molybdänglanz im Gabbro des Radautals im Harz gefunden, und im Thüringer Wald fehlt er ganz. Die beiden anderen Metalle sind sowohl aus dem Harz wie aus dem Thüringer Wald völlig unbekannt.

Trotzdem findet man in den Eisensauen von Eisleben-Mansfeld, den letzten Überresten der Kupfer- und Silberverhüttung, an Molybdän 4 bis 7%, sowie Spuren von Vanadin.

Im Richelsdorfer Gebirge, einem Punkt, der 120 bis 130 km von dem Eisleber Kupferschieferbezirk entfernt liegt, fand man dieselben seltenen Metalle, und zwar stellte Bunsen in alten Eisensauen sogar bis 22,3% Mo fest. Im Durchschnitt fanden sich bei neuen Untersuchungen des dortigen Kupferschiefers 0,013 bis 0,018% Molybdän und ein noch wesentlich höherer Gehalt an Vanadin, nämlich durchschnittlich 0,04 bis 0,05%.

Credner hat das Vanadin wiederum an ganz anderem Orte, in Thüringen, im Kupferschiefer festgestellt.

Wohl ergibt sich also eine weite horizontale Verbreitung von Molybdän und Vanadin, aber keine vertikalen Beziehungen von Uran, Molybdän und Vanadin zu den Erzgängen des Thüringer Waldes und des Harzes. Dies alles weist kategorisch auf Syngeneese, nicht aber auf Epigenese der Erze hin.

4. Es ist an sich nicht wahrscheinlich, daß die Erzlösungen, die aus der Tiefe der Erde aufgedrungen sein sollen und unter dieser Annahme oft mehrere tausend Meter mächtige Sedimente zu durchdringen hatten, nicht allgemein beim Aufsteigen aus den Spalten allmählich oder da und dort in reicherm Maße ihren Erzgehalt abschieden, sondern daß der Absatz des Erzes auf Schichten von ganz bestimmter Zusammensetzung beschränkt blieb, wie dies die Epigenetiker annehmen. Tatsächlich ist von silberhaltigen Kupfererzungen in dem den Kupferschiefer unterlagernden Rotliegenden und Karbon nichts bekannt.

Die Epigenetiker führen zur Erklärung dieser Eigentümlichkeit an, daß nur in den bituminösen Schichten, wie sie der Kupferschiefer des Zechsteins zeigt, die chemischen Bedingungen für die Ausscheidung gegeben waren.

Dann erhebt sich aber die unlösbare Frage, weshalb nicht auch in den bituminösen Schichten, die im produktiven Karbon und in den Kohlen führenden oder den bituminösen Mergelschiefeln des Rotliegenden, die an vielen Stellen den Kupferschiefer unterlagern bzw. unterlagert haben, und auf die auch mancherlei Bergbau, z. B. bei Halle und Nordhausen, getrieben wurde, so daß ihre Schichten zum Teil aufs genaueste bekannt sind, weshalb nicht schon hier in erster Linie die Ausscheidung der aufsteigenden Metallösungen erfolgte. Zweifellos waren bei diesen älteren bituminösen Schiefer-schichten chemisch vielfach dieselben Bedingungen gegeben. Denn

diese Schichten sind denen des Zechsteins oft sehr ähnlich und sie haben daher in früheren Zeiten nicht selten sogar zu Verwechslungen mit dem Kupferschiefer Veranlassung gegeben, und immer wieder wird in der älteren Literatur ausdrücklich die petrographische Ähnlichkeit dieser Schichten betont. Es wäre durchaus unrichtig, wollte man annehmen, daß der Kupferschiefer, was seinen Bitumengehalt anbelangt, eine Sonderstellung innerhalb der Sedimente einnehme. Bituminöse Mergelschiefer haben eine weite Verbreitung und kommen in zahlreichen Schichten vor. Es sei für Deutschland nur auf die so oft bitumenreichen Juraschichten hingewiesen.

Neuerdings ist der Auffassung Ausdruck gegeben worden, daß die permischen Eruptivgesteine und insbesondere der Quarzporphyr die ursprünglichen Träger der Erze seien, die heute der Kupferschiefer enthält. Danach wären also im Zusammenhang mit den permischen Absätzen von Ergußgesteinen aufsteigende Metallösungen in den Kupferschiefer eingedrungen.

Die Art der Erzimprägnation ist damit jedoch noch nicht klar festgelegt; es können vielmehr dann zwei prinzipiell verschiedene Arten von Erzwanderungen statthaben, einmal eine solche im direkten Anschluß an die Bildung der Ergußgesteine als Nachwirkung des permischen Vulkanismus, als postvulkanischer Vorgang, und zweitens eine Umlagerung des Erzgehaltes, der ursprünglich in den Eruptivmassen selbst enthalten war und in späterer Zeit durch Wasserlösung aus denselben ausgelaugt und im Kupferschiefer wieder ausgefällt wurde.

Nimmt man postvulkanische Vorgänge als maßgebend für die Entstehung des Metallgehaltes des Kupferschieferflözes an, so ist nicht einzusehen, weshalb die Wirkungen der Pneumatolyse und pneumatohydatogener Prozesse, d. h. von Gasen und heißen Wässern, die möglicherweise die Erzbringer gewesen sein könnten, nicht schon in den jüngeren Rotliegendeschichten deutliche Zeichen ihrer Anwesenheit hinterlassen haben. Es ist eine feststehende Tatsache, daß die postvulkanischen Prozesse sofort mit dem Erlöschen des eigentlichen Vulkanismus einzusetzen pflegen, zuerst am lebhaftesten, und im Laufe der nächsten geologischen Perioden allmählich abklingen und dann völlig verschwinden. Es hätten also unbedingt die deutlichsten Anzeichen dieser postvulkanischen Tätigkeit in den die Eruptivmassen direkt überlagernden Schichten erkennbar sein müssen, während solche überhaupt nicht vorhanden sind. Nirgends lassen sich solche Veränderungen über den Porphyrablagerungen erkennen, vielmehr setzt die Erzführung erst plötzlich an der Grenze zum Zechstein ein. Das spricht ganz gegen die eben angenommene Auffassung.

Es wäre aber auch die Anreicherung der Erze entlang den Rücken auf diesem Wege nicht erklärbar. Denn die Rücken sind Gebilde einer viel jüngeren Zeit. Die Tektonik, die z. B. aus dem Mansfelder Bezirk genau bekannt geworden ist, ist sicher in ihren ersten Anlagen frühestens jungjurassisch und im wesentlichen in der Kreide- und Tertiärzeit entstanden. Da nun die postvulkanischen Erscheinungen der Permzeit, wenn überhaupt man solche annehmen will, schon lange vor der Jurazeit aufgehört haben müssen, so wäre die Erzführung der viel jüngeren Rücken auf diesem Wege keinesfalls erklärbar.

Es könnte also nur in Frage kommen, daß zirkulierende Wässer in späterer und hauptsächlich in und nach der Bildungszeit der Rücken aus dem Quarzporphyr das Erz ausgelaugt und im Kupferschiefer abgelagert haben.

Dieser Auffassung steht einmal die außerordentliche Undurchlässigkeit des Quarzporphyrs gegenüber, der höchstens oberflächlich oder auf Klüften von den Wässern hätte angegriffen werden können und dann unmöglich die außerordentlich hohen Kupfermengen liefern konnte, die heute in ungeheurer weiter Erstreckung und in größten Mengen im Kupferschiefer sich finden.

Auch wäre keinesfalls verständlich, warum in den weiten Gebieten, die frei von permischen Ergüssen in ihrem Untergrunde sind, trotzdem das Kupferschieferflöz erzhaltig ist, und warum umgekehrt in denjenigen Gebieten, in denen nachgewiesenermaßen große permische Magmenergüsse stattgefunden hatten, wie z. B. bei Ilfeld oder am nordwestlichen Thüringer Wald, nicht ganz besonders wertvolle Kupferschiefergebiete sich finden.

Noch unwahrscheinlicher wird aber die eben gemachte Annahme, wenn man berücksichtigt, daß nirgends auf der ganzen Welt Quarzporphyre und überhaupt saure Eruptivgesteine Träger des Kupfergehaltes gewesen sind. An keiner Stelle der Erde ist bisher ein saures Eruptivgestein auf Kupfer ausgebeutet worden. Vielmehr ist der Kupfergehalt offenbar an basischere Magmen gebunden, an Melaphyre und Diabase, an Diorite und Gabbros.

Schließlich ist, wenn man die Porphyre als ursprüngliche Träger der Erze des Kupferschiefers betrachtet, weder über den Silbergehalt noch über eines der übrigen zahlreichen und zum Teil in ziemlichen Mengen im Kupferschiefer vorhandenen Metalle etwas ausgesagt. Mir will es scheinen, als könnten so viele und genetisch so heterogene Metalle überhaupt nicht aus einem einzigen Magma stammen. Ein Versuch, diese Unwahrscheinlichkeit zu klären, ist bisher von seiten der Epigenetiker überhaupt nicht gemacht worden.

Ja, auch der Nachweis irgendeines der zahlreichen Metalle des Kupferschiefers in den permischen Porphyren ist bisher nicht gelungen, abgesehen von einem einzigen, reichlich fraglichen Fall von metallischem Kupfer (Reduktion unter Zementation!) auf Klüften des Porphyrs von Zwickau.

Die Lösung des Rätsels kann eben nur so gefunden werden, daß man die Erzführung als Folge aufsteigender Lösungen als unrichtig ablehnt.

5. Es ist nicht sehr wahrscheinlich, daß aufsteigende Metallösungen gerade in die bituminösen Mergelschichten eingedrungen wären und hier in Form von Sulfiden sich abgesetzt hätten. Von Groddeck und Stelzner-Bergeat haben schon darauf hingewiesen, daß die metasomatische Umwandlung vor allem die Kalke und Dolomite, nicht aber den Mergelschiefer betroffen haben müßte. „Tatsächlich sind auch erstere an verschiedenen Orten von Gangspalten aus in Eisenerze umgewandelt, und stellenweise, wie zu Kamsdorf, finden sich in diesen auch ganz untergeordnet ähnliche Kupfererze wie auf den Gängen selbst. Gerade zu Mansfeld aber zeigen die Kalkschichten im Hangenden des Kupferschiefers gar keine Metasomatose“ (Bergeat).

Nimmt man ein Aufsteigen der Lösungen auf Klüften und Gängen, in den „Rücken“, an, so ist nicht einzusehen, weshalb sulfidisches Erz nicht auch ohne Hinzutreten von Bitumen sich im Rotliegenden selbst ausscheiden sollte. Die rote Farbe von Gesteinen und damit der Mangel jeglichen Bitumens ist keinesfalls ein Hinderungsgrund für die Entwicklung von sulfidischen Metallabsätzen. So sei hier nur auf die weite Verbreitung von Kupfererz führenden Gängen im rotgefärbten Buntsandstein des Schwarzwaldes hingewiesen, von dem das Vorkommen von Neubulach wohl das bekannteste ist; sind doch dort in jüngster Zeit wieder Schürfarbeiten wegen des in den Erzen gefundenen Goldgehaltes neu unternommen worden.

Es ist überhaupt unrichtig, ohne weiteres eine Ausfällung der Erze als Sulfide unter dem reduzierenden Einfluß von Bitumen anzunehmen. Nur sulfatische Erzlösungen vermögen unter solchen Umständen zu Sulfiden umgewandelt zu werden, zumeist aber werden die Metallverbindungen zu Metallen reduziert. Wenn man überhaupt eine Ausscheidung von Sulfiden aus Metalllösung annehmen will, so ist der wirksame Bestandteil der organischen Substanz der Schwefelgehalt der Eiweißprodukte bzw. der aus ihnen entwickelte Schwefelwasserstoff, aber nicht der Bitumengehalt schlechthin.

6. Des weiteren erscheint es als fast unmöglich, daß in ein festes, dichtes, fast porenloses Gestein durch Eindringen von Lösungen eine Imprägnation mit sulfidischem Erz in allerfeinster Verteilung erfolgt ist insbesondere auch da, wo der Kupferschiefer von Rückenspalten weit entfernt ist. Denn bei Imprägnation von außen muß man eine allmähliche Abnahme des Erzgehaltes von den Rücken aus gegen das unzerrüttete Gebirge erwarten.

Dies ist aber durchaus nicht überall der Fall. Vielmehr gibt es neben den zahlreichen Stellen, bei denen von den Rücken aus der Erzgehalt tatsächlich abnimmt, aber auch solche in großer Zahl, bei denen die Erzführung mit Entfernung von erzarmen oder völlig tauben Spalten immer mehr steigt, während der Erzgehalt an wieder anderen Rücken völlig unbeeinflusst bleibt. Diese Tatsache ist von alters her wohlbekannt. Sie ist aber bei Annahme einer epigenetischen Erzführung unverständlich.

Es ist auch darauf hinzuweisen, daß unter dem Mikroskop, wie auch Bergeat und Berg betonen, im unveränderten Kupferschiefer eine Erzeinwanderung nicht zu erkennen ist. In dem unzerrütteten Gestein ist das Erz im allgemeinen in Form allerfeinster staubförmiger Kornpünktchen von automorpher Umgrenzung ausgeschieden und oft zu dichten Schwärmen angehäuft. Die Erzkörnchen liegen meist in den Bitumen-Fasern, welche zusammen mit Erdalkalikalcarbonat (Kalk bzw. Dolomit) das ganze Gestein durchziehen. Dieser mikroskopische Befund weist durchaus auf syngenetische Bildung hin. Daher ergeben sich auch nach Stelzner „ganz gewiß keine Beweise dafür, daß der Erzgehalt den Schichten durch die Spalten zugeführt worden ist.“

Auch die außerordentlich große Entfernung des kupfererzführenden Kupferschiefers von Rücken, die oft beobachtet ist, spricht gegen die Möglichkeit der Infiltration von den Rücken aus. Auch Stelzner wendet sich dagegen, wenn er sagt: „Niemals ist bekannt geworden, daß auch die mächtigsten Erzgänge ihr Nebengestein auf hunderte von Metern hin mit Erz imprägniert hätten.“

Schließlich ist auch die praktische Tatsache nicht außer acht zu lassen, daß im Mansfeld-Eisleber Bezirk völlig flächenhaft abgebaut worden ist, und daß nur ganz beschränkte Flächen unabgebaut liegen gelassen worden sind. Die in Abb. 6 auf S. 43 beigegebene Kartenskizze, die die abgebauten Teile der Mansfelder und Eisleber Reviere darstellt, zeigt, daß einerseits ein großer Teil der nicht abgebauten Flächen unter Ortschaften und Anlagen des Werkes liegt und insbesondere auch als Sicherheitspfeiler für die Schächte, die Flächen und z. T. für die Strecken stehen geblieben ist, während andererseits gerade Teile in Rückenpartien noch nicht abgebaut sind. Nur ein geringer Teil der unabgebauten Flächen fällt nicht in diese Rubrik. Die bisher stehen gelassenen Rückenpartien könnte man — entgegen der gern aufgestellten Behauptung, daß alle Rücken in erster Linie erzführend seien — so deuten, daß gerade hier geringe Gehalte von Erz vorhanden seien. Tatsächlich handelt es sich dabei aber im wesentlichen um durch die Verlagerungen im Zusammenhang mit den Rückenbildungen erschwerten und daher verlangsamten Abbau. Alles in allem genommen ist jedenfalls kein Einfluß der Rücken oder der rückenfreien Teile auf den Gesamtabbau der Fläche nach zu erkennen.

Gegen die Annahme eines ausschlaggebenden Einflusses der Rücken auf die Erzführung spricht auch die seit vielen Jahren nur um wenige Bruchteile eines Prozents schwankende Produktion an Kupfer, die sich, auf die Minern bezogen, praktisch genommen nahezu gleichgeblieben ist, gleichgültig, ob an Rücken reiche oder arme Flächen abgebaut worden sind. Die aufgetretenen Schwankungen lassen sich durch andere Ursachen erklären. Man vergleiche die

für 56 Jahre angegebene prozentuelle Kupferproduktion der Mansfeldschen Gewerkschaft, die auf S. 95 mitgeteilt ist.

7. Die Auffassung Pošepnys, daß die Erzführung des Kupferschiefers auf metasomatische Umwandlung, auf die Verdrängung eines ursprünglich im Schiefer vorhandenen Gipsgehaltes zurückzuführen sei, ist ebenfalls unrichtig, wenn auch aus anderen Gründen, wie in bezug auf den Bitumengehalt angeführt wurde.

Denn erstens kann primär kein Gipsgehalt in diesen bituminösen Mergelgesteinen vorhanden gewesen sein. In einer Schicht, die aus einem Meer hervorgegangen ist, das einst an seinem Gestade ein reiches Tierleben von echten Meerestieren (Brachiopoden, Cephalopoden usw.) entfaltete, und in dem auch in den strandferneren Gebieten Fische sich tummelten, kann kein Gips oder Anhydrit niedergeschlagen worden sein. Die Organismen waren die Ursache für einen so hohen Ammoniumkarbonatgehalt des Meeres, daß zwar Karbonate, aber keine Sulfate ausfielen. Denn das Ammoniumkarbonat ist die Ursache dafür, daß die Bildung des Kalziumsulfats verhindert und die Ausscheidung des Kalziumkarbonats begünstigt wird. Kommt es in einem Meer erst zur Ausfällung der Sulfate, dann ist wohl alles organische Leben, mindestens aber die genannten reinen Weltmeerformen, in den Seen, die diese Sedimente liefern, erloschen. Keinesfalls kann es aber dann zur Anhäufung bituminöser Schichten kommen. Wo in Gipslagern Reste von Tieren gefunden sind, z. B. in Bänken des schwäbischen Gipskeupers, da findet man sie ausschließlich in kalkig-dolomitischen Bänken, die dem Gips zwischengelagert sind, eingebettet. Wo die Fossilien lokal vergipst sind, kann man die sekundäre Einwanderung des Gipses und die Verdrängung der Karbonate in allen Fällen nachweisen. Fossil- und Bitumengehalt des Kupferschiefers schließen somit die primäre Ablagerung von Gips aus. Daher fehlt die erste Voraussetzung für die Annahme Pošepnys.

Aber auch aus einem zweiten Grunde ist die primäre Gipsführung nicht anzunehmen. Auf den Rücken findet man nicht selten Schwerspat ausgeschieden. Es ist unverständlich, weshalb dann unter der Voraussetzung, das Kupferschieferflöz habe primären Gipsgehalt aufgewiesen, der Gips nicht in erster Linie eine Metasomatose in Schwerspat unter Austausch des Kalziums gegen Baryum erlitten hat. Bergeat meint mit Recht: „Man fragt demgegenüber unwillkürlich, warum dann der Schiefer nicht zu einem schwerspatführenden Flöz geworden ist, während doch keine der Analysen darin Baryt nachgewiesen hat!“

8. Es bestehen jedoch auch Bedenken wegen der Spalten selbst und damit wegen der Möglichkeit des Aufstieges der Metallösungen aus der Tiefe. Brückmann liefert einen ausschlaggebenden Beweis, daß der Erzgehalt des Kupferschieferflözes keinesfalls aus der Tiefe stammen könne. Er zeigt, daß die Rückenspalten, auf denen man das Aufsteigen der Metallösungen aus der Tiefe annehmen muß, wohl nur in seltenen Fällen nach unten fortsetzen, sondern meist in geringer Tiefe unter dem Kupferschieferflöz im Rotliegenden verschwinden. Brückmann, der im Mansfeldischen aufgewachsen ist und bei der Kupferschieferbauenden Gewerkschaft tätig war und auch nach seiner vorzüglichen Arbeit als gründlicher Kenner der dortigen Verhältnisse sich erweist, hat in den weit ausgedehnten Gruben des Mansfelder Bezirkes nur einen einzigen Fall beobachtet, daß eine Rückenspalte in größere Tiefe fortsetzte. Dagegen konnte er das Durchgehen der Hauptrückenspalten nach dem Hangenden verfolgen. Es ist somit schon wegen des Fehlens allgemein in die Tiefe gehender Spalten unmöglich, daß die Erzlösungen von unten aufgestiegen sind.

Diese Angaben mögen manchem ungewöhnlich oder gar unrichtig erscheinen, der gewohnt ist, ein Fortsetzen der Spalten in unendliche

Teufe anzunehmen. Man mag entgegenhalten, daß es eben infolge der Gleichartigkeit des Rotliegenden nicht gelungen ist, die Rücken in die Tiefe zu verfolgen, da sie von einer einfachen Kluft nicht mehr unterscheidbar waren.

Aber man kann auch der Brückmannschen Angabe volle Glaubwürdigkeit beimessen, wenn man berücksichtigt, daß z. B. für den Schweizer Jura von Buxtorf nachgewiesen wurde, daß die Schichten unter dem Mittleren Muschelkalk verhältnismäßig ungestört lagern, und daß erst die höheren Schichten in die Falten und Abbrüche, die den Schweizer Jura kennzeichnen, gelegt wurden, indem sie über den weichen Schichten des Mittleren Muschelkalks hinweggeschoben wurden. Es handelte sich hier um tektonische Bewegungen und damit um Verlagerungen, deren Ausmaß zum Teil durch die Beschaffenheit des Gesteins bedingt ist. Wer denkt nicht im Vergleich zu jenen Verhältnissen an die wirre und weder von den liegenden noch von den hangenden Schichten in gleichem Maße mitgemachten tektonischen Verlagerungen, an jene Lachmannschen Ekzeme oder wie man die Salzstöcke bezeichnen will, kurz an die Verschiebungen innerhalb des Salzgebirges des Mittleren und Oberen Zechsteins, die überall in den Kalisalzbergwerken konstatiert sind und dem Geologen manche schwierige Aufgabe bei der Entwirrung der Lagerungsverhältnisse stellen! Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, sondern sogar sehr wohl möglich, daß zwar der Kupferschiefer als verhältnismäßig weiches Gestein an den Verlagerungserscheinungen des Hangenden einigen Anteil hatte, der sich zwar nicht mehr in großen Stauchungen, aber wenigstens in Sprüngen und geringen Verlagerungen äußerte, daß aber die dabei entstehenden Sprünge nicht mehr tief und nur zum kleinen Teil in das harte und unbewegliche Rotliegende hinabgereicht haben.

9. Einen scheinbar klaren Beweis gegen die Syngenese des Erzes und für seine Epigenese hat endlich Mertens erbracht. In mühsamer Untersuchung hat er für die an einzelnen Rücken in einem Zeitraum von etwa 10 Jahren abgebauten Felder den Gesamtgehalt an Kupfer berechnet. Er hat hierzu aus der in den Probebüchern eingetragenen Mächtigkeit der Lagen und der von den Grubenrissen entnommenen Ausdehnung der abgebauten Felder den kubischen Inhalt der gewonnenen Minern festgestellt, und nach dem Gehalte der genommenen Proben den Gesamtgehalt an Kupfer berechnet. Der Durchschnittsgehalt entlang den Rücken konnte dann mit dem allgemeinen Durchschnittsgehalt des Flözes, d. h. dem Gehalte entfernt von den Rücken, verglichen werden. Durch die Berechnung ergab sich in allen Fällen als Resultat, daß in der Umgebung der Rücken ein Mehrgehalt gegenüber den Mengen, die bei normaler Lagerung gefunden wurden, vorhanden war. Aus dieser Berechnung wurde darauf geschlossen, daß eine Erzzuführung von außen her stattgefunden haben müsse.

Ohne auf die Frage der Möglichkeit einer solchen Erzzufuhr an dieser Stelle näher einzugehen, sei hier nur darauf hingewiesen, daß die besprochene Untersuchungsmethode — so sorgfältig im einzelnen die Arbeit gewesen sein mag — prinzipiell verfehlt war. Der Fehler lag darin, daß nur die abgebauten Mächtigkeiten, und zwar auch hiervon nur ausgewählte und geklaubte und somit künstlich angereicherte Teile des Ganzen, nicht aber stets das ganze Schichtpaket in jeweils gleicher Dicke in Rechnung gezogen wurden. Dadurch blieben alle Schichten, die unter etwa $1\frac{1}{2}\%$ Cu enthielten und daher wegen zu geringen Gehaltes an Erz ungebaut blieben, unberücksichtigt. Diese geringhaltigen Schichten aber hätten das Gesamtergebnis zweifellos völlig verändert. Die Untersuchung kann daher nicht als stichhaltig anerkannt werden und ist deshalb ohne Bedeutung für die Frage der Syngenese oder Epigenese der Erze des Kupferschiefers.

Auch ist zu berücksichtigen, daß eine Anreicherung der Erze entlang den Rücken noch lange keine Epigenese beweisen muß. Vielmehr kann ebensogut auch infolge von späteren Umlagerungserscheinungen, lange nach dem Absatz der Erze, eine Anreicherung entlang den Rücken stattgefunden haben, es können, wie das im folgenden dargelegt werden wird, nach syngenetischer Bildung des Erzes sekundäre Umwandlungen innerhalb des Erzlagers erfolgt sein.

Schließlich sei daran erinnert, daß Absätze auf Spalten keineswegs, wie man gemeinhin annimmt, nur aus der Tiefe nach oben gedungen sein können, sondern daß auch eine Wanderung von Erzlösung aus dem umgebenden Gestein heraus, eine Lateralsekretion im Sinne Sandbergers, stattgehabt haben kann, wie dies im dritten Teil der Abhandlung näher dargelegt werden wird.

Die Auffassung, daß der mitteldeutsche Kupferschiefer eine epigenetische Erzlagerstätte darstelle, muß auf Grund des vorstehenden, in dem eine große Reihe von Gegenbeweisen ins Feld geführt werden konnte, durchaus verneint werden. Die kritischen Betrachtungen über die Frage der Syngeneese oder der Epigenese der Erze des Kupferschiefers haben vielmehr zu einer uneingeschränkten Anerkennung der Theorie des Syngenisismus geführt.

Und doch erkannte man, daß mit reiner Syngeneese die heutige Ausbildung des Kupferschiefererzes unmöglich erklärt werden kann, daß vielmehr auch die Annahme einer späteren Erzbildung bzw. Erzumwandlung mancherlei Gründe für sich hat. Denn eine Reihe von Tatsachen, unter denen die ungleichartige Verteilung der Erze in horizontaler und vertikaler Richtung die wichtigste ist, können durch Syngeneese allein nicht erklärt werden.

Es haben daher die Vertreter beider Richtungen mindestens insofern Recht, daß sie die Auffassung der anderen ablehnen, da weder durch Syngeneese noch durch Epigenese allein die heutigen Bildungen erklärbar sind.

Man hat deshalb, und nicht ohne Grund, sich gefragt, ob nicht überhaupt zwei verschiedene Arten von primären Erzlagerstätten im Kupferschiefer aufs engste verzahnt und daher zu einer scheinbar einheitlichen Lagerstätte vereinigt vorliegen: eine syngenetische, als Sediment gebildete, und eine epigenetische, von Spalten aus in den Kupferschiefer eingedrungene. Danach wären also zwei prinzipiell verschiedene Formen primärer Erzbildung zu unterscheiden, die zu verschiedenen Zeiten sich entwickelt haben, und deren Absätze voneinander völlig verschieden gebildet, jedoch äußerlich mehr oder weniger ähnlich sind und örtlich sich aufs engste aneinander anschließen.

Diese Frage ist in der Tat ernsthafter Erörterung wert. Man hätte danach anzunehmen, daß nach der Bildung des syngenetischen, des „wesentlichen“ Erzgehaltes epigenetisch ein sogenannter „akzessorischer“, zu dem schon vorhandenen hinzutretender Erzgehalt hinzugekommen sei, der von den Verwerfungen, den sogenannten Rückenspalten, aus in das Kupferschieferflöz eingewandert sei.

Die Fragen, die im folgenden behandelt werden, beziehen sich somit im wesentlichen auf die Deutung des Rückenproblems. Mit diesem Problem sind alle weiteren Fragen in diesem zweiten Teil der Arbeit verknüpft.

3. Der Kupferschiefer als syngenetische Lagerstätte mit akzessorischer Erzeinwanderung.

Zugunsten der Auffassung des „akzessorischen“ Erzgehaltes der Rücken, also einer zweiten Art von Erzzufuhr, die, wie im folgenden ausgeführt wird, nicht anerkannt werden kann, wird allgemein darauf hingewiesen, daß die

Erzanreicherung zu beiden Seiten der Rücken sich nur bis auf wenige Meter erstrecke.

Bäumler und Stelzner-Bergeat sind der Auffassung, daß auf den Rücken nur eine beschränkte Anzahl von Erzen aus den Klüften ins Gestein eingedrungen sei, während Brückmann, Köhler und Geipel annehmen, daß auch in bezug auf den Erzgehalt die akzessorischen Erze mit den syngenetischen im wesentlichen übereinstimmen.

Für die akzessorische Erzeinwanderung in den Kupferschiefer ist es weiterhin von Bedeutung, ob man diese Erzeinwanderung als von unten aufgedrungen oder als von oben nach unten abgesetzt ansieht, ob man Aszendenz oder Deszendenz annimmt.

Auch gehen, soweit Deszendenz vorausgesetzt wird, die Meinungen darüber auseinander, aus welchen Schichten die Erzwanderung in die Tiefe erfolgt sei oder ob sie etwa von der Oberfläche des Gebirges zu irgendeiner Zeit ausgegangen sei.

i. Von Stelzner-Bergeat und Beck wird die Tatsache ins Feld geführt, daß auf den Rücken sich zum Teil Mineralien und Erze ausgeschieden haben, die sich in dem normalen Kupferschieferflöz nicht finden. Es wird daher von dieser Seite die Auffassung vertreten, daß die Rücken der Mansfelder und insbesondere der Sangerhäuser Reviere zu den Schwerspat-Nickel-Kobaltgängen gehören. Sie „sind weder vom wissenschaftlichen noch vom technischen Standpunkt aus als Kupfererzgänge zu betrachten“. Denn sie haben keine engere stoffliche Verwandtschaft mit der Metallführung des Kupferschiefers. „Vielmehr kommen die in den Flözen verbreiteten Elemente, wie Kupfer, Zink, Blei, Silber und Schwefel, auf den Rücken im ganzen überhaupt nicht oder nur untergeordnet vor. Hier spielen Nickel, Kobalt und Arsen die Hauptrolle, und nur vereinzelt, wie zu Kamsdorf, bricht auch Kupfer in größerer Menge ein. Zinkblende scheint auf den Rücken überhaupt kaum bekannt zu sein, während es doch nicht nur im Mansfelder Kupferschiefer, sondern auch in den begleitenden kalkigen Schichten in bemerkenswerter Menge auftritt!“ (Bergeat).

Stelzner-Bergeat und Beck setzen die vorliegenden Verhältnisse somit mit denjenigen der Kobaltgänge von Schweina am Thüringer Wald und von Kamsdorf bei Saalfeld in Parallele, an welcher letztgenannten Orten nach Beyschlag Schwerspat führende Kobalt-Nickelgänge den Zechstein durchsetzen.

Auf den Rücken des Mansfeld-Eisleber Gebietes findet man an Mineralien in der Hauptsache Schwerspat, Kalkspat und Braunspat ausgeschieden, und zwar sitzt bei gemeinsamem Vorkommen der Schwerspat auf dem Kalkspat, ist also jünger als dieser. Noch jünger ist der Gips, der zuweilen zu diesen Mineralien hinzutritt. Selten sind Anhydrit, Cölestin, Quarz und Bitumen. Von Erzen ist in erster Linie Rotnickelkies (Kupfernichel) zu nennen, weiter häufig Schwefelkies und in geringen bis sehr geringen Mengen Kupferkies, Kupferglanz und Buntkupfererz. Endlich ist von den Rücken die Ausscheidung von Bleiglanz, Zinkblende und Molybdänglanz, als große Seltenheiten Gediegen Silber und Uranpecherz, letzteres in Form kleiner Kügelchen, bekannt.

„Ganz entsprechend den auch sonst bei Erzgängen zu machenden Wahrnehmungen hat zwar auch längs den Kobaltrücken eine Einwanderung von Nickel- und Kobalterzen in das Nebengestein stattgefunden; dieselbe erstreckt sich aber stets nur auf ganz geringe Entfernungen und hat mit der Erzführung des Kupferschiefers selbst nichts zu tun. Die „Rücken“ verhalten sich in solcher Beziehung nicht anders als die Erzgänge im allgemeinen.“ (Bergeat).

Anscheinend sind auf die Nickelerze nur ein Rücken bei Gerbstädt (23er Flözberg) und drei Rücken bei Sangerhausen abgebaut worden.

Danach könnte man in der Tat annehmen, daß diese Gänge echte Gänge seien, da sie nur ganz vereinzelt auftreten. Denn auch Brückmann, der nachwies, daß die Rückenspalten im allgemeinen in die Tiefe nicht fortsetzen, schließt doch das Vorkommen vereinzelter nach unten durchgehender Verwerfungen nicht völlig aus.

Das Vorkommen der Nickelerze ist jedoch viel verbreiteter, als man nach dem nur seltenen Abbau derselben annehmen möchte. Bäumler sagt zu diesem Punkt, daß die Nickelerze im Kupferschiefergebirge „zwar nicht selten, doch meist nur in geringen Quantitäten auftreten, und daß dieselben in dem Auge erkennbaren Mengen nur bei Lagerungsstörungen, und zwar, mit wenigen Ausnahmen, nur als Ausfüllung von gangartigen Rückenspalten sich zeigen“. Auch hat Bäumler keine Unterschiede in der Nickelführung der Spalten feststellen können. „Einige glaubten früher annehmen zu können, daß nur die kleineren im Flöz und Liegenden aufsetzenden Spalten und die Rückenläufer Nickelerze führten. Dagegen aber sprechen die Erfahrungen.“ Schon danach scheint es sich zu bewahrheiten, daß der Nickelgehalt im Kupferschieferflöz sehr verbreitet ist und jedenfalls weithin auf den erzführenden Rücken vorkommt.

Die analytische Untersuchung der Erze hat hier weitere Aufklärung gebracht. Man hat hierdurch einen allgemeinen Nickelgehalt des Kupferschieferflözes in Höhe von 0,018 ‰, also etwas mehr als der Silbergehalt beträgt, festgestellt.

Im Kupferstein, in dem das Erz auf das 10- bis 25fache angereichert ist, befanden sich 1888 auf der

Krughütte	Kochhütte	Kupferkammerhütte	Eckardthütte
Ni 0,300 ‰	0,205 ‰	0,398 ‰	0,327 ‰
Co 0,292 ‰	0,141 ‰	0,366 ‰	0,283 ‰

also durchweg eine ziemlich gleichartige Menge von Nickel und Kobalt und nirgends ein Fehlen dieser Elemente.

Offenbar ist der Nickel- und Kobaltgehalt vielfach nicht in der Form von frei vorkommenden Mineralien ausgebildet, sondern nur in feinsten Verteilung in der Speise enthalten, in der er nur auf chemischem Wege erkannt werden kann. Daraus ergibt sich, daß der Nickel- und Kobaltgehalt nicht allein auf die Rücken beschränkt, vielmehr allgemein im Flöz enthalten ist.

Da also der Nickel- und Kobaltgehalt im mitteldeutschen Kupferschiefer ebenso allgemein verbreitet ist wie der Kupfergehalt, so kann man, aus den im vorhergehenden Kapitel angegebenen Gründen, von einer Aszendenz der Kobalt-Nickelerze nicht sprechen, da diese eine unregelmäßige Verteilung der Metalle auf das Flöz voraussetzen müßte.

Gegen die Auffassung einer Aszendenz spricht auch die Angabe, daß der Rotnickelkies „in neuerer Zeit und auf den tieferen Bauen seltener geworden“ sei. Diese Notiz ließe im Gegenteil eher darauf schließen, daß die Bildung des Rotnickelkieses von oben her gefördert worden ist.

Man wird danach die Bildungen des Rotnickelkieses, des Schwerspates, Gipses usw. als Sekundärbildungen, als Umbildungen des ursprünglich ausgeschiedenen Erzes, betrachten können. Es ist durchaus möglich, diese auf den Rücken scheinbar von den übrigen getrennten Erze mit den anderen in genetische bzw. diagenetische Beziehungen zu bringen. Man hat dabei zu berücksichtigen, daß bei entsprechender Zusammensetzung und Konzentration der in den Spalten und Schichten vorhandenen Lösungen gerade Kobalt und Nickel mehr als andere Metalle gelöst, seitlich und auch in geringem Maße vertikal verfrachtet und als KupfERNickel wieder ausgeschieden worden sein können, so

Nickel.

daß sich Kobalt-Nickelgänge im Sinne der Sandbergerschen Lateralsekretion bilden konnten. Es wird hierüber im folgenden Teil eingehend zu berichten sein. Es sei aber gleich hier ausdrücklich darauf hingewiesen, daß bei Kamsdorf und Schweina offenbar echte Kobalt-Nickelgänge vorkommen, während dies im zentralen Kupferschiefergebiet nicht der Fall ist. Man darf diese örtlich und genetisch verschiedenen Lagerstätten keinesfalls als gleichartige Bildungen betrachten. Besonders deutlich unterscheiden sich die Vorkommen von Kamsdorf von denen des Kupferschiefers in den einstigen zentraleren Meeresgebieten auch dadurch, daß bei Kamsdorf Fahlerz als eines der wichtigsten Erze auftritt, während es im mitteldeutschen Kupferschiefer völlig fehlt.

2. Geipel vertritt die Auffassung, daß die Anreicherung des Kupferschiefers an den Rücken eine Folge der Heranführung und des Neuabsatzes von Kupfererzen durch die Wasserzirkulation sei, „derart, daß sich in dem höher gelegenen, jetzt der Vernichtung anheimgefallenen Flözgebiet, welches ehemals den Südharz bedeckte, oxydische Kupferverbindungen bildeten, welche mit dem Grundwasser auf den Rückenspalten in die Tiefe abwanderten, um dort durch Reaktionen mit den vorhandenen primären Sulfiden reichere Sulfide zu bilden. Die Abwanderung wurde begünstigt, einmal durch den Verlauf der Rückenspalten selbst, welcher ausschließlich nach diesem Feld hin gerichtet ist, zum andern durch die Höhenlage des denudierten Gebietes und den dadurch bedingten hydrostatischen Druck der auf den Spalten eindringenden Wasser. Unterstützt wurde diese Metallzuführung möglicherweise auch noch durch die Abtragung der zahlreichen Diabasvorkommen im Devon des Südharzes mit ihrem magmatischen Erzgehalt.“

Hierzu ist anzuführen, daß zweifellos im Bereiche des Harzes kupferführender Kupferschiefer und Diabas im Laufe der Zeiten der Zerstörung anheimgefallen sind. Es ist aber recht fraglich, ob die gelösten Erzmassen die Anhäufung von Kupfererz in großer Tiefe veranlassen konnten. Bekanntlich ist am Ausgehenden des Kupferschiefers zumeist der Kupfergehalt völlig ausgelaugt und weggeführt. Von einer Erzzufuhr und Erzanreicherung in einer besonderen Zementationszone im Sinne von Beyschlag und Krusch ist, wie später gezeigt werden soll, nichts zu erkennen. Diese Art von Zementation hätte sich außerdem kaum etwa weiter als auf die Gesteinspartien erstrecken können, die ungefähr in der Höhe des Grundwasserspiegels, also meist nur wenige Meter unter der Erdoberfläche, liegen. Es ist aber heute nirgends beobachtet, daß Kupferlösungen in größere Tiefe eindringen, ein Vorgang, der sicher heute noch sich fortsetzen könnte, wenn er überhaupt stattfinden würde.

Auch wäre es ganz unverständlich, anzunehmen, daß die Kupferlösungen in größere Tiefe, etwa auf Spalten, die durch die Salz-, Gips- und Anhydritschichten des Zechsteins laufen, hindurchgedrungen wären. Denn zweifellos hätten diese Wässer zur Auflösung der Salze und des Gipses bzw. zur Umwandlung des Anhydrits und zur Volumvermehrung bei der Bildung des Gipses und daher zum Abschluß der entstandenen Spalten Veranlassung gegeben. Ein solches Tieferdringen der Lösungen bis unter die Salz- und Gipszone, ohne daß dabei heute noch deutlich erkennbare stärkste Veränderungen gerade in diesen Zonen stattgefunden hätten, ist somit völlig ausgeschlossen.

Sollte man annehmen, daß die Wässer etwa vom Ausgehenden des Kupferschieferflözes innerhalb der bituminösen Schiefer bzw. des Unteren Zechsteins überhaupt in die Tiefe gedrungen seien, so ist nicht einzusehen, weshalb dann heute in den in größerer Tiefe liegenden von Salzen überdeckten Teilen des Flözes keinerlei Feuchtigkeit zu beobachten ist und im Gegenteil, wie z. B. im Vitzthumschacht, völlige Staubbrockenheit herrscht.

Es ist somit eine Beziehung des heute noch von unausgelaugtem Zechstein überdeckten Kupferschieferflözes mit der Oberfläche seit dessen Bildungszeit nicht anzunehmen.

Im Gegenteil ist festgestellt, daß die Auslaugungsprodukte von Kupferschiefer von jeher nicht in die Tiefe zu wandern pflegen, vielmehr dauernd weggeführt werden, in die Flüsse übergehen und von ihnen aus ins Weltmeer gelangen. Es wird auf diesen Punkt weiter unten in einem der folgenden Kapitel der Abhandlung ausführlich eingegangen werden.

Endlich sei auf einen Irrtum aufmerksam gemacht, der dem ungenügend Geschulten unterlaufen mag. Man könnte annehmen, daß Lösungen von Metallverbindungen besonders wegen ihres höheren spezifischen Gewichts, als gewöhnliches Wasser besitzt, in die Tiefe sickern, dort sich anreichern und zur Ausscheidung und Anhäufung von Erzen Veranlassung geben. Diese Auffassung ist durchaus irrtümlich. Das Wasser sickert nur bis zum Grundwasserspiegel vertikal in die Tiefe. Bis zum Grundwasserspiegel reicht aber auch die Einwirkung des Sauerstoffs, der die Entwicklung oder Erhaltung von Sulfiden ausschließt und dem Gestein eine rostfarbene gelbliche bis bräunliche Farbe verleiht. Wo Sulfide erhalten geblieben oder gar neu gebildet sind, ist der den Sauerstoff nach unten abschließende Grundwasserspiegel durchsunken. Hier aber herrschen — soweit überhaupt eine gewisse, wenn auch unendlich geringe, Wasserbewegung existiert — horizontale oder nur sehr schwach geneigte Bewegungen vor. Im allgemeinen wird das Wasser das ganze Gestein nach unten bis zu einer wasserundurchlässigen Schicht durchtränken und in ihm fast bewegungslos verharren. Derartiges Wasser läßt aber von oben her zutretende kupferhaltige und daher spezifisch etwas schwerere Wasser keinesfalls durchsickern. Konvektionsströmungen, wie sie im freien Wasser vorkommen, sind wegen der starken Reibung des Wassers am festen Gestein in den Poren, in Spältchen und feinen Klüften fast unmöglich. Vielmehr werden die Wasser sich gegenseitig vermischen. Ja, selbst wenn spezifisch schwere Kupferlösung aus irgendeiner Ursache in größere Tiefe gelangt sein könnte und darüber elektrolytarmes Wasser sich befände, so würde die Kupferlösung durch Diffusion der gelösten Substanz allmählich an Konzentration abnehmen und Kupfer — entgegen der Wirkung der Schwerkraft — nach oben in das kupferarme Wasser abgeben. Da aber das oben stehende Wasser stets durch neues salzarmes Sickerwasser, das durch die Niederschläge gespeist wird, vermehrt bzw. ersetzt werden kann, so kann der Vorgang des Austausches von Kupferlösung nach oben dauernd weiter vor sich gehen, ohne daß eine Sättigung der Lösung zu erwarten wäre. Keinesfalls also würden in der Tiefe Kupferverbindungen in fester Form ausgeschieden und angereichert. Es liegt hier derselbe Fall vor wie zwischen einer Zuckerlösung auf dem Grunde eines Glases, die vorsichtig von einer Schicht destillierten Wassers überdeckt wird, ohne daß die beiden Lagen sich mischen. Trotzdem wird in wenigen Tagen die Zuckerlösung durch Diffusion sich mit dem destillierten Wasser mehr oder weniger vermengt und damit an Konzentration abgenommen haben.

3. Aus demselben Grunde, wie im vorhergehenden zweiten Abschnitt dargelegt, ist die ohne nähere Begründung angegebene Annahme Brückmanns abzulehnen, daß „der akzessorische Erzgehalt an den Rücken aus den hangenden Schichten des Zechsteins, wahrscheinlich aus dem Buntsandstein, herabgeführt worden“ ist.

Auch ist in keiner Weise darlegbar, woher dann der Metallgehalt gekommen sein soll. Im Buntsandstein oder den anderen hangenden Schichten waren zweifellos nie Erze in irgendwie so erheblichen Mengen und so gewaltiger allgemeiner Verbreitung vorhanden, daß sie zur Bildung der Rücken im

ganzen Verbreitungsgebiet des mitteldeutschen Kupferschiefers hätten Veranlassung geben können. Keinesfalls jedoch hätten diese unbekannteren Erzmengen ausgereicht, die gewaltigen Anreicherungen von Erz auf den Rücken zu erzeugen.

Wenn trotzdem auch in den größten heute erreichten Tiefen, die jetzt 700 m übersteigen, die Rückenbildungen nicht aufhören, sondern weiter beobachtet sind und wegen ihres hohen Erzgehaltes vom Bergmann geschätzt werden, so läßt sich dies nur dadurch erklären, daß sekundäre Umwandlungen im Kupferschieferflöz in großem Maßstab stattgefunden haben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß akzessorische Erzzufuhr in den Kupferschiefer weder von unten noch von oben angenommen werden kann.

Man mag der Auffassung sein, daß primäre Gangbildungen und sekundäre Erzumwandlungen aufs schärfste voneinander trennbar seien. Dies ist jedoch nicht unbedingt richtig, vielmehr läßt sich der Fall denken — und zwar hat er gerade bei der Entwicklung des Kupferschiefers seine Berechtigung —, daß epigenetische und sekundäre Erzbildungen aufs engste aneinander anschließen können.

Tritt allgemein bei den Umsetzungen, die sich zwischen zwei übereinanderliegenden Erzlagern vollziehen, die Vertikalbewegung der Lösungen gegenüber einer Horizontalbewegung zurück, so erfolgt organisch der Übergang von den primär epigenetischen zu den sekundären Vorgängen der Erzbildung.

Nimmt man z. B. an, daß die Erzlösungen nicht aus dem Buntsandstein, sondern aus gewissen Lagen des unteren Zechsteins stammten, so wird es fraglich, ob man die der Erzzufuhr dienenden Bewegungen der Lösungen innerhalb des Kupferschiefers nicht etwa zu den sekundären Umwandlungsvorgängen zu rechnen habe. In der Tat gehen hier die primären in die sekundären Vorgänge über.

Scheidet man zwei erztührende Schichten, welche übereinander liegen, als zwei getrennte Erzlager aus, so wird bei Auslaugung des einen Lagers und Absatz der dort gelösten Erze in der Umgebung einer anderen Schicht, etwa auf Klüften und Spalten, eine neue, epigenetische Erzlagerstätte erzeugt werden.

Liegen aber die beiden Schichten eng übereinander, so wird man eventuell unter Zusammenfassung der beiden Schichten nur von einer einheitlichen Erzlagerstätte sprechen. Gehen in diesem letzteren Falle Auslaugungsvorgänge aus dem Erzkomplex und Wiederablagerungen in demselben, also in im wesentlichen horizontaler Richtung, vor sich, so werden diese daher nur mehr als Umlagerungen, aber nicht als Neubildungen zu betrachten sein. Man wird daher nicht mehr von einer primär-epigenetischen, sondern von einer sekundären Umlagerung zu sprechen haben.

Es kommt schließlich nur auf die Mächtigkeit an, bis zu der man den Umfang einer einzigen Lagerstätte annehmen will, um im einen Falle die Abscheidungen als Neuabsätze, im anderen Falle als Umlagerungen zu deuten.

Der Vorgang der Erzumlagerung in im wesentlichen horizontaler Richtung, also auch in zumeist gleichem Gestein, ist derjenige, den man von jeher als Lateralsekretion bezeichnet. Nur ist im vorliegenden Falle die Lateralsekretion aus einer bereits vorhandenen Lagerstätte erfolgt, während man im allgemeinen die erste Anreicherung von Erz durch Auslaugung des nicht abbauwürdigen Nebengesteins als Lateralsekretion zu bezeichnen pflegt. Während also im allgemeinen die Lateralsekretion durch Auslaugung eines nur spurenweise

gewisse Erze enthaltenden Gesteins und Erzanreicherung auf Klüften und Spalten in dessen Nähe bis zur Ausbeutungsfähigkeit, also unter Bildung einer „primären“ Lagerstätte erfolgt, handelt es sich bei der Rückenbildung um zwar den eben beschriebenen völlig gleichartigen Vorgang mit dem alleinigen Unterschied, daß hier die Auslaugung und Umlagerung aus einer schon vorhandenen „primären“ Lagerstätte, dem Kupferschiefer, erfolgte, so daß es sich tatsächlich nur um einen Umwandlungsvorgang innerhalb derselben Lagerstätte, um „sekundäre Lateralsekretion“, handeln kann.

Damit ist der organische Übergang der primären zu den sekundären Vorgängen der Erzbildung gekennzeichnet und es sei daher auf das zweite Kapitel dieses Teils der Abhandlung eingegangen.

II. Die sekundären Veränderungen in der Erzführung des mitteldeutschen Kupferschiefers.

1. Gliederung der sekundären Veränderungen.

Wenn schon die Rückenbildungen und die sonstigen eigentümlichen Erzanreicherungen des mitteldeutschen Kupferschiefers nicht durch primäre Bildungen — seien sie rein epigenetischer oder akzessorischer Art — erklärt werden können, so müssen sie durch sekundäre Beeinflussungen, durch Umlagerungen, bis zu der Ausbildungsform umgestaltet sein, in der sie heute gefunden werden.

Auch alle sonstigen Verschiedenheiten nach Menge und Art der Erzführung: die Anwesenheit von an Kupfer besonders reichen Erzen, Buntkupfererz und Kupferglanz, den Reichsulfiden, das Vorhandensein erzärmerer oder gar tauber Partien im Kupferschiefer können nur durch sekundäre Veränderungen des Erzgehaltes gedeutet werden. Es handelt sich hier gleichfalls um Umlagerungs- und Konzentrationserscheinungen und weiter um Auslaugungsvorgänge, die zu einer Anhäufung oder aber zu einer Abnahme des ursprünglich vorhandenen Erzgehaltes und schließlich zu einem völligen Verschwinden desselben führen.

Daß derartige sekundäre Veränderungen in großartigstem Maße stattgefunden haben, hat man wohl erst in den letzten zwei Jahrzehnten vollkommen erkannt, abgesehen davon, daß man schon frühzeitig auf die Auslaugungserscheinungen durch Oberflächenwässer, soweit sie nahe der Oberfläche sich zeigten, aufmerksam geworden war.

In Stelzner-Bergeat sind erstmals die sekundären Veränderungen der Erze weithin verfolgt und zusammengefaßt. Krusch hat das große Verdienst, die „sekundären Teufenunterschiede in den Erzlagerstätten“ eingehend geklärt zu haben. Es sei daher in diesem Zusammenhang auf die Darstellung, die in Beyschlag-Krusch-Vogt gegeben ist, an dieser Stelle näher eingegangen.

Heute besteht wohl von keiner wissenschaftlichen Seite mehr ein Zweifel, daß sekundäre Veränderungen im Kupferschieferflöz stattgefunden haben. Es wäre jedoch unrichtig, wollte man die ganze Gruppe von Umwandlungsvorgängen als eine Einheit behandeln.

Seit Kruschs wertvollen Darlegungen kann man an Umsetzungserscheinungen der Erze zunächst der Erdoberfläche und oberhalb des Grundwasserspiegels, die an die aus der Tiefe bis in nächste Nähe des Grundwassers reichenden „primären“ Erze anschließen, Oxydationserscheinungen und Zementationsbildungen unterscheiden, und Krusch hat dementsprechend eine Oxydationszone und eine Zementationszone ausgeschieden.

In der Oxydationszone wirkt der von oben mit Bodenluft und Wasser eindringende Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft ein, indem er insbesondere die Eisen- und Manganverbindungen oxydiert und in gelben bis roten oder

braunen bis schwarzen Farben ausscheidet, eine Erscheinung, deren Entwicklung durch den scharfen Farbumschlag der Gesteine überall erkannt werden kann. Die edleren Erze sind hier häufig ausgelaugt, während z. B. Eisen als unbewegliches Oxyd bzw. Hydroxyd — als „Eiserner Hut“ — zurückbleibt.

Die edleren Erze sinken mit den Sickerwässern in die Tiefe, wo sie am Grundwasserspiegel, dessen Wasser chemisch andere Eigenschaften aufweist als das Sickerwasser, wieder ausgeschieden werden. Es bildet sich somit durch Zufuhr von oben hier eine Anhäufung, eine Konzentration von wertvollen Erzen, weshalb diese Zone technisch von größter Bedeutung ist. Krusch hat diese Anreicherungsschicht als Zementationszone bezeichnet. Er erklärt die Entstehung dieser Zone und ihre Tiefenlage folgendermaßen: „Derjenige Teil des Schwermetallgehaltes, welcher nicht in der Oxydationszone zur Ausscheidung gelangt, sondern in die Tiefe sinkt, wird durch die reduzierende Einwirkung der primären Sulfide usw. unterhalb der Oxydationszone in der Zementationszone ausgeschieden, und zwar entweder in Form von gediegenen Metallen oder von metallreichen Sulfiden. Als gediegene Metalle scheiden sich diejenigen mit geringer Verwandtschaft zum Sauerstoff ab, wie Gold, Silber, Kupfer usw. Unter den Sulfiden sind vor allen Dingen die reichen Kupfer- und Zinnsulfide bemerkenswert. In dieser Zementationszone können auf geringer Ganghöhe Metallmassen konzentriert sein, welche ursprünglich nicht nur im „Eisernen Hut“ vorhanden waren, sondern einer oberen Grenzpartie angehörten, die nachträglich der Abtragung zum Opfer gefallen ist. Die untere Grenze der Umlagerungszone kann in sehr verschiedener Höhe liegen. Ist der Zersetzungsvorgang vollständig, so macht er am Grundwasserspiegel halt.“ „Unter der Zementationszone folgt die primäre Zone.“

Diese Gliederung der Veränderungserscheinungen nahe der Erdoberfläche ist vom Verfasser vor nunmehr 12 Jahren auf alle Gesteine übertragen und inzwischen weiter ausgebaut worden. Insbesondere in meinem Buch über Verwitterung und Bodenbildung habe ich eingehend darüber berichtet.

Einmal ist über der Oxydationszone der Komplex der Verwitterungserscheinungen zu vervollständigen und noch die Detritationszone zu unterscheiden, in welcher, abgesehen von den rein chemischen Wirkungen, die auch in der Oxydationszone Platz greifen, auch mechanische Veränderungen, die Zermürbung und der Zerfall des Gesteins zu lockerem, grusigem, sandigem oder tonigem Material, zu Erde, stattfinden.

Endlich ist die mydotische Zone überall da noch als oberste dunkel-farbige humushaltige Bodendecke zu unterscheiden, wo die durch den absterbenden Pflanzenwuchs gebildete organische Substanz mehr oder weniger erhalten hat.

Für die Erklärung der Erzumlagerungen wichtiger ist die diagenetische Zone, die gleichfalls neu ausgeschieden werden mußte, und die an die Stelle der „primären Zone“ von Beyschlag-Krusch-Vogt tritt. Tatsächlich sind nämlich vielfach die „primären“ Gesteine und Erze nicht dauernd seit ihrer Bildung gleichartig geblieben, sondern haben auch in größerer Tiefe, unter dem Grundwasserspiegel, gewisse Veränderungen erlitten, die man, da sie mit Oxydations-, Zementations- oder Verwitterungserscheinungen in obengenanntem Sinne nichts zu tun haben, als diagenetische zu bezeichnen hat. Es sind das Vorgänge, die überall da sich vollziehen, wo ohne Einwirkung hoher Temperaturen und hoher Drucke, also ohne metamorphosierende Einflüsse, in der Tiefe Umwandlungsvorgänge in den Gesteinen eintreten.

So sind auch im Kupferschiefer von den Oxydations- und Zementationsvorgängen prinzipiell verschiedene Veränderungen vor sich gegangen, die

bis heute nicht genügend hervorgehoben worden sind. Und zwar kann man, infolge ungewöhnlich günstiger Umstände noch zwei verschiedene Arten von diagenetischen Vorgängen im Bereich des Kupferschiefers unterscheiden.

Untersucht man die Gesteine, die unter dem Grundwasserspiegel liegen, und in denen der Sauerstoff daher nicht mehr einwirkt, so zeigt sich im Bereiche der Kupferschiefergebiete weithin die Erscheinung, daß auch bis in größere Tiefe durch Wasser mineralisches Material in allergrößtem Maßstab gelöst und weggeführt worden ist. Bei schwerlöslichen und in geringen Mengen vorhandenen Mineralien, z. B. Erzen, wäre ein solcher Nachweis recht schwer zu führen. Es läßt sich dies aber an der Wegführung der Salze der Zechsteinformation in den oberen Teufen und an der Wegführung von Gips erweisen, die beide vielfach bis in größere Tiefen völlig fehlen. Es handelt sich somit um Lösungserscheinungen von möglicherweise mehreren hundert Metern Gestein. In diesem Falle ist nur die „Asche“, der unlösliche Überrest aus dem chemisch weggeführten salzigen Gipsgebirge, übrig. Vielfach ist bei Mansfeld und Eisleben noch in der ersten Tiefbausoehle kein Gips angefahren und auch in der zweiten Tiefbausoehle fehlt er teilweise.

Salz und Gips muß, da sie sekundär meist nicht wieder abgeschieden und die Schichten an Mächtigkeit reduziert sind, an der Erdoberfläche durch Quellen, Bäche und Flüsse im Laufe der Zeiten weggeführt sein.

Es ist wohl verständlich, wenn im Gebirge Auslaugungen von Salz- und Gipschichten usw. statthaben, soweit diese Lager über dem Grundwasserspiegel sich befinden. Die Auslaugung der Salze und Gipse reicht aber bis in große Tiefen unter den Grundwasserspiegel, trotzdem man keine besondere Kommunikation mit dem Weltmeere, etwa in größerer Tiefe, annehmen darf. Die Auslaugungserscheinungen machen auch nicht am Meeresspiegel halt, sondern reichen, wie durch den Bergbau und Bohrungen festgestellt ist, in Mitteldeutschland bis auf 120 und 150 Meter unter den Meeresspiegel.

Soweit nun der Bergbau nicht eingesetzt und durch den Abbau künstliche Hohlräume und in den Wasserhaltungsanlagen künstliche Abfuhrwege des Wassers geschaffen hat, kann man von einem Zirkulieren des Wassers wie beim Grundwasser nicht reden. Die Bewegung desselben ist zweifellos auf ein Minimum beschränkt. Ebenso zweifellos aber ist auch, daß das Salz und der Gips trotzdem völlig weggelöst und fortgeführt sind. Der chemische Transport der Salze konnte somit auf keinem anderen Wege erfolgen als durch Hebung der in der Tiefe auslaugenden Wässer bis an den Grundwasserspiegel, also über oft mehrere hundert Meter Höhendifferenz, und durch Ableiten dieser Wässer von dort aus in unsere Flußgebiete.

Die Grenze, bis zu der diese von oben stammenden und wieder nach oben steigenden Wässer in die Tiefe reichen, an der also das ungelöste Steinsalz, der ungelöste Gips einsetzt, hat Fulda als Salzspiegel bezeichnet. Diese Grenzzone bildet eine zwar unebene, aber doch in ziemlich gleichartiger Höhe sich hinziehende Fläche. Bis zu dieser Grenze hat der Bergmann den Einfluß des Wassers zu gewärtigen.

Wenn schon Salz und Gips aus der Tiefe heraus- und weggeführt werden kann, so kann man ähnliches, wenn auch entsprechend der viel geringeren Löslichkeit in viel schwächerem Maße, auch bei den Kupfererzen erwarten, soweit sie ebenfalls von den in die Tiefe gedrungenen Oberflächenwässern berührt werden. Sie werden gleichfalls sich aus den Gebieten unter dem Grundwasserspiegel, die von Salz und Gips nicht überdeckt sind, seitlich oder aber vertikal bewegt und evtl. irgendwo wieder ausgeschieden haben, oder aber sie sind dauernd gelöst und oberflächlich weggeführt worden.

Hieraus ergibt sich ohne weiteres eine verhältnismäßig leichte Lösungsmöglichkeit und Transportfähigkeit des Kupfers in der Tiefe der Gebirge, wenn nur Bergfeuchtigkeit in gewissen Mengen vorhanden ist.

Die Zone, in der sich diese Umsetzungen vollziehen können, möchte ich als epihalinsche bezeichnen, da sie über dem Salzspiegel liegt.

Erst wenn man noch tiefer geht, trifft man auch durch Grundwasser unveränderte Salz- und Anhydritlager. Nur hier, unter überlagerndem Salz- und Gipsgebirge, kann man annehmen, daß Grundwässer, die mit der Außenwelt in Beziehung stehen, nicht mehr vorkommen.

Entsprechend darf man annehmen, daß unter den Salz-, Gips- und Anhydritschichten das Kupferschieferflöz seit seiner Bildung mit Grundwasser nicht in Beziehung gestanden hat, daß es von der Oberfläche stets abgeschlossen geblieben ist.

Daß heute keine Beziehungen zu oben existieren, beweist auch, wie schon oben erwähnt, die absolute Trockenheit des Gebirges in größerer Tiefe. Wo trotzdem Feuchtigkeit hier in den Schichten vorhanden ist, ist sie entweder auf die Tätigkeit des Menschen zurückzuführen, der beim Durchteufen der oberen Lagen Wasser angeschnitten und so ein Tiefersickern desselben ermöglicht hat. Oder es sind salzhaltige Wässer, die in Hohlräumen zwischen den Schichten des Zechsteins sich von früher her erhalten haben, die aber mit der Außenwelt in keinerlei Beziehung gebracht werden können, durch den Abbau angeschnitten worden.

Daß trotz der heutigen Trockenheit in den tief liegenden Kupferschieferschichten einst chemische Lösungen und diagenetische Umsetzungen in lebhaftester Weise statthaben konnten in einer bestimmten Zeit, in der Wasser zwischen das Gebirge einzudringen vermochte, wird im folgenden dargelegt werden.

Wenn aber schon Feuchtigkeit in diesen Schichten angenommen wird, so konnte dieselbe weder nach oben noch nach unten entweichen, sondern mußte im wesentlichen in denselben Gesteinen sich halten, und daher in horizontaler Richtung sich verbreiten. Den Ausgang nach oben verwehrten schon die Salz- und Anhydritschichten des Mittleren und Oberen Zechsteins. Daher konnte es sich bei den Umsetzungen, die diese Wässer vollbracht haben mögen, nur um Umlagerungen handeln, aber um keine Wegführungen von Erz.

Somit ist diese unter dem Salz und dem Anhydrit liegende Teilzone der diagenetischen Zone besonders auszuscheiden, und ich bezeichne sie daher als hypohalinsche Zone im Gegensatz zu der epihalinschen Zone der Kupfererzführung, die über dem Salz- und Anhydritgebirge liegt, von Wasser auch heute mehr oder weniger durchtränkt ist und damit, wenn auch unter dem Grundwasserspiegel liegend, doch mit der Oberfläche in gewisser Beziehung steht.

Man hat demnach von oben nach unten folgende Zonen sekundärer Veränderungsmöglichkeit des Kupferschiefers zu unterscheiden:

2. Die Verwitterungszone über dem Grundwasserspiegel, die ich des weiteren von oben nach unten in folgende Unterzonen trennen konnte:

- d) Mydotische Zone,
- c) Detritationszone,
- b) Oxydationszone,
- a) Zementationszone.

1. Die diagenetische Zone unter dem Grundwasserspiegel, die ich von oben nach unten in folgende Unterzonen zerlegt habe:

- b) Epihalinsche Zone,
- a) Hypohalinsche Zone.

2. Die sekundären Veränderungen in der Literatur.

Der Einfluss der Klüfte und Verwerfungen, der sog. Rückenspalten, auf sekundäre Veränderungen der Erze im mitteldeutschen Kupferschiefer ist schon frühzeitig erkannt, jedoch wissenschaftlich erst spät erforscht worden. Lange war man eben mit dem für die Erklärung dieser Frage notwendigen wissenschaftlichen Rüstzeug nicht ausgestattet und die allgemeinen Erkenntnisse waren noch nicht gereift. Vielfach haben hier erst die letzten Jahre klarere Bahn geschaffen.

So kann man immer noch mit mancherlei Berechtigung Freieslebens Wort anführen, der vor nunmehr über 100 Jahren, von den „Veränderungen im Flöze durch Rücken“ sagte: „Ich betrete hier ein noch ganz rohes geognostisches Gebiet . . ., und das wenige, was ich jetzt zur Kenntniss der Rücken beizutragen im Stande bin, wird um so unvollkommener seyn, je dunkler es hier noch aussieht, je schwieriger und beschwerlicher die Beobachtungen sind, die nach und nach einiges Licht geben können.“

a) Lösungsfähigkeit zirkulierender Wässer auf Kupfererze.

Daß Wässer die Kupfererze zu lösen vermögen, ist eine altbekannte Tatsache. Schon ein Lasius, ein Freiesleben u. a. haben durch Induktionsschluß, durch Vergleich zwischen haltigen und unhaltigen Kupferschieferpartien dies festgestellt.

Inzwischen ist es auch auf experimentellem Wege gelungen, den chemischen Transport von Kupfer durch Wasser in der freien Natur nachzuweisen.

Köhler hat auf Schacht Freiesleben im Mansfelder Gebiet oberhalb der I. Tiefbausohle eine starke, von oben kommende Wasserader auf ihre Kupferführung geprüft. Die Wasserader mußte auf eine längere Erstreckung hin das noch unverhauene Schieferflöz durchstreichen. Er untersuchte erstens 25 in den Wasserstrom gelegte, gebündelte Eisendrähte, zweitens eine Probe des Wassers selbst und drittens ein Stück Schiefer, das mit einer schmutzig grauweißen Masse vollkommen überzogen war. In den beiden ersten Fällen konnte er jeweils Kupfer, und zwar im ersten Falle sehr deutlich, im zweiten Falle wenigstens in geringer Menge nachweisen. Bei dem Schieferstück bestand die Inkrustation zur Hauptsache aus kohlensaurem Kalk mit geringer Menge von Kupferkarbonat, Eisenoxydul und sehr wenig schwefelsaurem Kalk.

Köhler schließt aus diesen Untersuchungen mit Recht: „Es dürfte wohl keinem Zweifel unterliegen, daß das in den drei Proben nachgewiesene Kupfer dem Flöz entstammt, und durch die auflösende Wirkung des Wassers aus demselben entführt wurde, um an anderer Stelle wieder abgesetzt zu werden. Die sekundäre Verarmung und Anreicherung des Erzgehaltes im Schieferflöz spielt sich also auch heute noch vor unsern Augen ab.“

b) Horizontale Veränderungen bei gleicher Tiefe.

Über die Einwirkung der Rücken, die auch als „rückenartiger Streb“ bezeichnet wurden, auf das Kupferschieferflöz sagt Freiesleben, „daß sie meist dessen Metallgehalt verändern; sie erscheinen dann veredelnd, wenn man sie im geringhaltigen Strebe anfährt, oder verunedelnd, wenn man im gehaltigen Strebe an sie gelangt; selten sind sie ohne einen dergleichen Einfluß“.

Diese Auffassung hat sich im wesentlichen bis auf den heutigen Tag erhalten und ähnliche Angaben finden sich immer wieder in der Literatur.

Am ausführlichsten ist die Veränderung des Erzgehaltes des Kupferschiefers bei Mansfeld und Eisleben wohl in Stelzner-Bergeat dargestellt worden, dem ich hier folge: „Wo die Rücken den Kupferschiefer durchsetzen, kann der

gewöhnlich an die untersten Lagen gebundene Metallgehalt die mannigfaltigsten Umlagerungen erfahren haben.

Die Metallführung kann erstens ganz unverändert bleiben, zweitens sich verringern und in das Hangende wandern, welches auf solche Weise bis in den Dachklotz kupfererzführend wird, drittens sowohl im Kupferschiefer wie im Hangenden kann eine Anreicherung an Kupfer statthaben, viertens der Kupferschiefer wird wohl auch ärmer, ohne daß eine Anreicherung des Hangenden stattgefunden hat.

Manchmal setzt das Flöz im Liegenden eines Hauptrückens nach Gehalt und Struktur völlig unverändert an den letzteren heran, und auch die Flözteile innerhalb des Grabens lassen eine erwähnenswerte Veränderung in der Metallführung weder des Schiefers, noch seines Hangenden erkennen (dritter Flözgraben südlich des Eduardschachtes bei Hettstedt). Häufig aber setzt das Flöz unverändert in Struktur und Gehalt an den Hauptrücken heran und nimmt mitunter erst in unmittelbarer Nähe desselben einen höheren Kupfergehalt an, manchmal aber hat schon im regelmäßigen Flözteil bei der Annäherung an den Hauptrücken eine Verringerung der Erzführung stattgefunden. Die unteren Lagen der Flözteile im Graben behalten entweder den Kupfergehalt bei, und trotzdem kann auch das Hangende einige Veredelung zeigen (mitunter aber sind die sonst vorzugsweise erzführenden Lagen verarmt und unbauwürdig geworden, und dafür das bis dahin unbauwürdige kupferreich), oder es tritt der nicht minder merkwürdige Fall ein, daß alle Teile des Flözes gleichmäßig gut und dabei sogar die Dachberge und der Dachklotz noch reichlich kupferführend sind, so verhält sich beispielsweise die Metallführung im Verwurfe ... 150 m unter der III. Tiefbaustrecke im Eduardschacht. Sämtliche Schiefer führen hier durchschnittlich nicht unter 5 %, die Dachberge 3 bis 4,5 %, der Dachfirst noch 2,8 bis 4 % Kupfer. Die Anreicherung der Schichten ist eine um so größere, je rascher die in Treppen und Absätzen hintereinander liegenden Flözteile aufeinander folgen. In breiteren Streifen erfolgt die Veränderung nur bis auf eine Entfernung von etwa 20 m von der Störung. Im übrigen lassen sich scheinbar für alle diese Erscheinungen keine Regeln aufstellen.

Die Anreicherung ist eine sekundäre und beruht auf einer Umlagerung des ursprünglichen Kupfergehaltes. Sie fand statt auf Rissen und Klüften, die sich infolge der Störungen bildeten. In der Nähe der letzteren sind die Schiefer und Berge durchzogen von einem Netzwerk dünner Schnürchen und Adern von Kupfererzen.“

„Die Rückengraben sind, sobald innerhalb derselben eine Veredelung der Schiefer stattgefunden hat, die ergiebigsten Teile des Feldes. Manche Rückenteile sind aber auch als unbauwürdig überhaupt außer Abbau gelassen worden.

In der Nähe der Störung ist der Kupfergehalt mitunter in das Weißliegende gewandert; das so mit Kupferglanz und Kupferkies imgränierte Gestein wird dadurch zu ‚Sanderz‘.“

An anderer Stelle sagt Bergeat: „Die Flöze sind in der Nähe der erz erfüllten Spalten bald reicher, bald ärmer, bald unverändert; in der Nähe der erzleeren Spalten sind sie bald reicher (Richelsdorf), bald weist alles darauf hin, daß dort eine Auslaugung des Metallgehaltes stattgefunden hat.“

„Wichtig und charakteristisch für das ganze Wesen der Veredelungen längs der Rücken ist die häufige Erscheinung, daß nahe den letzteren gerade diejenigen Schichten angereichert wurden, welche sonst im normalen ungestörten Flözfelde unbauwürdig sind, und daß gerade die liegendsten Schichten, welche bei regelmäßiger Lagerung die kupfer- und bitumenreichsten sind, in der Nähe der Rücken verarmen können. Diese Verarmung findet innerhalb geringer Entfernungen (wenige Meter) von den Klüften statt, der normale Unterschied im

Kupferreichtum der liegenden und hangenden Schiefer hält dagegen über hunderte von Metern an. Im allgemeinen befindet sich das zerrissene, zertrümmerte und gestörte Flöz in einem anormalen, das ungestörte und regelmäßig gelagerte dagegen in einem normalen Zustande der Erzführung. Schon daraus ergibt sich, daß die Klüfte nicht den Erzgehalt in das normale Flöz zugeführt haben können. Wohl muß eine Umlagerung, Wegfuhr und Zufuhr in den gestörten Teilen längs derselben stattgehabt haben. Daß gerade das Kupfer auf Lagerstätten sehr weit zu wandern vermag, und daß unter dem Einflusse von oben her eindringender Lösungen eine sekundäre Veredelung der Kupferlagerstätten statthaben kann, ist schon mehrfach erwähnt worden: So kennt man dieses Phänomen von Rio Tinto, von dem Kieslager zu Fahlun, am Mount Lyell und am großartigsten in Kupfererzgängen, wie z. B. in den später zu behandelnden Gängen von Butte in Montana. Über die Kategorie dieser Selbstveredelungen durch Umlagerung des primären Erzgehaltes, wobei, wie im großartigsten Maßstabe zu Butte, aus dem ärmeren Kupferkies reichere Sulfide hervorgehen, dürfte wohl auch die Veredelung des Kupferschiefers längs der Rückenklüfte gehören. Es wird mehrfach beobachtet, daß eine solche Veredelung gerade dort eintritt, wo das Flöz gegenüber seiner Umgebung abgesunken ist, also jeweils an den tiefsten Stellen; auch diese Wahrnehmung würde nur in Einklang stehen mit einer Abwärtswanderung des Kupfergehaltes durch von obenher kommende Lösungen.“

Beyschlag, Krusch und Vogt geben von den Mansfeld-Eisleber Revieren an, daß sich der Einfluß der Rücken und Flözverwerfungen in einer Vermehrung

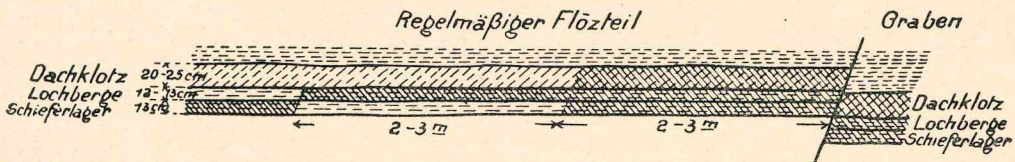


Abb. 5. Schematische Darstellung der Wanderung des Erzes in Lochberge und Dachklotz in der Nähe eines Rückens. Nach Stelzner-Bergeat.

Die nach links unten schraffierten Teile sind an Erz angereichert.

oder Verminderung des Flözgehaltes geltend mache, „und zwar nicht nur unmittelbar an der Kluft, sondern sogar auf weite Entfernungen.“ „In den Eislebener Revieren bewirken die Rücken eine Veredelung des Erzes, in den Hettstedter aber das Gegenteil.“ „Anscheinend sind nur einzelne Rücken oder Verwerfungen der Bildung der Sanderze günstig gewesen.“ Die Erzführung beschränkt sich in der Regel auf die Ganghöhe zwischen den beiden verworfenen Kupferschieferteilen.

Auch vom Richelsdorfer Kupferschiefergebiet berichtete Krusch kürzlich ganz entsprechendes. An den tauben Rücken fand er eine Steigerung des Kupfergehaltes des Flözes, der zuweilen bis 5 % betrug, wogegen er an den erzführenden Störungen bis zur vollständigen Vertaubung des Schiefers abnahm. Nach Krusch sind diese Verschiedenheiten in der Erzführung „zweifelloos sekundär“. „Die Beobachtungen beweisen umfangreiche sekundäre Metallverschiebungen innerhalb des Kupferschieferflözes. Dieses Bild wird noch durch Beobachtungen am Sanderz vervollständigt. Die Sanderzoberfläche bezeichnete der Bergmann als Schwarte. Sie macht den Eindruck des Angeätztseins, als ob die Lösungen, welche die untersten Zentimeter des Kupferschieferflözes häufig erdig zersetzten, auch in der Lage gewesen wären, das gebleichte grauliegende Quarzkonglomerat teilweise aufzulösen und so die ursprüngliche Schichtfuge schwartig zu verändern.“

Über die Frage, ob mit der Sanderzanreicherung eine Verarmung der anderen Schichten des Flözes eintreten müsse, äußert sich Schrader auf Grund

seiner Erfahrungen in den Sangerhäuser Revieren. Er weist darauf hin, „daß man nicht sagen kann, daß der Gehalt der Sanderze, wo sie vorkommen, zu dem des darüberliegenden Kupferschiefers in einer bestimmten Beziehung steht, es wechseln in den Sangerhäuser Revieren reiche Erze und reiche Schiefer mit reichen Erzen und armen Schiefen, oder mit armen Erzen und reichen Schiefen, oder endlich mit armen Erzen und armen Schiefen auf größere und kleinere Entfernungen.“

c) Vertikale Veränderungen bei gleicher Tiefe.

Einzelheiten über die Verlagerung des Erzgehaltes insbesondere zwischen den einzelnen Lagen des Kupferschiefers bringt Brückmann, der die Auffassung vertritt, daß die Anreicherung der Erze sich im wesentlichen nur auf die gesunkenen Partien der Rücken erstrecke.

Nach ihm ist die Anreicherung in den gehobenen Teilen nie in größerer als in 1 m Entfernung von den Rückenspalten zu beobachten. In den gesunkenen Lagen dagegen erstreckt sie sich bis auf 10 und 20 m.

„Die gehobenen Teile der Rücken, die... intakt geblieben sind, verwehrten den Wassern hartnäckig den Eintritt in ihre Gebirge, während die vielfach ungemein zerquetschten gesunkenen Teile denselben in gleichem Maße begünstigten.

Da nun die Nebenrücken sich ebenso verhalten, wie die Hauptrücken, so kann man allgemein sagen, daß ein Flözgraben oder ein von Nebenrücken durchsetzter gesunkener Teil eines einzelnen Hauptrückens um so reicher an Erzen ist, je mehr Nebenrücken und Rückenläufer in ihm auftreten. Den mineralführenden Wassern war eben der Weg um so besser gebahnt, je zerklüfteter das Gebirge sich zeigte. Und so erklärte sich auch leicht, daß da, wo in einem gesunkenen Teile eines Rückens oder in einem Flözgraben ein Flözteil eine größere Breite erreicht, ohne von Nebenrücken durchzogen zu sein, in größerer Entfernung von den benachbarten steigenden Rücken die Anreicherung bisweilen selbst in den Dachklotz gänzlich verschwindet, während sie sich alsbald wieder einfindet, wo ein fallender Rücken aufsetzt. Die Profile von dem Martinschacht und dem 81. Lichtloch bieten hierfür recht charakteristische Beispiele.“

Brückmann erwähnt nur einen einzigen Fall auf weite Erstreckung im gehobenen Teile, und zwar in den Freieslebenschächten. Hier war die Anreicherung auf 6 bis 8 m zu erkennen, da, auf der II. Tiefbausohe, die sich anschauenden Nebenrücken sich auch auf dem gehobenen Teile des Rückens fanden.

Mir scheint, als sei es weniger die Höhenlage, als die geringere Zerklüftung, welche den Absatz der Erze in den gehobenen Teilen der Rücken verhinderte. Offenbar sind die gesunkenen Partien mehr zersplittert als die gehobenen.

Ganz ähnliche Angaben macht Köhler, der ebenfalls annimmt, daß der gelöste Erzgehalt jeweils dem tiefsten Punkte, den Mulden, zugeführt wurde und dort wieder zur Ausscheidung gelangte.

Köhler liefert als höchst wertvolle Ergänzung eine graphische Darstellung des Kupfer- und Silbergehaltes des Flözes auf der IV. Tiefbausohe, die sich, mit geringen Unterbrechungen, vom Hermannschacht bei Helfta bis zum Hohenthalschacht hinzieht und bei etwa 10 km Länge die Verhältnisse im allgemeinen von 10 zu 10 m klarlegt. Hier, fast in der Mitte der Mansfelder Mulde, hörte die IV. Tiefbausohe auf. Es konnte daher der östliche Muldenflügel nicht zur Darstellung gebracht werden.

Es sind jeweils die Gehalte für die Feine Lette, die Grobe Lette, die Kammschale und den Kopf angegeben, wodurch ein höchst anschauliches Bild erzielt wird. Vor allem tritt, was die Verteilung der Erze nach der Höhe in

den genannten vier Lagen anbelangt, klar heraus, „daß der höhere Kupfer- bzw. Silbergehalt in irgendeiner Lage stets mit einer Verminderung des Gehaltes der hangenden bzw. liegenden Schichten verbunden ist.

Interessant und überraschend zugleich ist der Vergleich der Kupfer- und Silberlinien. Die Zu- und Abnahme des Kupfergehaltes in den einzelnen Lagen, besonders charakterisiert durch das Überschneiden einzelner Linien, die größte und kleinste Abweichung — alle Einzelheiten finden wir bei der Darstellung des Silbergehaltes wieder.

Während auf 2500 m Länge eine gewisse Gleichmäßigkeit in der Erzführung vorzuherrschen scheint, ist von da ab eine oft nicht unerhebliche Unregelmäßigkeit zu erkennen. Mit dem Grubenrisse verglichen, waren z. B. genau an der Stelle, an welcher die graphische Darstellung zwischen 3200 bis 3600 m eine größere Abweichung in der Erzführung zeigt, zwei Flözberge angedeutet. . . . In unmittelbarer Nähe des Rückens, also im Bereiche der größten Zertrümmerung, ist der Erzgehalt am höchsten, während in den anliegenden kleineren Falten die Mulden auf Kosten des zwischenliegenden Sattels eine höhere Konzentration aufweisen.“ Man vergleiche Tafel II am Schlusse der Abhandlung.

Ueber den Wechsel des Erzgehaltes in den einzelnen Schichten des Kupferschieferflözes können auch Freieslebens eingehende Nachrichten zur Norm genommen werden. Er weist darauf hin, daß da, wo sich der Metallgehalt auf allen Lagen des Flözes erstreckt, nur selten „eine Lage vorzüglich reichhaltig“ ist. Weiter führt er an, daß da, wo der Gehalt an Erz verschieden ist, meist die unterste Schicht die reichlichste ist“. „Zugleich aber sind gewöhnlich auch das überhaupt die reichsten Schiefer, bey denen sich der Kupfergehalt in der Lette konzentriert hat.“ Je weiter der Gehalt nach oben reicht, desto geringhaltiger sind die Schiefer. Die Noberge haben nur „strichweise und fast immer nur in der Nähe von Rücken“ einen namhaften Erzgehalt. „Wenn noch im Dache Kupfergehalt oder wenn das Weißliegende anhaltend erzführend ist, da ist das Kupferschieferflötz gewöhnlich unhaltig.“

Aus dieser von Freiesleben angeführten Tatsache, die auch jedem Bergmann geläufig ist, erkennt man eine gewisse Korrespondenz zwischen Erzhaltigkeit in den einen und Erzarmut in den anderen Schichten des Flözes.

d) Veränderung der Erzmengen bei wechselnder relativer Tiefe.

Die häufige Auslaugung der Erze des Kupferschiefers in der Nähe des Ausgehenden ist eine immer wieder erkennbare Erscheinung.

So sagt schon der alte von Veltheim, daß „die in der Nähe des Ausgehenden liegenden Flötzstreifen verhältnismäßig immer einen geringeren Kupfer- und wenig Silbergehalt aufwiesen“. Wo der Erzgehalt bis nahe an die Oberfläche vorhanden ist, und das Kupferschieferflöz daher als erzhaltiges Gestein nahe der Oberfläche vorkommt, wird man annehmen dürfen, daß die geologische Abtragung rascher sich vollzogen hat als die Auslaugung.

Die Einwirkung der geologischen Abtragung auf die sekundären Teufenunterschiede der Erzlagerstätten beschreiben Beyschlag-Krusch-Vogt allgemein folgendermaßen: „Überwiegen die Wirkungen der Erosion diejenigen der zersetzenden Tätigkeit der Atmosphärien, so werden die Verwitterungsprodukte der Lagerstätte sofort zerstört, und das Erzvorkommen tritt in seiner primären unveränderten Gestalt an die Tagesoberfläche. Wirkt dagegen die Abtragung langsamer als die Verwitterung, so ist jedenfalls bei allen relativ leicht angreifbaren Lagerstätten eine größere Ganghöhe zu einer Oxydations- bzw. Zementationszone umgebildet und erhalten.“

Abgesehen von der allgemeinen Beobachtung, daß in der Nähe des Ausgehenden der Erzgehalt des Kupferschiefers oft völlig verschwindet,

sind nur auffällig wenige Mitteilungen über etwaigen Wechsel in der Erzführung in verschiedener Tiefe bekannt. Zweifellos hängt dies damit zusammen, daß man im wesentlichen in horizontaler Richtung abbaut, und daß daher der Vergleich zwischen höher und tieferliegenden Schichten erschwert ist.

Diese Vergleiche aber sind für den Nachweis der Verteilung und des Verbleibs der Erzmengen von der allergrößten Wichtigkeit. Es seien daher im folgenden die wertvollsten Beobachtungen dieser Art mitgeteilt.

Freiesleben berichtet von einem Vorkommen von Kupfererz bei Helbra, das ihm vom Bergmeister Erdmann mitgeteilt ist, und das „unmittelbar unter der Zone der dasigen Kalkschloten in der obersten, 3 bis 6 Zoll starken Lage des Zechsteins, welche von Wassern mannigfach zerrissen, aufgelöst und zerstört, auch hin und wieder in Rauchwacke übergehend, erscheint. Das Kupfererz selbst kömmt theils in allen Klüften und Bohren des Zechsteins als grüner Beschlag, theils in schmalen parallelen Streifen, theils in Reihen größerer Massen vor.“ „Sie scheinen Raffeln und Ritzen im Zechstein auszufüllen, die von den darüberliegenden Kalkschloten herrühren.“

In ähnliche Richtung weisen Mitteilungen, die von Brückmann gegeben sind. An einer Stelle des Eckhardtschächter Rückengrabens ist nach ihm die Asche so reich mit Erzen durchsetzt, daß man an Gewinnung gedacht hat. Brückmann fand nur an einzelnen wenigen Punkten des westlichen Flügels der Mansfelder Mulde arme Rücken, z. B. im Sanderschacht und im Theodorschacht. Hier aber fehlte die Überdeckung des Zechsteins, der Gips, wogegen Aschengebirge das Hangende bildete. Brückmann sieht hierin den Grund des Fehlens der Erzanreicherung. An anderen Stellen, z. B. im Stockbacher Revier zeigte sich ebenfalls keine Anreicherung an den Rücken. Auch hier fehlte der Gips. Dagegen erwiesen sich dieselben Rücken im Burgörner Revier bei Überlagerung durch Gips als sehr reich an Erzen.

Von Richelsdorf berichtet Krusch: „Es ist auffallend, daß an vielen Stellen, so z. B. im Dachsrevier und im Gunkelröder Revier das Flöz bis zu Tage bauwürdig ist, hier begann die älteste Bergbauperiode, während an anderen Stellen, wie z. B. im Wechselschachtstollen das Flöz zunächst der Tagesoberfläche kupferarm ist und erst in einigen hundert Metern flacher Tiefe bauwürdig wird. Im letzteren Falle handelt es sich um nachträgliche Auslaugung.“

Was die für die Beurteilung der Lagerstätten überaus wichtige allgemeine Erzführung nach der Tiefe zu anbelangt, so war von alters her — im Gegensatz zu mancherlei Ansichten von heute — die Auffassung vertreten, daß der Erzgehalt mit der Tiefe nicht wechselt. Schon Freiesleben gibt an, daß sich im Mansfeldschen keine auffallende Veränderung der Metallführung in der Tiefe zeige. „Allenfalls scheint die Mächtigkeit etwas ab-, dagegen der Metallgehalt eher zu- als abzunehmen.“

„In anderen Refieren glaubt man hingegen an einen mit der Tiefe abnehmenden Gehalt; man muß sich aber sehr hüten, hierüber zu zeitig abzusprechen; am wenigsten können dabey die ökonomischen Resultate der Tiefbaue das alleinige Anhalten geben, denn die meisten jetzt ungangbaren Tiefbaue wurden wohl weniger wegen Abnehmen der Erzanbrüche, als vielmehr wegen zunehmender Schwerköstigkeit eingestellt.“

v. Veltheim pflichtet der Auffassung Freieslebens ausdrücklich bei: „Im ganzen aber könne überall und wenigstens für den südlichen Zug ziemlich bestimmt angenommen werden, daß der Fläche nach immer ziemlich dieselbe Masse von Kupfer vorhanden, diese aber, dem senkrechten Durchschnitt nach, mehr oder weniger zusammengedrängt sei, daher denn auch in der Regel der Gehalt im umgekehrten Verhältnis mit der Stärke der auf edel anzusprechenden Schieferlagen stehe. Der so häufig aufgestellten, aber von Freiesleben schon

bestrittenen Behauptung, daß der Metallgehalt nach der Tiefe zunehme, könne er ebenfalls nicht beitreten, und es sprechen vielmehr alle bisher gemachten

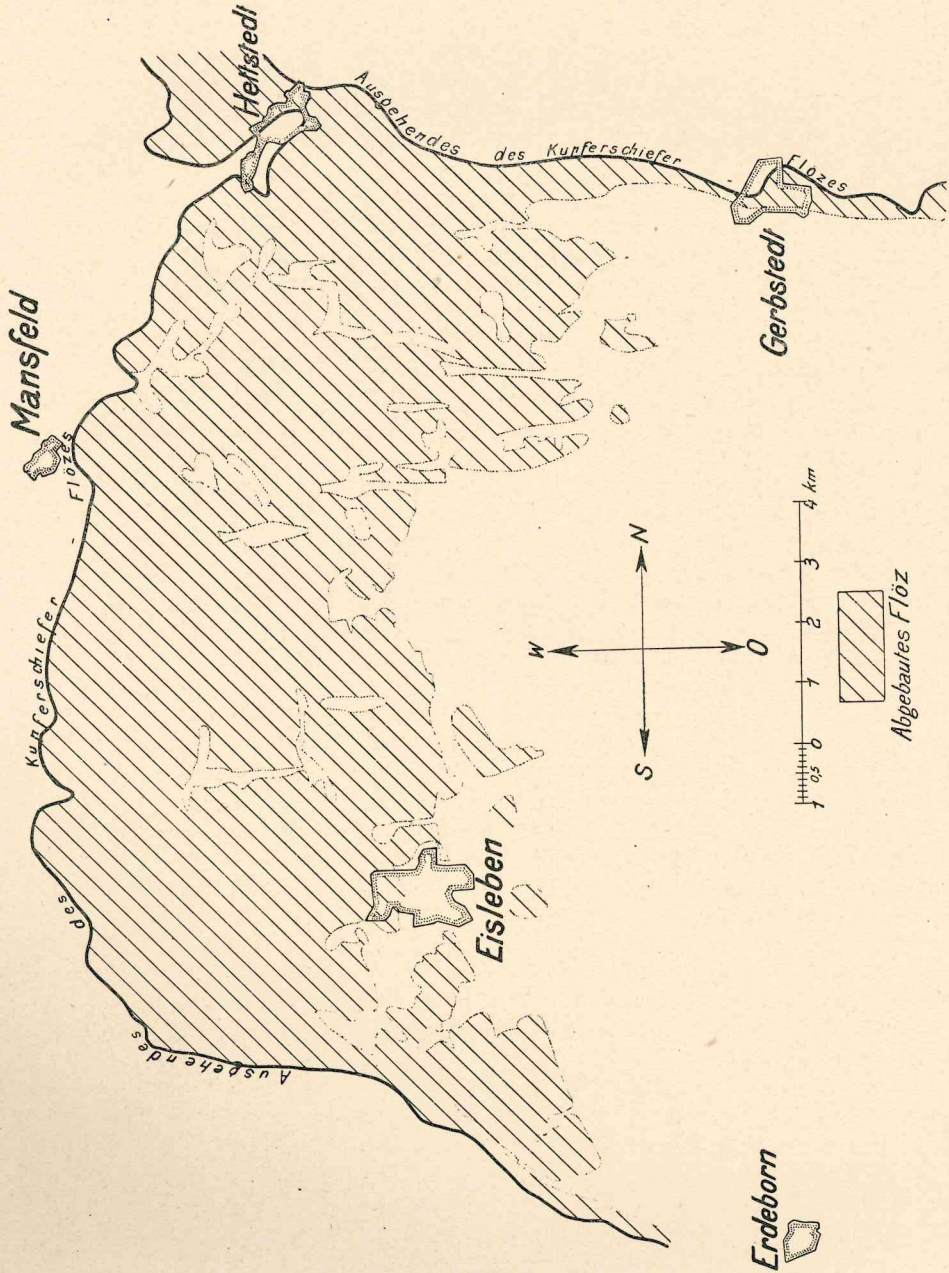


Abb. 6. Verteilung der abgebauten und nicht abgebauten Flächen des Kupferschieferflozes bei Mansfeld und Eisleben.

Erfahrungen dafür, daß weder die absolute noch die relative Tiefe darauf einen Einfluß zu haben scheint.“

Beyrich und Moesta vertreten die gleiche Anschauung für das Richelsdorfer Gebiet: „In den Bauen größter Teufe . . . scheint eher eine Steigerung als eine Abnahme des Erzgehaltes mit der Tiefe stattzufinden, dagegen schwindet

die Mächtigkeit des Flözes etwas und die Festigkeit des Gesteins wird größer, so daß in bergmännischer Hinsicht Gunst und Ungunst der Verhältnisse sich die Wage halten.“ Krusch stimmt diesen Angaben in seiner jüngst veröffentlichten Arbeit vollkommen bei.

Sehr wertvolle Mitteilungen brachte endlich Mitte des vergangenen Jahrhunderts Erdmenger, Bergmeister und Direktor der Mansfeldschen Gewerkschaft von 1862 bis 1887, der eine hervorragende Studie über den Bottendorfer Kupferschieferbergbau verfaßt hat. Die Lagerungsverhältnisse im Bereich des Kupferschiefervorkommens von Bottendorf erläutert die nebenstehende Abb. 7.

Er gibt in bezug auf die Mengenverhältnisse des Erzes in den dortigen Vorkommen an: „In dem oberen oder nordwestlichen Teile waren die Schiefen nicht besser als im unteren oder südöstlichen Teile, so daß nicht etwa zu glauben ist, daß der Gehalt der Schiefer nach der Teufe abnehme oder sich verringere, vielmehr hat hier eine Verschiedenheit gar nicht stattgefunden. Nur scheint im oberen Teile der Gehalt der Schiefer noch mehr als unten gewechselt zu haben — denn in dem 1750 aufgezogenen alten Schachte wechselten arme und reiche Schiefen in kurzen Zwischenräumen miteinander ab, während in den unteren Teilen dies nicht der Fall war.“

An anderer Stelle wiederholt er diese Auffassung und sagt, daß, wie auch die im Tiefsten des Kunstschachtes erbrochenen Schiefen beweisen, auf eine Abnahme des Metallgehaltes mit der Tiefe nicht zu schließen „und nur zu vermuten, daß das Flöz einen viel gleichmäßigeren Gehalt — im Gegensatz zu den reichen und armen Mitteln in der von Rücken zerrissenen Mulde — annehmen wird.“

Von großem Wert sind endlich die Beziehungen zu Mansfeld, wie Erdmenger im Anschluß hieran erwähnt: „Zur Bekräftigung dieser Ansicht dürfte aus dem Mansfeldschen anzuführen sein, daß z. B. das Flöz des sog. Rotheweller Zuges bei Hettstedt außerordentlich von Rücken in der oberen Teufe zerrissen war und taube Mittel mit reichhaltigen daselbst abwechselten — in der Teufe wurde die Lagerung regelmäßiger, die Rücken traten seltener auf —, aber das Flöz behielt seinen früheren Durchschnittsgehalt nach wie vor bei. Die Schiefen hatten daselbst einen Gehalt von 1 Ztr. pro Fuder à 60 Ztr. An das westliche Ende dieses Zuges grenzt das sog. Ziegenberger Revier an, wo das Flöz ganz regelmäßig gelagert und durch Rücken wenig gestört ist — gleichwohl war das Flöz hier gehaltiger als im Rotheweller Zuge —, denn es enthielt $1\frac{1}{4}$ Ztr. Kupfer pro Fuder.“

Endlich sei im Anschluß hieran noch eines Hauptsatzes von Freiesleben Erwähnung getan, der sich auf die Neigung des Flözes bezieht. Er sagt: „Wo das Schieferflöz eine sanfte Verflächung, eine regelmäßige Sonderung in seine verschiedenen Lagen und geradschiefrige feste Schiefer zeigt, ist es gewöhnlich am reichhaltigsten und von der anhaltendsten Metallführung.“

An anderer Stelle weist Freiesleben darauf hin, daß das Kupferschieferflöz besonders bei Gerbstädt und Friedeburg, in den mittleren und oberen Sangerhäuser Revieren und in den Leinunger Revieren vom Ausgehenden ab ziemlich steil einfällt, und gibt dazu an: Bei anhaltend starkem Fallen ist das Flöz „in seinen Strukturverhältnissen und seiner Metallführung sehr veränderlich und gewöhnlich weit geringhaltiger als da, wo es flacher liegt“.

Diese beiden Angaben sind für die Beurteilung des Kupferschieferbergbaues m. E. von höchster Wichtigkeit.

e) Umbildungen zu Reichsulfiden.

Im Kupferschiefer treten drei Arten von sulfidischen Kupfererzen auf: Kupferkies (CuFeS_2) mit 34,5 % Cu, Buntkupfererz (Cu_3FeS_3) mit 55,5 % Cu

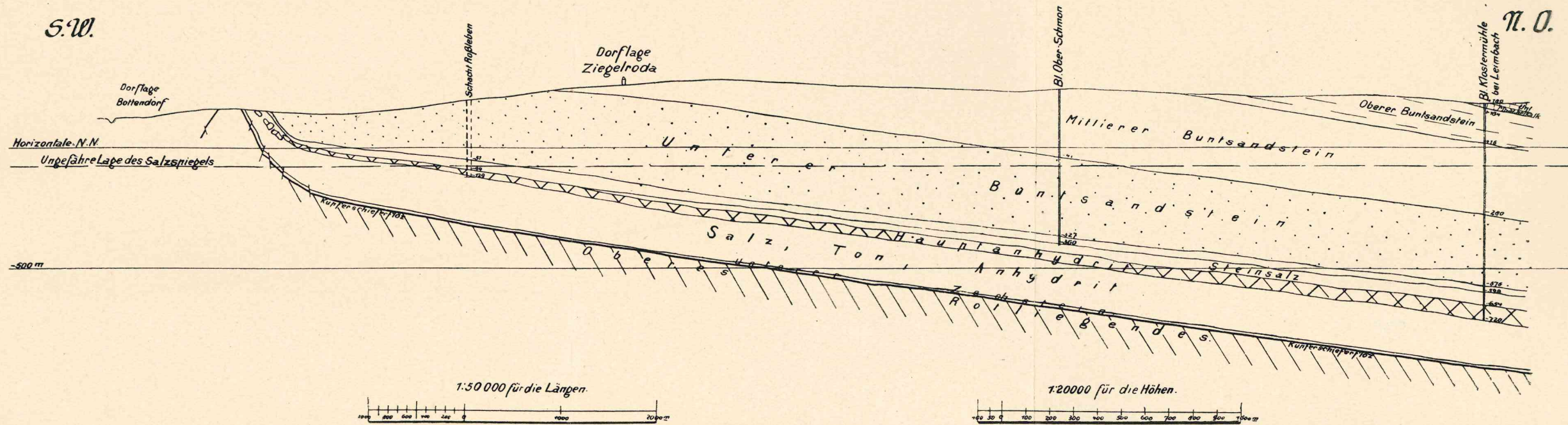


Abb. 7. Die Lagerungsverhältnisse des Kupferschiefervorkommens bei Bottendorf. Entworfen von R. Lang 1920. Mit Erlaubnis der Aktiengesellschaft Lauchhammer einem derselben erstatteten Gutachten entnommen.

und Kupferglanz (Cu_2S) mit 79,8 % Cu. Entsprechend dem hohen Kupfergehalt der beiden letzteren Erze werden diese als Reichsulfide bezeichnet. Sie werden als Umwandlungsprodukte aus dem Kupferkies aufgefaßt.

Diese Veränderungen sind von Brückmann, Bergeat, Berg und Bey-schlag-Krusch-Vogt besonders hervorgehoben worden.

Schon auf makroskopischem Wege sind die Umwandlungen der Kupfererze in edlere Bildungen: die Reichsulfide, beobachtet worden.

Brückmann berichtet darüber vom Mansfelder Bezirk: Im Dachklotz sind die Umbildungen am deutlichsten. In unmittelbarer Nähe der Rückenspalten findet man fast ausschließlich Glaserze und ganz vereinzelt Buntkupfererze, „die erst in weniger Entfernung von den Rücken vorherrschend werden, um weiterhin von Kupferschiefern abgelöst zu werden, die dann ihrerseits wieder von Schwefelkiesen verdrängt werden“.

Es ergibt sich, daß nicht nur der Gesamtgehalt an Kupfer, „sondern auch der Gehalt der einzelnen Mineralindividuen mit der Entfernung von den Rückenspalten allmählich abnimmt“. „Deutliche Umwandlungen von Buntkupfererz und Kupferglas, von Kupferkies und von Buntkupfererz oder Kupferglas, sowie von Schwefelkies nach Kupferkies und Buntkupfererz sind zu beobachten.“

Meist hat jedoch Brückmann nicht die ganze Reihe der Erze verfolgen können, sondern nur Kupferglas und Buntkupfererz.

Die Angaben von Bergeat, die hier gleichfalls ihre Stelle haben könnten, sind schon an anderer Stelle gemacht.

Besonders schöne klare Resultate in dieser Richtung hat die mikroskopische Untersuchung geliefert.

Wie schon oben angeführt, zeigt sich im primären Gestein das Erz in allerfeinster, oft schwarmförmiger Verteilung in Form von Erzpünktchen, die das ganze Gestein durchschwärmen. Diesem Erzgehalt ist das in groben Partien, Kristallen und Kristallaggregaten ausgeschiedene Erz entgegensetzen. Häufig sind dann diese größeren Individuen nach den Schichtfugen zu gestreckt ausgebildet und von Schwärmen der kleineren umgeben.

Die Reichsulfide haben sich stets als spätere Bildungen erwiesen, indem sie im Zusammenhang mit dem Schwefelkies und Kupferkies diesen in Form von Rinden umkleiden. Kupferkies umgibt bisweilen auch den Schwefelkies. Doch nimmt Berg an, daß eine „primäre Ausscheidung von Kupferkies neben Schwefelkies“ erfolgt ist.

Unter dem Mikroskop läßt sich also die Zweiteilung der Bildungsereignisse der Erze klar und scharf erkennen.

Krusch berichtete jüngst über Dünnschliffuntersuchungen von Gesteinen des Richelsdorfer Vorkommens. Nach ihm stellt ein Teil der kleinen Erznester, die das Kupferschieferflöz durchschwärmen, „jedenfalls Imprägnationen von den Spalten aus dar. Nach der Verfestigung des Kupferschiefers müssen also Lösungen in ihm zirkuliert und Kupfererze abgesetzt haben“.

„Die häufigsten Erze sind Kupferglanz und Buntkupfererz, also ausgesprochene Zementationserze. Fast überall, wo bisher einwandfreie Untersuchungen auf Kupfererzlagerstätten durchgeführt wurden, konnte der Nachweis geführt werden, daß die Erze durch die von der Tagesoberfläche hernieder-sinkenden Zementationslösungen aus kupferärmeren primären entstanden sind. In einzelnen Kupferschieferrevieren findet man noch Kupferkies, so daß an eine nachträgliche Umwandlung von Kupferkies in Kupferglanz und Buntkupfererz gedacht werden kann.“

Auch bei Sanderz ist „zwischen älterem Kupferkies und nachträglich entstandenen, wenn auch zurücktretenden Reichsulfiden zu unterscheiden. Die Annahme des Zementationsprozesses im Kupferschiefer findet also hier eine wichtige Stütze.“

f) Erzgehalt in seiner Gesamtheit.

Erdmenger kommt auf Grund eingehendster Studien über den Gesamteinfluß der Rücken zu einem Resultat, das die allzuhäufige Überschätzung desselben darlegt. Er sagt bei Besprechung der Verhältnisse bei Bottendorf: „Die eigentlichen Rücken aber sind zwar, wie sehr häufig beim Kupferschieferbergbau, teilweise von veredelndem Einfluß gewesen, allein daß sie nicht die Bedingung eines guten Gehalts sind, haben sowohl die Baue im 11. Lachter-, Saulerfarther- und Saulergesenk gezeigt, als auch die im Neuen Zuge, wo das Flöz von viel weniger Rücken durchsetzt war als in der Mulde — während gleichwohl die Schiefen im allgemeinen sehr gut waren. Auch ist man daselbst in tauben Schiefen aufgefahren, hat an den dieselben durchsetzenden Rücken abgeteuft und die Schiefen abermals taub gefunden, ebenso aber auch umgekehrt.“

In noch allgemeinerer Verurteilung der Überschätzung des Einflusses der Rücken auf den Erzgehalt im ganzen äußert sich Freiesleben als Frucht eingehendster Kenntniss des Kupferschiefergebirges: „Partielle Modifikationen in der Metallführung von mancherley Art werden hauptsächlich durch Rücken bewirkt, sind aber eben deshalb weder anhaltend, noch charakteristisch für das ganze Flöz.“

Zusammenfassend erklärt er, daß „der Mansfeldsche (und noch weniger der Sangerhäuser) Bergbau, seine Freygebigkeit keineswegs einem gewissen Reichtum seiner Schiefer verdankt. Denn solcher Punkte, wo der angegebene Normalgehalt merklich überstiegen wird, sind nur wenige, auch sind sie nie anhaltend.“

Diese Angaben, die zu einer Zeit gemacht wurden, da man immer wieder die Gangnatur der Rücken annehmen zu müssen glaubte, geben ein klares Bild davon, daß die Rücken keinesfalls für den Bergbau im Kupferschiefer ausschlaggebend sein können.

Man könnte schließlich einwenden, daß diese Angaben aus Zeiten stammen, da der Kupferschieferbergbau nur in den oberen Teufen umging, und daß sie auf die in größeren Tiefen angetroffenen Verhältnisse nicht angewendet werden können. Dieser Auffassung kann durch die Zusammenstellung der Produktionsziffern in den letztvergangenen Jahrzehnten begegnet werden, in denen der Abbau Tiefen von 700 bis 800 Metern unter Tage erreichte. Diese von mir berechneten Produktionszahlen zeigen bei prozentueller Berechnung jeweils über lange Jahre sehr gleichartige Werte und beweisen daher aufs klarste, daß tatsächlich die Rücken den Erzgehalt nicht wesentlich zu beeinflussen vermögen. Denn an keiner Stelle im Mansfeld-Eisleber Gebiet werden nur die Rückenpartien allein abgebaut, vielmehr ist stets völlig flächenhaft das Kupferschieferflöz zur Verhüttung verwendet worden und nur ganz vereinzelt sind Felder als unbauwürdig stehen geblieben. Letzteres ergibt ein Blick auf die Karte der abgebauten Flächen im Mansfeld-Eisleber Gebiet (Abb. 6 auf S. 43). Weitaus der größte Teil der nicht abgebauten Flächen entfällt auf Sicherheitspfeiler für die Ortschaften und Werksanlagen über Tage und für die Schächte, Flachen und einen Teil der Strecken, während ein anderer Teil auffälligerweise in Rückengebieten liegt, wobei der infolge der gestörten Lagerung schwierige und daher verspätete Abbau eine Rolle spielt.

Für die Zeit von 1860 bis 1915 sind folgende Förderungs- und Produktionsziffern bekannt geworden, aus denen sich der Prozentgehalt der Minern an Kupfer ergab:

Jahr	Minern- förderung ¹⁾ t	Produktion von		Prozentgehalt der Minern an Kupfer	Jahr	Minern- förderung t	Produktion von		Prozentgehalt der Minern an Kupfer
		Kupfer t	Silber kg				Kupfer t	Silber kg	
1860	61 920	1 501	7 819	2,4	1888	469 716	13 802	78 696	2,9
1861	59 013	1 486	8 008	2,5	1889	511 323	15 758	86 714	3,1
1862	65 801	1 742	8 823	2,6	1890	536 489	16 391	88 125	3,1
1863	73 927	1 848	9 462	2,5	1891	521 696	15 366	80 512	2,9
1864	86 662	1 902	9 790	2,2	1892	499 936	15 588	85 984	3,1
1865	96 353	2 113	10 055	2,2	1893	514 190	14 350	75 308	2,8
1866	99 207	2 337	11 444	2,4	1894	521 259	15 202	75 496	2,9
1867	118 433	2 661	12 819	2,2	1895	565 831	15 079	75 878	2,7
1868	143 132	3 316	15 860	2,3	1896	650 985	18 536	100 357	2,8
1869	157 610	3 637	16 188	2,3	1897	632 168	18 248	95 573	2,9
1870	156 107	3 803	17 459	2,4	1898	641 004	18 335	103 947	2,9
1871	178 232	3 955	18 245	2,2	1899	659 524	21 116	119 106	3,2
1872	231 200	5 475	22 905	2,4	1900	671 918	18 676	97 506	2,8
1873	229 621	5 571	23 278	2,4	1901	695 321	19 080	99 132	2,7
1874	201 386	5 159	23 059	2,6	1902	680 784	18 749	98 446	2,8
1875	217 864	6 039	30 057	2,8	1903	686 838	19 258	97 358	2,8
1876	234 731	6 283	31 088	2,7	1904	708 020	18 883	100 233	2,7
1877	277 036	6 908	34 960	2,5	1905	696 710	19 878	101 290	2,9
1878	307 438	8 004 ²⁾	42 685	2,6	1906	687 929	19 854	100 123	2,9
1879	329 064	8 565	45 258	2,6	1907	678 366	19 179	102 206	2,8
1880	405 587	9 859	51 586	2,4	1908	647 711	17 975	94 973	2,8
1881	445 415	11 057	59 836	2,5	1909	720 470	18 906	100 766	2,6
1882	490 228	11 774	62 708	2,4	1910	814 450	20 231	109 311	2,5
1883	536 085	12 906	68 463	2,4	1911	810 261	20 805	113 272	2,6
1884	522 181	12 842	74 133	2,5	1912	873 305	20 447	112 651	2,3
1885	557 421	12 724	75 076	2,3	1913	826 024	20 226	111 023	2,4
1886	441 367	12 851	75 271	2,9	1914	806 451	19 684	103 374	2,4
1887	443 074	13 326	75 205	3,0	1915	942 849 ³⁾	20 179 ³⁾	107 086 ³⁾	2,1

Ein Vergleich der Zahlen ergibt, daß der Kupfergehalt des verhütteten Kupferschiefers zwischen ungefähr 2,1 und 3,2 % schwankt.

Diese Schwankung ist auf mehrere Ursachen zurückzuführen. Einmal kann, wie man gemeinhin annehmen möchte, ein höherer Kupfergehalt auf reichere Minern zurückgeführt werden. Man könnte in diesem Falle auch an den Einfluß besonders häufiger Rückenpartien denken. Von wesentlicher Bedeutung aber sind für die Mansfeldsche Gewerkschaft von jeher der Kupfer- und Silberpreis, sowie die Gesteungskosten gewesen. Bei sinkendem Metallpreis mußten, um gleiche Gewinne wie früher zu erzielen, bessere Flözpartien aufgesucht bzw. nur die haltigsten Teile des Flözes abgebaut werden oder aber, und das ist der

1) 1860 bis 1885 Mansfelder und Sangerhäuser Reviere zusammengerechnet, ab 1886 Mansfelder Reviere allein.

2) Ab 1878 einschließlich Elektrolytkupfer (Feinkupfer).

3) Nach 1915 wurden wegen des Weltkrieges die Förderungs- und Produktionszahlen nicht mehr veröffentlicht.

gewöhnliche Fall, es wurde stärker geklaubt. Das Klauben, das heißt das Aussuchen der minderhaltigen Erzbrocken aus dem gefördertem Material und damit die Anreicherung haltigeren Erzes, hat von jeher eine Rolle im Kupferschieferbergbau gespielt. Durch diese Vorbehandlung des gefördertem Erzes konnte von jeher, je nachdem stärker oder weniger stark geklaubt wurde, der Prozentgehalt der Minern erhöht oder erniedrigt und damit die Selbstkosten für Kupfer und Silber der Marktlage angepaßt werden. Es wäre somit irrtümlich, ein höheres oder geringeres Ausbringen etwa ausschließlich auf höheren oder geringeren Durchschnittsgehalt des Kupferschieferflözes allein zurückführen zu wollen. Vielmehr haben dabei zumeist wirtschaftliche Fragen eine ausschlaggebende Rolle gespielt.

Was die statistische Zusammenstellung und Berechnung anbelangt, so ist im einzelnen zu sagen, daß die Zeit von 1860 bis 1915 in bezug auf die prozentuelle Haltigkeit der Gesamtheit der Minern in vier Abschnitte eingeteilt werden kann. Die erste Periode umfaßt die Zeit von 1860 bis 1885. In diesen Jahren schwankt das Ausbringen an Kupfer zwischen 2,2 und 2,6% mit Ausnahme der Jahre 1875 und 1876 mit 2,8 und 2,7%; der Durchschnitt für diese Zeit ist 2,4. Die zweite Periode schließt die Jahre 1886 bis 1908 ein, in denen jährlich zwischen 2,7 und 3,1% Kupfer aus den Minern produziert wurden mit Ausnahme des Jahres 1899 mit 3,2%, der Höchstzahl, die in dem überschauten Zeitraum erreicht wurde; der Durchschnitt betrug 2,9%. Der dritte Abschnitt setzt mit dem Jahre 1909 ein und endet 1914, der vierte Abschnitt beschränkt sich auf das Jahr 1915. In der dritten Periode schwankte der Kupfergehalt der Minern zwischen 2,3 und 2,6% und hat durchschnittlich 2,5%. In der vierten Periode, dem Jahre 1915, wird die niedrigste Ausbringezahl des ganzen überschauten Zeitraums, 2,1%, erreicht. Auffällig ist das plötzliche Hinaufschnellen der prozentuellen Produktionszahlen nach 1885. Man könnte sie mit dem Aufhören des Bergbaus in den Sangerhäuser Revieren in direkte Beziehung bringen. Aber ein Vergleich der Abbauzahlen für die Mansfelder und die Sangerhäuser Reviere zeigt, daß diese Annahme nicht stichhaltig ist. Auch könnte man bei oberflächlicher Betrachtung die Zunahme des Prozentgehaltes der Minern nach 1885 mit dem Fortschreiten des Abbaus in die Tiefe in Verbindungen bringen und annehmen, daß in der Tiefe allgemein reichere Erze sich finden. Aber auch diese Annahme ist bei genauer Betrachtung der Verhältnisse nicht stichhaltig. Vielmehr ist die Erhöhung des Gehaltes der Minern, die seit 1886 einsetzt, auf eine ganz erhebliche Abnahme in der Förderung an Minern zurückzuführen, der die Annahme der Bergarbeiterzahl nicht entspricht (in den Mansfelder Revieren Abnahme von 542000 t im Jahre 1885 auf 441000 t im Jahre 1886). Das läßt mit Sicherheit auf eine Ausmerzung der geringerhaltigen Erze, eine schärfere Trennung von wertvollem und geringhaltigem Material, schließen, während vorher auch geringer haltige Erze mitverhüttet worden waren. In der dritten Periode, die mit einer ganz erheblichen Steigerung der Förderung an Minern zusammenfällt (1908 noch 648000 t gegen 720000 t im Jahre 1909 und 814000 t im Jahre 1910), kehrte man offensichtlich zu denselben Verhältnissen zurück, die vor 1885 geherrscht hatten: man verwandte wiederum auch geringerhaltige Erze bei der Verhüttung. Das Jahr 1915, dessen Resultat durch den Krieg und seine Folgen und Erfordernisse wesentlich mitbedingt ist, zeigt wiederum eine ganz gewaltige Steigerung der Minernförderung (943000 t gegen 806000 t im Jahre 1913), die aber ebenfalls auf Kosten der Haltigkeit der Minern erkaufte wurde. Bei allen Änderungen des durchschnittlichen Prozentgehaltes der Minern kam eben als wesentlich in Frage, ob man nur die haltigsten Teile des Flözes oder auch geringerhaltige Teile — die ja, da mindestens 40 cm abgebaut werden mußten, ohne neue Abbaukosten stets mit gebrochen werden! — zur Verhüttung verwenden wollte.

Dritter Teil.

Die Entstehung und Umbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers im Lichte der chemischen und physikalischen Geologie.

Die Fragen, die in diesem dritten Teil der Abhandlung zu erörtern sind, kann man in solche gliedern, die an jedem Ort über weite Strecken des mitteldeutschen Kupferschiefergebieten in gleicher Weise auftreten, und in solche, die von Ort zu Ort wechseln. Im ersteren Falle sind nur die lokalen Verhältnisse zu berücksichtigen, wie das bisher eingehend fast ausschließlich erfolgt ist. Im zweiten Falle aber muß man die regional entfernten Kupferschiefervorkommen gegenseitig vergleichen, um ein klares Resultat erzielen zu können. Es läßt sich somit dieser dritte Teil der Abhandlung in zwei Kapitel trennen, wovon das erste die lokal gleichartigen Bildungs- und Umbildungserscheinungen, das zweite dagegen die erst regional erkennbaren Gesetzmäßigkeiten der Bildung und Umbildung des Kupferschiefers umfaßt.

I. Lokale Bildung und Umbildung des mitteldeutschen Kupferschiefers.

A. Lokale Bildungsverhältnisse im mitteldeutschen Kupferschiefer.

Die Bildung des mitteldeutschen Kupferschiefers ist, was seine über weite Erstreckung gleichartige Ausbildung anbelangt, im ersten Teil der Abhandlung schon eingehend erörtert worden. Über die Sedimente des Kupferschiefers ist daher in bezug auf die örtliche Gleichartigkeit der Vorkommen nichts mehr zu berichten.

Die letzte Klarheit über die Bildung dieser Ablagerung wird indes erst die regionale Betrachtung verschaffen, die die geringen Veränderungen in der Beschaffenheit des Kupferschiefers von Ort zu Ort berücksichtigt und erklärt. Diese Fragen werden im folgenden, zweiten, Kapitel behandelt werden.

B. Die Umbildung im mitteldeutschen Kupferschiefer.

Über die Umbildungen des mitteldeutschen Kupferschiefers, die überall in gleicher Weise vor sich gegangen sind, kann hier eingehend berichtet werden. Da jedoch das Sediment als solches sich in der Zeit der Umbildungen bis auf den Erzanteil fast völlig unverändert erhalten hat, so beschränken sich die Untersuchungen im wesentlichen auf die Erzumwandlungen, die im Kupferschiefer im Laufe der Zeiten vor sich gegangen sind.

1. Die hypohalinische Zone.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß die submarin entwickelten Schichten verhältnismäßig bald nach ihrer Bildung ihren Wassergehalt verlieren, trocken werden und nur noch die sogenannte Bergfeuchtigkeit übrig behalten.

Auf diese Austrocknung weist schon die Tatsache hin, daß in größerer Tiefe des Gebirges, in die Sickerwässer von der Erdoberfläche nicht hinabzu steigen vermögen, das Gestein meist völlig trocken befunden wird. Dies ist z. B. in fast allen in größere Tiefe reichenden Bergwerken der Fall. Die Annahme, daß große Feuchtigkeit die Gesteine auch in der Tiefe durchtränkt, wäre also irrtümlich.

Da nun aber das Wasser als Agens für Gesteinsumwandlungen, soweit sie sich bei Tiefen mit Temperaturen unter dem Siedepunkt und nicht intramolekular vollziehen, unbedingt erforderlich ist, so können spätere Ver-

änderungen eines Gesteins entweder nicht oder höchstens unter der gering zu wertenden Bergfeuchtigkeit oder unter der Einwirkung von in diesen Gesteinen nur ausnahmsweise auftretenden Wässern eintreten.

Diejenigen Veränderungen, die bei Temperaturen über dem Siedepunkt vor sich gehen, werden allgemein mit dem Begriff Metamorphose belegt. Soweit die Vorgänge aber bei niederen Temperaturen, die diejenigen nicht über-treffen, welche wir auch an der Erdoberfläche unter der Einwirkung der Sonnen-wärme erleben können, sich vollziehen, hat man den Begriff Diagenese eingeführt.

Unter derartigen Einflüssen sind die wichtigsten Umbildungen im mitteldeutschen Kupferschiefer erfolgt, die Rückenbildungen, die sich an die Klüfte, Spalten und Verwerfungen anschließen, welche den Kupfer-schiefer durchziehen.

Im Bereich dieser Rücken haben an Umlagerungen stattgefunden:

1. Anreicherungen von Erz und anderen Mineralien, insbesondere auch in höheren Lagen des Kupferschiefers,
2. Kornvergrößerung,
3. Bildung der sogenannten Reichsulfide Buntkupfererz und Kupferglanz.

Für diese Umlagerungen aber muß, wie erwähnt, die Anwesenheit von Feuchtigkeit im Gestein und weiterhin das Vorhandensein von Klüften oder Verwerfungen vorausgesetzt werden.

a) Sekundäre Lateralsekretion im Gefolge der kretazischen und tertiären Gebirgsbildung.

Es ist durchaus nicht von der Hand zu weisen, daß die Bergfeuchtigkeit, so gering sie erscheinen mag, Umsetzungen im Gestein hervorzurufen vermag. Denn auch wenn ein Gestein völlig trocken erscheint, so ist doch eine verhältnis-mäßig große Menge nicht gebundenen Wassers in ihnen chemisch nachweisbar. So sind nach Grubenmann in Tongestein im Mittel nicht weniger als 10% Wasser. Derartig im Gestein festgehaltenes Wasser vermag nach ebengenanntem Forscher, dem besten Kenner der kristallinen Schiefer, die Veranlassung zur Metamorphosierung von Gesteinen darzustellen. Es können somit zweifellos auch diagenetische Umsetzungen in beschränktem Maße unter der Einwirkung von derartigem Adhäsionswasser erfolgen.

Auf die Bildung von Rücken, das heißt von Erzimprägnationen, die bis auf 5 oder gar 10 Meter und mehr seitlich von Klüften ins ungestörte Gestein hineinreichen, kann das Adhäsionswasser aber keinesfalls eingewirkt haben. Hierzu bedurfte es zweifelsohne der Anwesenheit von Tiefenwasser, das die Klüfte und deren Umgebung erfüllte. Wie wir aber im vorhergehenden er-fahren haben, pflegt solches Wasser unter gewöhnlichen Umständen nicht im Gestein vorhanden zu sein, vielmehr ist dies nur unter ganz besonderen Voraussetzungen möglich.

Auch insofern ist das Rückenproblem schärfer umrissen, als die Ver- werfungen, die, wie oben angedeutet wurde, die Veranlassung zu den Rücken- bildungen bildeten, jedenfalls nicht vor Ausgang der Jurazeit ihre erste Anlage und Entwicklung erfuhren, als der Harz, der Thüringer Wald und das ganze mitteldeutsche Gebiet erneuten tektonischen Veränderungen unter dem Einfluß der Gebirgsbildung unterlagen. Im wesentlichen dürfte die Bildungszeit der Verwerfungen und damit der Rücken in die Kreide und das Tertiär fallen.

Die Richtung und Lage der Rücken im Mansfeld-Eisleber Gebiet ist nebenan in Abb. 8 dargestellt. Aus dem Verlauf des Ausgehenden und der verschiedenen Tiefbausohlen ist zugleich die als Folge der herzynischen Faltung entwickelte Muldenbildung im Bereich der Mansfelder Mulde zu erkennen.

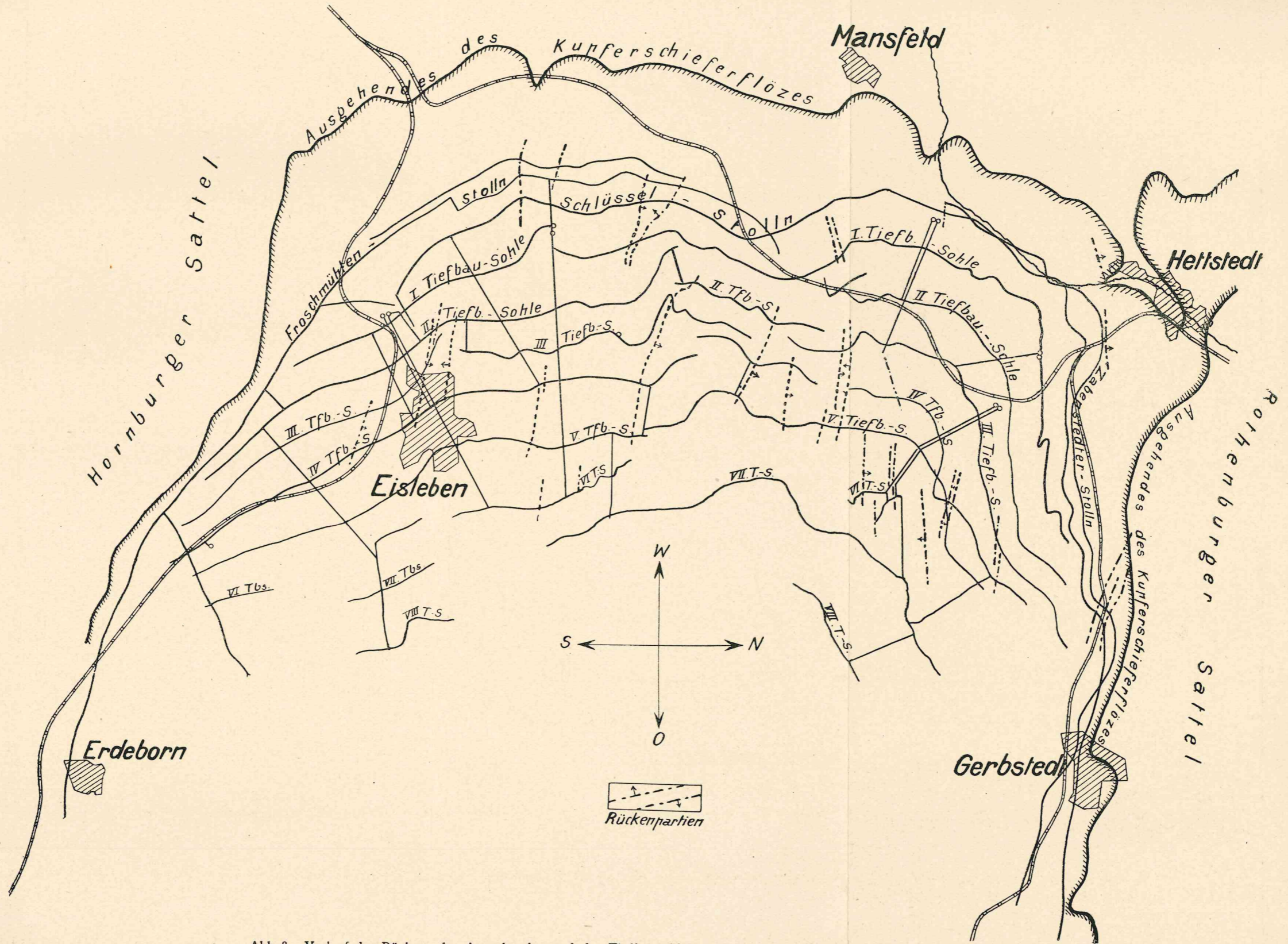


Abb. 8. Verlauf der Rücken, des Ausgehenden und der Tiefbausohlen im Bereich des Mansfelder Kupferschiefer-Bergbaus.

Es ist sehr interessant, daß durchaus nicht alle Spalten auch Erzfüllung aufweisen. Auch dadurch wird die Entstehung der Rücken zeitlich eingengt. Die Rücken, also die erzführenden Spalten, haben ein Streichen zwischen O. 10° und 20° S. in allen Revieren des Mansfeld-Eisleber Gebiets.

Neben den Rücken findet man Spalten, die O. 40° S. verlaufen und zumeist mit Kalkspat ausgefüllt sind. Sie liegen also in einer zur Hauptrichtung der Rücken spitzwinkligen Richtung. Bei ungestörter Lagerung des Kupferschiefers treten nur einfache Spalten auf, während in der Nähe der Rücken oft ganze Systeme von Spalten angetroffen werden. Diese Beobachtung läßt darauf schließen, daß diese letzteren Spalten in ihrer Bildung von der Anwesenheit der Rücken beeinflusst worden sind, also jünger sind als die Rücken.

Im Bereiche der Hauptrücken treten in im wesentlichen parallelem Verlauf zu den Rücken Spaltenzüge auf, die gegen die Hauptrücken zu immer mehr sich vermehren. Ihre Hauptausfüllung besteht aus Gips. Diese Spalten werden durch zahllose Querspalten gegenseitig verbunden.

Aus alledem geht hervor, daß die Rückenbildung mit ganz bestimmten äußeren Ereignissen in Zusammenhang zu bringen ist. Die Entwicklung der Rücken steht in engstem Zusammenhang mit der Aufrichtung von Harz und Thüringer Wald als Gebirgen. Es war eine Zeit gewaltiger tektonischer Bewegungen, die insbesondere auch die älteren Sedimente außerordentlich beeinflussten. Nach den wertvollen Untersuchungen Stilles, der die Erhebung des Harzes im wesentlichen in die jüngere Kreidezeit verlegt, wurden die Zechsteinschichten bis zur Tertiärzeit zum Teil mit einem Schichtenkomplex von bis zu 5000 Meter und mehr Mächtigkeit überdeckt, der Zechstein gelangte also teilweise in ganz außerordentliche Tiefen unter der Erdoberfläche.

Im Zusammenhang mit diesen tektonischen Verschiebungen erfolgten in dem den Kupferschiefer direkt überlagernden Salzgebirge, dessen Salze erheblich plastischer sind als der Kupferschiefer und die darüber liegenden Trias-sedimente, oft außerordentlich komplizierte Verlagerungen der Gesteine, während die starreren Gesteine im Liegenden und im Hangenden viel geringeren Veränderungen durch die tektonische Beeinflussung unterlagen. Übrigens zeigt auch der Kupferschiefer bei tektonischen Verlagerungen ein etwas anderes Verhalten als das Rotliegende und der dolomitische Zechstein. Während die letzteren Gesteine bei stärkeren Faltungen kurz abgerissen sind, ist der Kupferschiefer im allgemeinen nur gebogen.

Infolge der starken Überdeckung der Zechsteinablagerungen durch jüngere Sedimente erhöhte sich aber auch die Temperatur in den tief liegenden Schichten ganz erheblich. Entsprechend den eben angegebenen Tiefen mag zu jener Zeit die Temperatur in weiteren Gebieten des mitteldeutschen Kupferschiefers auf 80 bis 100 Grad Celsius, also bis an die Grenze der Zone der Diagenese bzw. der Zone der Metamorphose, gestiegen sein. Diese unter Voraussetzung einer starken Überdeckung mit Sicherheit anzunehmenden hohen Temperaturen liefern den Schlüssel für die Erklärung des Vorkommens gewisser Salzmineralien in den Zechsteinsalzen, die nur unter hohen Temperaturen gebildet sein können, und insbesondere des in weiter Verbreitung auftretenden Hartsalzes, der Mineralkombination Kieserit-Sylvin, die eine Mindestwärme von 72 Grad für ihre Bildung verlangt, und die nur unter Voraussetzung derartiger sekundärer Umsetzungen unter hohen Temperaturen erklärbar ist.

Diese sekundären Umsetzungen im Bereiche des Zechsteinsalzlagere führen aber noch zu einer weiteren Überlegung, die für die Erklärung der Rückenbildung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Durch die Untersuchungen, insbesondere der jüngsten Zeit, ist nachgewiesen, daß bei der Erhöhung der Temperatur der Zechsteinschichten in den Tiefen der Erde eine Reihe der

ursprünglich im Zechstein vorhandenen Mineralien ihren Wassergehalt ganz oder teilweise verloren hat: In erster Linie ist hier der Gips zu nennen, der sich unter Abgabe von Wasser in Anhydrit verwandelt. Dann zum Beispiel der Reichardt (MgSO₄ · 7H₂O), der durch Wasserabgabe nacheinander in das Magnesiumhexahydrat (MgSO₄ · 6H₂O) und Kieserit (MgSO₄ · H₂O) übergeht. Die wichtigsten wasserärmeren Mineralien sind neben den genannten Löweit, Leonit, Kainit, Langbeinit, von denen bei weiterer Temperaturzunahme Leonit, Kainit und Langbeinit wieder verschwinden und schließlich nur Karnallit, Kieserit, Sylvit und Löweit bei Temperaturen bis 100 Grad existenzfähig bleiben.

Bei diesen Umsetzungen wird des weiteren insbesondere Chlormagnesium als Lauge gelöst.

Durch diese geschilderten Umsetzungen wurden erhebliche Mengen von Wasser frei, das in Form von Laugen entweder im Gestein erhalten blieb und in der Tat da und dort beim Abbau der Salzlagerstätten angetroffen wird. In weitaus den meisten Fällen aber sind diese während der Zeit der tektonischen Verlagerungen und damit auch der petrographisch-mineralogischen Umsetzungen gebildeten Feuchtigkeitsmengen heute nicht mehr nachweisbar. Ein erheblicher Teil dieser Laugen ist somit verloren gegangen. Möglicherweise ist Wasser chemisch gebunden worden. Zweifellos sind diese Wassermengen auf Verwerfungsflächen und Klüften in das sie zunächst umgebende Gestein ausgetreten. Das direkt das Salzgebirge unterlagernde Gestein ist aber der Kupferschiefer. In ihn haben sich die an der Basis des Salzgebirges austretenden salzhaltigen Wässer hingezogen. Hier staute sich die Feuchtigkeit, bis sie in geologisch langen Zeiträumen allmählich weiter im Gebirge sich verteilte.

Diese Wässer, deren einstige Existenz erst durch die Untersuchungen der jüngsten Zeit und insbesondere durch Jänecke festgelegt worden ist, und welche vor kurzem Rinne zusammenfassend behandelt hat, sind es zweifellos gewesen, die ausschließlich die Rückenbildungen verursacht haben. Nur durch in den Klüften vorhandenes Wasser konnte das Gestein des Kupferschiefers durchfeuchtet werden, und so erst war die Möglichkeit für chemische Umsetzungen großen Stils auch im Kupferschieferflöz gegeben.

Wie wir gesehen haben, zeigt das Salzgebirge des Zechsteins oft eine wirre Tektonik. Da aber das Salz zumeist von Anhydrit und Gips umgeben ist, und der Anhydrit bei Aufnahme von Wasser und Umwandlung zu Gips stark aufquillt, so sind alle einstigen Sprünge in der Tiefe wieder ausgeheilt, zumal auch das Salz mit seiner hohen Plastizität jede entstehende Öffnung sofort jeweils wieder schloß. Dadurch war es nach Austreten der salzigen Wässer aus dem Salzgebirge in den Bereich des Kupferschiefers diesen nicht mehr möglich, nach oben weiter zu wandern. Sie mußten sich vielmehr ungefähr in der Höhe halten, in der der Kupferschiefer liegt, oder nach abwärts sickern.

Aus diesem Grunde ist es ausgeschlossen, daß unter diesen Verhältnissen damals aus dem Kupferschiefer Erz ausgewandert und verloren gegangen ist. Nach oben konnte es nicht durch das Salzgebirge durchtreten, nach unten zu ist eine Wanderung nirgends im Gestein beobachtet. Vielmehr müssen sich alle Umlagerungen der Erze in den eben besprochenen Zeiten in der Tiefe der Erde zwischen Weißliegendem bzw. Grauliegendem bzw. Zechsteinkonglomerat und dem Salzgebirge abgespielt haben. Es muß somit aller Erzgehalt erhalten geblieben, aber zum Teil seitlich gewandert sein und höchstens bis zu ca. 1 Meter in vertikaler Richtung, zum Teil in die Höhe und einige Zentimeter, in die Tresse, nach unten.

Es stellt sich die Rückenbildung in der Tiefe als nichts anderes als eine Art Lateralsekretion dar, wie sie schon seit langer Zeit beschrieben und vor nunmehr ca. 40 Jahren erneut wieder energisch von Sandberger vertreten

worden ist. Danach werden Erze, die sich im Nebengestein finden, auf Klüften und Spalten angereichert und bilden schließlich eine Lagerstätte. Die Bewegungsrichtung des Erzes ist also im wesentlichen eine solche von innen nach außen. Da jedoch, im Gegensatz zur Lateralsekretion im allgemeinen, diejenige des Kupferschiefers keine Neubildung einer Erzlagerstätte, sondern nur eine sekundäre Umbildung derselben darstellt, so habe ich diese Art der Lateralsekretion als sekundäre Lateralsekretion bezeichnet.

Beim Kupferschiefer ist also die Rückenbildung, da eine Erzzufuhr weder von unten noch von oben statthaben konnte, die Folge einer Umlagerung des Erzes von innen, von dem ungestörten Gebirge, nach außen, in Richtung gegen die Klüfte, wo das aus den Salzgebirgsschichten ausgetretene Wasser am besten zu wirken vermochte und damit die Umlagerungen und insbesondere auch die Neuanlagerungen am raschesten und intensivsten veranlassen und damit die Anhäufung der relativ größten Mengen bewirken konnte.

So sind die Erze des Kupferschiefers zum Teil von innen nach außen, vom ungestörten Gebirge in die Rücken gewandert. Daher konnten sich hier die ursprünglich syngenetisch eingelagerten Erze erneut absetzen und anreichern. Dies erkennt man z. B. an den Erzlinealen von Kupferkies, die sicher sekundärer Entstehung sind. Als deutliches Kennzeichen ihrer sekundären Ausbildung weisen sie faserige Struktur auf, wie dies z. B. vom Fasergips allgemein bekannt ist. Von Wolff hat mit Recht auf diese Erscheinung als eine sekundäre hingewiesen.

Zu den Vorgängen der Wanderung der Erze im Kupferschiefer gehört zweifellos auch die Bildung der Nickel- und Kobaltrücken. Man darf die Vorkommen von Kobalt und Nickel auf den Rücken der Gebiete des einstigen Kupferschiefermeeres in den zentraleren Teilen nicht mit denjenigen von Kamsdorf und Saalfeld vergleichen. Während es sich dort um echte Gänge und Gangausfüllungen handelt, haben wir hier nur Anhäufungen von bestimmten Metallen aus der Gesamtmenge der Erze, die der Kupferschiefer einschließt. Es ist genau derselbe Fall, der bei den Rücken zur Bildung von reicheren Kupfererzen oder gar zur Bildung von Kupfer- und Silberblechen oder von Bleiglanz und Zinkblende usw. im Kupferschiefer geführt hat. Ein Teil der Erze hat sich auf gewissen Rücken in besonders großer Menge angereichert, so in diesem Falle Nickel- und Kobalterze. Daher unterscheidet auch Schrader nicht zwischen Kupfer führenden Rücken einerseits und Nickel und Kobalt führenden Rücken andererseits, sondern er faßt alle Rücken, gleichgültig von welcher Erzführung, zusammen. Er sagt: „Die Rücken selbst sind entweder metalleer oder zeigen reiche Ausscheidungen von Erzen, namentlich Kupfer-, Kobalt- und Nickelerze. Ihre Erzführung ist jedoch in der Regel auf die Höhe der Niederziehung der Flözlagen beschränkt, sie reicht selten tiefer in das Liegende hinab oder höher in das Hangende hinauf.“ Da eben auch der Nickel- und Kobaltgehalt, ebenso wenig wie der Kupfergehalt, sich in vertikaler Richtung nicht weiter verfolgen läßt, als ungefähr der Kupferschiefer reicht, so ist die Herkunft dieser Erze aus der Tiefe ebenso unwahrscheinlich wie die des Kupfergehaltes der Rücken. Auch dadurch verliert die Auffassung über die Zufuhr der Kobalt- und Nickelerze aus der Tiefe ihre Basis, daß ja im Kupferschiefer der Nickelgehalt als bleibender Anteil der Speise erkannt ist auch da, wo Rücken völlig fehlen. Die Kobalt- und Nickelrücken bilden somit keine Vorkommen von besonderer Entstehung, vielmehr sind sie mit dem Rückenproblem zusammen als Bestandteil desselben zu behandeln.

Im Anschluß an die Erzwanderung bei der Rückenbildung sei das Eindringen und der Absatz von Gips innerhalb des Kupferschiefers besprochen. Vielfach findet man Gips, zumeist in der Form des Fasergipses in den Nobergen, teils über und auch unter der Lette, häufig kommt er parallel zur Lagerung des

Flözes vor. Dann und wann durchzieht aber der Gips auch aderförmig das ganze Flöz in den verschiedensten Richtungen. Interessant ist die Beobachtung der Bergleute, daß oft da, wo der Gips im Kupferschiefer auftritt, das Flöz arm oder gar taub befunden wird. Er wurde daher von den Bergleuten auch der Räuber genannt, weil sie annehmen, daß der Gips die Schuld an der Verarmung des Flözes trage.

Schon im ersten Teil der Abhandlung ist darauf hingewiesen worden, daß der Gips keinesfalls primär im Gestein abgelagert sein könne. Die primäre Ausscheidung der Erdalkalien erfolgte in der Form der Karbonate, da Ammoniumkarbonat im Meerwasser enthalten war. Die Gipsbildung im Kupferschiefer kann daher nur eine sekundäre sein. Sie steht in engstem Zusammenhang mit der Erzzumbildung unter dem Einfluß der aus dem Salzgebirge ausgetretenen Laugen. In ihnen mußte eine erhebliche Menge von Gips enthalten sein, die ihrerseits sich leicht in dem Kupferschieferflöz wieder ausscheiden konnte. Schon die teilweise Lage auf Spalten und Spältchen erweist seine sekundäre Bildung, ebenso aber auch die Ausbildung in Form des Fasergipses, während bei primärem Absatz körnige Struktur zu erwarten wäre. Auch die unregelmäßige Ausscheidung in den verschiedenen Lagen des Kupferschiefers weist auf ein späteres Eindringen bzw. Fernbleiben bei Nichtausscheidung hin. Endlich ist aber auch die Beobachtung der Bergleute von Interesse, insofern da, wo Gips ausgeschieden ist, der Erzgehalt vielfach sich verändert hat. Das deutet, soweit es sich um Vorkommen in der hypohalinischen Zone handelt, auf Gleichzeitigkeit mit den Erscheinungen der Rückenbildung hin.

Auch das Vorkommen von Faserkalk, Kalkspat, Quarz und körnigem Kalk auf Klüften und Verwerfungen muß auf sekundäre Einflüsse zurückgeführt werden, wenn auch hier die zeitliche Datierung der Veränderungen nicht so sicher festzulegen ist.

Es ist anzunehmen, daß die Tiefenwässer keinerlei erhebliche Bewegungsgeschwindigkeit besessen haben, vielmehr fast bewegungslos lange in den Spalten vorhanden waren und das Gestein durchtränkt haben.

Es mag der Auffassung geringer Bewegungsgeschwindigkeit des Wassers in den Klüften entgegengehalten werden, daß in Bergwerken oft erhebliche Wasserzuflüsse beim Anschlagen einer Kluft auftreten. Aber es ist zu bedenken, daß diese Wasserbewegung im unverritzten Gebirge meist nicht eintreten würde, vielmehr erst durch die künstliche Schaffung von Hohlräumen durch die Hand des Menschen veranlaßt ist, da erst jetzt ein Abfließen des Wassers an einen tiefer liegenden Punkt möglich geworden ist.

Wahrscheinlich ist jedoch ein außerordentlich langsames Wandern des Wassers im Verlauf der Jahrtausende anzunehmen. Daß in der Tiefe keine rege Wasserzirkulation einstens vorhanden sein konnte, beweist, daß heute in größerer Tiefe in den Kupferschieferschichten von Mansfeld und Eisleben das Gebirge völlig trocken ist, während in den oberen Teufen das Gestein von Wasser, das von der Oberfläche stammt, durchtränkt ist. Da heute keine Kommunikation dieses Wassers mit dem in größerer Tiefe erschlossenen Kupferschiefer besteht, so kann sie auch früher nicht stattgehabt haben. Infolgedessen ist auch an ein rasches Wandern der Lösungen nicht zu denken.

Daß trotzdem eine Umlagerung und Neuabsatz von Erz entlang den Klüften statthaben konnte, hängt einerseits damit zusammen, daß die Lösungen in den Poren des unzerrütteten Kupferschiefers einerseits und auf den Klüften andererseits inhomogen waren, so daß ein osmotischer Druck auf die Lösungen dauernd ausgeübt wurde, der die Beförderung der Erzlösung auch bei ruhendem Wasser durch Austausch der einzelnen gelösten Teile veranlaßte. Auch hat

zweifellos eine langsame Pseudomorphosierung zwischen Gestein und Erz eingesetzt. Auch haben zwei weitere hier im Anschluß zu besprechende Vorgänge auf die Umsetzungen wesentlich eingewirkt.

b) Sammelkristallisation oder Kornvergrößerung.

Neben der Umlagerung der Erzpartikel tritt an den Rücken eine Kornvergrößerung in erheblichem Maße auf. Durch diese Kornvergrößerung oder Sammelkristallisation, wie sie Rinne treffend genannt hat unter Vergleich der Einzelkriställchen und der aus ihnen gebildeten größeren Einheit mit vorher ausgeschwärmten Soldaten, die sich um ihren Führer sammeln, wird aus der für das unbewaffnete Auge unsichtbaren Speise die Fülle von Erzkörnern, Erzbohnen und Erzkieben, die die Rücken zu solch auffallenden Bildungen machen.

Die Erklärung für die Bildung größerer Kristalle ist darin zu suchen, daß, gleichwie an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeiten und Gasen, so auch an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeiten und festen Körpern eine Oberflächenspannung besteht. Die Oberflächenspannung wirkt in der Richtung, daß die in der Flüssigkeit vorhandenen Oberflächen der festen Körper möglichst verringert werden. Da nun die Oberfläche eines Körpers im Verhältnis zu seiner Masse allgemein um so mehr abnimmt, je größer er ist, so strebt die Oberflächenspannung die Bildung möglichst großer Körper an. Die Umwandlung von einer größeren Anzahl kleiner Kristalle in eine kleine Gruppe größerer Kristalle ist dadurch möglich, weil die kleineren Kriställchen eine den größeren gegenüber etwas höhere Löslichkeit besitzen. Dies läßt sich experimentell direkt nachweisen. Infolge der größeren Löslichkeit der kleineren Kristalle den größeren gegenüber wird die Lösung beständig in bezug auf die großen Kristalle übersättigt, während die kleineren von einer relativ ungesättigten Lösung umgeben sind. Daher lösen sich die kleinen Kristalle allmählich zugunsten der größeren auf, welche letztere zu größeren Individuen anwachsen. Die kleineren Kristalle haben also eine größere Lösungstension als die größeren. So kann um Körner eines Minerals oder um ein Kristallisationszentrum ein immer mehr sich vergrößernder Kristall sich entwickeln.

Man mag einwenden, daß die Kupfererze schwerlösliche Verbindungen seien. Die Schwerlöslichkeit hat jedoch keinen hindernden Einfluß auf diesen Vorgang. Denn einmal ist kein Mineral unlöslich, schon nicht im chemischen Sinne, viel weniger im geologischen. So kann wohl die Löslichkeit einer Substanz eine geringe sein, aber sie wird nie gleich Null. Da aber in der Geologie außerordentlich lange Zeiträume zur Verfügung stehen, so werden selbst verhältnismäßig sehr geringlösliche Mineralien, wie z. B. Quarz, im Laufe geologischer Zeiten ein sehr erhebliches Kristallwachstum aufweisen können.

Es ist hierbei noch zu berücksichtigen, daß die Lösungs- und Umsetzungswirkung des Wassers sowie die Diffusionsgeschwindigkeit der gelösten Substanzen mit zunehmender Temperatur sehr erhöht wird. Da nun für die hypohalinischen Umsetzungen verhältnismäßig hohe Temperaturen angenommen werden müssen, so läßt sich auch eine sehr lebhaftere Lösung und Wiederabsetzung und damit eine verhältnismäßig rasche Kornvergrößerung der Kupfersulfide annehmen.

Schließlich ist zu betonen, daß in der Chemie die Grenze der Wirksamkeit der verschiedenen Oberflächenspannungen praktisch schon bei recht geringer Größe der Mineralindividuen erreicht ist. Man könnte daher weiter annehmen, daß diese Kornvergrößerung auch in der Geologie schon bei sehr geringer Korngröße der Kriställchen aufhört. Da aber die Kristalle in der Natur außerordentlich lange Zeiträume zu ihrer Bildung und ihrem Weiterwachsen zur Verfügung haben und tatsächlich auch zwischen größeren Individuen eine Differenz in der

Oberflächengröße besteht, so wird stets auch das größere Individuum weiter wachsen können.

Die Möglichkeit leichter Kornvergrößerung entlang den Rücken im Kupferschiefer ist insbesondere durch die ultramikroskopische Kleinheit der syngenetisch abgelagerten Kupfererzpunkten, der Speise, gegeben. Denn diese ist, entsprechend ihrer außerordentlichen Kleinheit, verhältnismäßig leicht löslich.

Die Kornvergrößerung kann sich da am leichtesten vollziehen, wo der hierzu nötige Raum vorhanden ist, also am besten auf Klüften und Hohlräumen und nicht innerhalb des unbeeinflussten Flözes. Deshalb haben sich die größeren Körner entlang den Klüften abgesetzt, sowie in allen Klüften und Spältchen, während im Innern des kompakten Gesteins Kornvergrößerungen fehlen oder zurücktreten. Auf Klüften und Hohlräumen vermochte auch das — wenn auch noch so langsame — Zirkulieren des Wassers die Umsetzungen und Anhäufungen von Erz zu beschleunigen.

So ist es wohl verständlich, weshalb insbesondere auch in dem porösen Weiß- oder Grauliegenden erhebliche Erzanreicherungen statthaben konnten. So konnte es kommen, daß in dem Sanderz da und dort selbst eine stärkere Erzimprägnation und daher ein höherer Metallgehalt auftritt als im Kupferschieferflöz. Ein anderer Teil des Erzgehaltes des Sanderzes ist jedoch als primärer Entstehung anzusehen.

Auch wird es nunmehr erklärlich, daß der Kupferschiefer im Gegensatz zu der Verteilung des Metallgehaltes bei fehlenden Rücken bei stärkerer Umlagerung des Erzes einen höheren Metallgehalt in der Groben als in der Feinen Lette aufweist, und daß sich ein erheblicher Metallgehalt selbst noch bis in die Fäule hinein findet. Während unter normalen Umständen die unterste Lage des Kupferschiefers die Hauptmasse des Erzes enthält, verteilt es sich bei Anwesenheit von Rücken mehr nach oben über ein mächtigeres Schichtenpaket. Häufig ist gerade dann, wenn die höheren Lagen erreich sind, der Erzgehalt der Lette verhältnismäßig gering. Diese Erscheinung läßt sich aufs deutlichste in der graphischen Darstellung des rückenreichen Teiles der 4. Tiefbausoehle bei Eisleben erkennen, die der Arbeit als Tafel II angefügt ist.

Die Hieken, die besonders im unteren Teil der Dachberge auftreten, sind nicht, wie man vielleicht annehmen möchte, unter die Gebilde der Kornvergrößerung zu zählen. Sie sind vielmehr primäre Bildungen, die im allgemeinen überhaupt nicht aus Kupfererzen, sondern aus Schwefelkies bestehen. Diese Hieken sind als konkretionäre Bildungen aufzufassen, die schon zur Kupferschieferzeit sich entwickelten und im Schlamm des Meeresbodens eingebettet wurden.

Aus der hier gegebenen Darstellung ist zu entnehmen, daß bei der hypohalinischen Verlagerung des Erzes des Kupferschiefers das Erz, das die Verlagerung mitgemacht hat, aus der nächsten Umgebung stammt, und zwar aus der Speise des ungestörten Gebirges. Es handelt sich daher nur um eine im wesentlichen bis höchstens ca. 10 bis 20 m weite seitliche und eine kaum irgendwo einige Dezimeter der Höhenlage nach überschreitende Verlagerung der Erzteilchen.

Schon daraus ergibt sich, daß der Erzgehalt im großen Ganzen bei den hypohalinischen Umlagerungen, bei all den Rückenbildungen in der Tiefe, nicht geändert worden ist. Es müssen daher den reicheren Erzpartien genau weniger reiche entsprechen. Auch die graphische Darstellung zeigt aufs deutlichste, wie auf Partien mit höherem Erzgehalt stets wieder solche mit ausnahmsweise niederem folgen, und wie die Werte stets um ein Mittel herum oszillieren. Der Gesamtdurchschnitt des Erzes auf größere Entfernung ist daher immer etwa derselbe. Das konnte auch aus den langjährigen Prozentzahlen

der Produktion der Mansfeldschen Gewerkschaft, die auf S. 47 mitgeteilt sind, mit großer Sicherheit entnommen werden.

Zugunsten der Rücken spricht in wirtschaftlicher Hinsicht der Umstand, daß durch die Imprägnation mit Erz vorher geringhaltige, zum Beispiel unter ca. $1\frac{1}{2}$ % haltige Schiefer, die bei diesem Gehalt nicht mehr zur Verhüttung gelangt wären, durch Zufuhr von Erz zu guten Schiefen geworden sind, so daß sie nunmehr gewonnen werden können. Auch können die Wässer aus an sich schon geringhaltigem und daher unbauwürdigem Schiefer die Erze ausgelaugt und an anderer Stelle wieder abgesetzt haben, so daß dadurch eine weitere Anreicherung abbauwürdigen Materials entstand. Andererseits können aber auch durch den Erzentzug vorher bauwürdige Schiefer unbauwürdig geworden sein.

Diese etwa möglichen Verschiebungen im Gesamtgehalt, Rückenpartien und rückenfreie Partien gegen ungestörten Kupferschiefer je zusammengerechnet, werden um so weniger in die Erscheinung treten, je geringerhaltiges Material noch zur Verhüttung gelangen kann. Da eine Anreicherung der Erze des Kupferschiefers wegen der außerordentlich geringen Korngröße der Speise auf mechanischem Wege bisher unmöglich war, so konnten nur Schiefen mit etwa durchschnittlich $1\frac{1}{2}$ bis 2 % Metallgehalt noch gewinnbringend verarbeitet werden, während andere, aufbereitbare, Lagerstätten bei wesentlich geringeren Kupfermengen unter günstigen Verhältnissen noch abbauwürdig sind. Es ist daher auch der Frage der Aufbereitung des Kupferschiefers größte Aufmerksamkeit zu schenken.

Infolge der Größe und deutlichen Sichtbarkeit der einzelnen Erzteilchen erscheinen dem Bergmann die reichen Rückenbezirke als besonders wertvoll, und aus praktischen Gründen wendet er ihnen sein Hauptaugenmerk zu. Man muß sich aber klar sein, daß die Rücken nur die Ausnahme von der Regel darstellen und geeignet sind, das Gesamtbild über die Lagerstätte des Kupferschiefers zu trüben. Nur eine seitliche Verschiebung ist in den Rücken zu erkennen, die Hauptmasse des Erzes wird immer in den weiten Flächen des ungestörten Gebirges sich finden. Dies ist auch die Auffassung, die die Mansfeldsche Gewerkschaft für ihre Betriebe (1889) vertritt und auf die hier ausdrücklich verwiesen sei: „Welchen Einfluß die Rücken übrigens auf die Durchführung des Kupferschiefers in unserem Gebiete auch gehabt haben mögen, und wie sehr der Gehalt desselben auch auf kleine Entfernungen schwanken mag, im ganzen und großen betrachtet, ist dieser Gehalt über weite Flächen hin ein ziemlich konstanter und Jahrhunderte hindurch bis auf den heutigen Tag die sichere Grundlage für eine mäßige Ergiebigkeit des Mansfelder Bergbaues gewesen.“ Das erweist auch die oben auf S. 43 abgebildete Karte der abgebauten Teile des Kupferschieferflözes in den Mansfeld-Eisleber Bezirken, nach der nur verschwindend wenige Flächen wegen zu geringen Gehaltes ungebaut geblieben sind. Im Gegenteil sind gerade einige Rückenpartien mit dem Abbau — offenbar wegen der Schwierigkeiten desselben — noch im Rückstand.

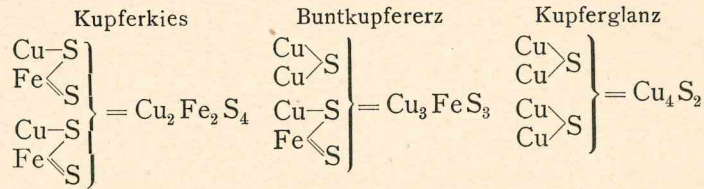
Infolge der Wirkung der Kornvergrößerung tritt bei diesen diagenetischen oder thermometamorphischen Vorgängen eine Art von Zementation ein. Man muß sich aber hüten, den Vorgang mit dem von Beyschlag und Krusch beschriebenen der Zementationszone zu verwechseln. Während die „Zementationserze“ im Sinne Beyschlags und Kruschs nur in der Nähe der Erdoberfläche und speziell im Bereich des Grundwasserspiegels sich entwickeln, unter demselben jedoch verschwinden, handelt es sich bei den Veränderungen in der hypohalinischen Zone um Vorgänge, die unter Abschluß von aller äußeren Einwirkung in der Tiefe der Erde vor sich gegangen sind, also mit Zementationswirkungen im oben genannten Sinne nichts zu tun haben. Man muß sich darüber

klar werden, daß die Kornvergrößerung eben überhaupt kein Vorgang ist, der sich auf einen bestimmten Umwandlungsvorgang oder eine bestimmte Tiefenzone beschränken würde. Vielmehr kann er sich bei allen Bildungs- und Umbildungsvorgängen, und überhaupt bei allen Vorgängen finden, die zu mineralischem Aufbau führen.

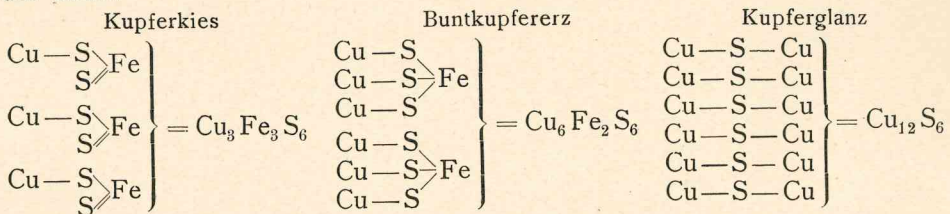
Über die „Zementation“ und die „Zementationserze“ des Kupferschiefers sei gleich im Anschluß hieran berichtet.

c) Bildung der Reichsulfide.

Gegenüber dem im allgemeinen als Speise im Kupferschiefer vorhandenen Kupferkies (CuFeS_2) mit 34,5 % Cu sind Buntkupfererz (Cu_3FeS_3) mit 55,5 % Cu und Kupferglanz (Cu_2S) mit 79,8 % Cu an Kupfer angereicherte Sulfide oder sogenannte Reichsulfide. Schreibt man die Formeln in folgender Weise:



oder auch:



so ergibt sich, daß in zunehmendem Maße das Eisen durch Kupfer ersetzt wird. Im ersten Fall ist die Anzahl der Metallatome, im zweiten diejenige der Schwefelatome gleich gewählt. Aus der ersten Darstellung ergibt sich, daß das Buntkupfererz sich genau zur Hälfte aus Kupferkiesmolekülen, zur andern aus Kupferglanzmolekülen aufbaut. Auch läßt sich erkennen, daß bei der Cu-Anreicherung für je ein Fe-Atom drei Cu-Atome ins Molekül eintreten bzw. daß für je ein 3-wertiges Fe plus ein 2-wertiges S, die austreten, ein 1-wertiges Cu sich einlagert.

In Kupfererzlagerstätten ist die Veränderung der Kupfererzführung in Reichsulfide vielfach beobachtet. Als klassische Stätte dieser Art von Umwandlung ist insbesondere Butte in Montana bekannt geworden, wo sich Kupferglanz und Buntkupfererz als echte Zementationsprodukte erweisen. Daher werden die beiden letztgenannten Erze gern auch als Zementationserze angesehen, und Reichsulfide und Zementationserze wären nach dieser Auffassung gleichwertige Ausdrücke.

In Beyschlag-Krusch-Vogt ist das erwähnte berühmte Vorkommen wie folgt beschrieben: „Bei den Kupfererzergängen von Butte in Montana, welche als primäre Mineralien überwiegend Schwefelkies und Kupferkies in Quarzgängen mit einem höheren Silbergehalt führen, sind im Ausgehenden bis zu einer Tiefe von etwa 100 m die Kupfererze größtenteils ausgelaugt worden, so daß die Gänge anfangs auf Silbererz gebaut werden konnten. Unterhalb dieser Zone fand man dann überaus reiche Kupfererze, namentlich Kupferglanz und Buntkupfererz, welche die Metallmenge konzentriert enthielten, die aus der oberen Silberzone weggeführt wurden; diese Erscheinung wird von den amerikanischen For-

schern als „sulphidic enrichment“ bezeichnet. Der primäre Charakter der Gänge von Butte folgt zum Teil erst in sehr bedeutender Tiefe unter dem Grundwasserspiegel infolge nachträglicher Veränderung desselben.“

Es ist ein besonderes Verdienst von Krusch, auf die weite allgemein wichtige Verbreitung der Zementation in den Erzlagerstätten hingewiesen zu haben. Die eben gegebene kurze Beschreibung zeigt aufs deutlichste, wie unter dem „Eisernen Hut“, unter der Oxydationszone, Sulfide von Kupfer, die in jener ausgelaugt und weggeführt worden waren, in der Tiefe sich wieder ausschieden, damit sich anreicherten und das Gestein weiter verkitteten und zementierten. All dies erfolgte jedoch über dem Grundwasserspiegel oder bis in Höhe desselben, während unter ihm die ursprünglichen Erze, Schwefelkies und Kupferkies, sich einstellen.

Schon deshalb, weil die Bildung der Reichsulfide auf den Rücken des Kupferschieferflözes in großer Tiefe, heute oft noch viele hundert Meter unter dem Grundwasserspiegel, sich vollzogen hat, kann es sich um Zementation gleich der von Butte und anderen Orten keinesfalls handeln. Es sind zwar enge Konvergenzerscheinungen, aber keine analogen Bildungen.

Die Bildung von Reichsulfiden ist chemisch nicht gerade leicht erklärbar. Man kommt der Lösung näher, wenn man berücksichtigt, daß im Zusammenhang mit Zementationen häufig auch die Entstehung von gediegenen Metallen, vor allem der edlen Metalle Gold und Silber, aber auch der in der elektrischen Spannungsreihe sich anschließenden, nur um wenig unedleren Elemente, insbesondere Kupfer und äußerst selten Eisen, beobachtet wird. Es handelt sich bei den letzteren Veränderungen zweifellos um Reduktionsvorgänge, und man kann daher auch bei der Bildung der Reichsulfide an entsprechende Einflüsse denken.

Reduktionen werden in der Natur hauptsächlich durch organische Substanzen bewirkt. Sie veranlassen in erster Linie die Rückbildung von Metallverbindungen zu gediegenen Metallen. So ist bekannt, daß sich bei erneuter Durcharbeitung von Halden alter Goldbergwerke Goldnuggets oft in größeren Mengen da angesammelt haben, wo auf dem Grunde derselben tierische oder menschliche organische Überbleibsel oder auch Holzstücke unter den Halden begraben worden waren. Offenbar waren die aus den Halden im Verlauf der Jahre gelösten und nach unten gesickerten Goldteilchen, die von der ersten Durcharbeitung übrig geblieben waren, von den organischen Substanzen reduziert, und so die Neubildung großer Nuggets, die den alten Goldwäschern sicher nicht entgangen wären, in verhältnismäßig kurzer Zeit veranlaßt worden.

Es ist nun höchst interessant, daß auch in bezug auf Reduktionen von Metallverbindungen zu gediegenem Metall eine Parallele bei den Rückenbildungen besteht, insofern sowohl metallisches Silber wie auch Kupfer vielfach auf ihnen beobachtet ist. Zweifellos sind in beiden Fällen, bei den Zementationsbildungen und bei der Entwicklung der Rücken, Reduktionserscheinungen für diese Veränderungen ausschlaggebend.

Bei den Zementationserzen wird die organische Substanz von der Erdoberfläche aus geliefert, wohl zumeist von Pflanzenresten, doch dürften auch tierische organische Reste bei den Umsetzungen da und dort eine Rolle spielen.

Im Kupferschiefer ist bituminöse und kohlige Substanz in verhältnismäßig ganz ungewöhnlicher Menge enthalten, bis zu 20%, so daß der Schiefer brennbar wird. Ja, an manchen Orten ist sogar schon richtiges Schieferöl aus dem Gestein ausgetreten. Diese ungewöhnlich reichen Mengen von organischer Substanz ermöglichten ohne weiteres eine Umsetzung der kupferärmeren in kupferreichere Erze und schließlich die Reduk-

tion von Kupfer- und Silbererz zu gediegenem Metall. Nur erfolgte der Vorgang nicht unter dem Einfluß von organische Substanz haltenden Oberflächenwässern, sondern durch die Zechsteinlaugen, die einst in der Tiefe der Erde ihre Wirksamkeit entfalteten.

Im einzelnen dürfte die Umsetzung im wesentlichen nach den folgenden Formeln vor sich gegangen sein, wobei an Stelle von organischer Substanz mit komplizierter Formel deren wirksamer Bestandteil, der Kohlenstoff, für sich allein herausgestellt wurde. Bei Einsetzen beliebiger Formeln für organische Substanzen würde sich das Bild der Formeln nicht wesentlich ändern. Weiter ist zu berücksichtigen, daß in der die Erze umgebenden Lösung keinesfalls Sauerstoff vorhanden sein kann, da eine Beziehung zum atmosphärischen Sauerstoff völlig fehlt, wogegen Kohlensäure, wie überall in der Tiefe, so auch hier auftreten kann.

Der Übergang von Kupferkies in Buntkupfererz erfolgt danach im wesentlichen nach folgender Formel:

$$12 \text{CuFeS}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2 + \text{C} = 4 \text{Cu}_3\text{FeS}_3 + 6 \text{FeS}_2 + 2 \text{FeCO}_3 + \text{CH}_4,$$

derjenige in gleichzeitige Bildung von Buntkupfererz und Kupferglaserz in folgender Formel:

$$10 \text{CuFeS}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{Cu}_3\text{FeS}_3 + 2 \text{Cu}_2\text{S} + 6 \text{FeS}_2 + 2 \text{FeCO}_3 + \text{CH}_4,$$

derjenige von Kupferkies in Kupferglanz nach der Formel:

$$8 \text{CuFeS}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2 + \text{C} = 4 \text{Cu}_2\text{S} + 6 \text{FeS}_2 + 2 \text{FeCO}_3 + \text{CH}_4$$

und endlich derjenige von Buntkupfererz in Kupferglanz in folgender Weise

$$8 \text{Cu}_3\text{FeS}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{CO}_2 + \text{C} = 12 \text{Cu}_2\text{S} + 6 \text{FeS}_2 + 2 \text{FeCO}_3 + \text{CH}_4.$$

Endlich ist die Rückbildung der Kupfersulfide in gediegenes Kupfer zu besprechen. Man kann sie am einfachsten auf der letzten Formel, für die Bildung von Kupferglanz, aufbauen und dadurch die Reduktion des Kupfers vom Kupferkies über Buntkupfererz und Kupferglanz zum gediegenen Kupfer darlegen, da schon oben alle Übergänge bis zum Kupferglanz klargelegt sind. Diese Umbildung kann z. B. in folgender Weise statthaben, ohne damit diese als die einzige Umsetzungsmöglichkeit annehmen zu wollen:

$$4 \text{Cu}_2\text{S} + 2 \text{FeCO}_3 + \text{C} = 8 \text{Cu} + 2 \text{FeS}_2 + 3 \text{CO}_2.$$

So ist eine vom chemischen wie vom geologischen Standpunkt aus einwandfreie und lückenlose Reihe der Kupferanreicherung in den Kupfersulfiden und schließlich der Bildung reinen metallischen Kupfers festgelegt.

In gleicher Weise läßt sich für das Silber, das in ganz ähnlichen Ausbildungsformen wie das Kupfer auftritt, dessen Veränderung zu metallischem Silber nachweisen. Nur liegen die Verhältnisse, soweit nicht Arsen oder Antimon als die Formeln komplizierende Bestandteile hinzukommen, hier viel einfacher, insofern nur die dem Kupferglanz entsprechende Form, der Silberglanz (Ag_2S) bzw. der Silberkupferglanz ($(\text{Ag}, \text{Cu})_2\text{S}$), auftritt, die in entsprechender Weise reduziert werden.

Überblickt man die hier angegebenen Formeln, so fällt einerseits die Neubildung von Eisenkarbonat ins Auge, das sich mit etwa gelöstem kohlen-saurem Kalk oder aber auch durch Pseudomorphosierung desselben in Braunspat bis Eisenspat umzusetzen vermag.

Von erheblichem Interesse ist die Bildung von Methan bei den Umsetzungen. Doch auch diese erscheint als durchaus gerechtfertigt. Hat man doch immer wieder Ausbrüche brennbarer Gase beim Kupferschieferbergbau erlebt, durch die wiederholt Menschen zu Schaden gekommen sind. Auch die Ausbrüche von Methan im Salzgebirge, die in den nord- und mitteldeutschen

Salzbergwerken hin und wieder aufgetreten sind, sind wohl mindestens zum Teil auf derartige Umbildungen zurückzuführen. Die außerordentlich leichte Beweglichkeit des Gases ermöglicht zweifellos die Wanderung in fremde Gesteinsschichten, wie dies vom Petroleum, also einer wesentlich geringer beweglichen Substanz, dem Ölgeologen seit langem bekannt ist.

Schließlich ist noch zu erwähnen, daß sich auch dadurch eine Anreicherung von Kupfer ergeben kann, daß Eisenkies durch Umsetzung mit kupferhaltiger Lösung in eines der Kupfererze umgewandelt wird. Dies ist besonders bei den primären aus Eisenkies gebildeten Erzkieen der Dachberge erkennbar, die in der Nähe der Rücken z. T. sekundär in Kupfererz umgewandelt worden sind.

2. Epihalinsische Zone.

Die epihalinsische Zone beginnt im Bereich des mitteldeutschen Kupferschiefers über dem Salzspiegel der Zechsteinsalze. Hier setzt das sogenannte Aschengebirge ein, das sich aus den unlöslichen bzw. weniger löslichen Resten des Salzgebirges des Zechsteins aufbaut. In dieser Zone finden sich auch die Hohlräume und Schlotten, die unterirdischen Wasseranhäufungen, Seen und Wasserläufe, die den Bergbau in dieser Zone so sehr erschweren können.

Viele dieser Vorkommen sind zweifellos erst durch den Bergbau entstanden, andere durch ihn vergrößert worden, indem die Wässer, die ursprünglich unter dem Grundwasserspiegel in Ruhe verharrten oder nur ganz langsam sich bewegten, durch den Abbau in großer Tiefe sich einen Weg in die vom Menschen gegrabenen unterirdischen Hohlräume suchten und so zum Abfließen gelangten.

Überall hier findet man im Gegensatz zur heute trockenen hypohalinschen Zone feuchtes Gebirge, das oft wie ein Schwamm von Wasser durchtränkt ist. Hier hat bis auf den heutigen Tag die Auslaugung und Veränderung der Gesteine gewirkt, wie schon aus dem Fehlen von Salz, Gips und Anhydrit hervorgeht.

Diese Gesteine sind heute durch chemische Auflösung völlig verschwunden in einem Ausmaß, das mehrere hundert Meter Gebirgsmächtigkeit erreichen kann. Es ist nicht möglich, diese gewaltige Auslaugung durch Absatz des weggeführten Materials in der Nähe an anderer Stelle zu erklären. Denn nirgends findet man Absätze dieser Art in größerer Ausdehnung. Es ist daher nur der eine Schluß möglich, daß die gelösten Produkte aus der Tiefe bis an die Erdoberfläche gehoben und in Quellen und Grundwasser allmählich im Laufe der Zeiten weggeführt worden sind.

Überall da aber, wo das Aschengebirge bis auf den Unteren Zechstein hinabreicht, und keines der leichtlöslichen, aber gleichzeitig auch abdichtenden Gesteine mehr sich zwischenschiebt, wurde auch der Kupferschiefer von den von obenher kommenden Wässern durchtränkt, und es konnten daher ebendieselben Veränderungen hier wie bei der Auslaugung des Salzgebirges Platz greifen: es konnten auch die Kupfererze von den Wässern ergriffen und zur Lösung bzw. weiteren Umwandlung gebracht werden.

In der epihalinschen Zone sind die festen Bestandteile, Ton, Karbonate, Bitumen und Erze, und die Lösungsgenossen dieselben geblieben wie in der hypohalinschen Zone — nämlich von den letzteren neben den leichtlöslichen Salzen die Kohlensäure als wirksames Gas, während der atmosphärische Sauerstoff auch hier fehlt —. Deshalb finden in ihr genau die gleichen Umsetzungen statt, wie wir sie in der hypohalinschen Zone kennen gelernt haben. Ebenso wie dort, so treten auch hier chemische Umsetzungen, Kornvergrößerungen und Reichsulfidbildungen auf.

Der prinzipielle Gegensatz besteht aber darin, daß hier Vertikaltransport der gelösten Teilchen möglich ist und im Laufe der Zeiten in größtem Maßstab gewirkt hat, während in der hypohalinischen Zone derselbe nur auf ein paar Dezimeter beschränkt blieb. Damit in Zusammenhang ist aber als wichtigste Veränderung zu nennen: die allmähliche Wegfuhr von Erz, die in der hypohalinischen Zone ausgeschlossen war.

Zwar fand man gerade in der epihalinischen Zone da und dort besonders reichhaltige Erzanhäufungen, und zwar oft im Zusammenhang mit Rücken. Das darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß diese Anhäufungen nur im Sinne der Kornvergrößerungen zu deuten sind, die beim Durchfließen von mit Erzlösung geschwängerten Wässern sich entwickelten. Diesen Erzanhäufungen stehen aber in nach oben steigendem Maße Verarmungen des Flözes gegenüber, da dauernd dem Kupferschiefer Erz durch Wegführung nach oben entzogen wird.

Will man also Kupferschiefer mit möglichst gleichmäßiger Verteilung des Erzgehaltes aufsuchen, so muß man die Partien in der hypohalinischen Zone wählen, während in den höher gelegenen Tiefenzonen der Erzgehalt immer größeren Schwankungen unterworfen ist. Mit dieser Auffassung stimmen alle Beobachtungen, über die früher berichtet wurde, völlig überein.

Aber noch ein anderer praktischer Grund dürfte ausschlaggebend dafür sein, daß man möglichst ausschließlich die hypohalinische Zone aufsucht, insofern hier, gleichwie in den Kalibergwerken, dann die Unannehmlichkeiten der Wasserzuflüsse wegfallen. In dieser Tiefenzone ist das Gebirge trocken und es erübrigen sich somit die z. B. bei der Mansfeldschen Gewerkschaft sehr erheblichen Wasserhaltungskosten, ganz abgesehen von den Kosten, die durch Versalzen des Wassers der Flüsse und damit weiter von Trink- und Nutzwasser und durch die Bildung von Erdfällen und damit im Zusammenhang von Bergschäden infolge der durch die Wasserhaltung veranlaßten Wasserzirkulation in der Tiefe des Gebirges verursacht werden können.

Je stärker das Gebirge im Bereich der epihalinischen Zone zerklüftet und gespalten ist, je steiler es aufsteigt, desto leichter ist die Verbindung der in der Tiefe ruhenden Schichten und der sie umgebenden Feuchtigkeit mit der Außenwelt, desto leichter ist die Umlagerung und Auslaugung des Erzes. Deshalb findet man in den oberen Teilen der steileren Schenkel von Mulden bzw. Antiklinalen eine stärkere Umsetzung und geringeren Gehalt an Erz als da, wo das Gebirge nur gering geneigt ist. So fanden sich z. B. in den oberen Teufen am steil aufsteigenden Hornburger Sattel und auf der Südseite des Kyffhäusers nirgends die Mengen an Erz wie in den flachliegenden Teilen der Mansfelder und Eisleber Reviere, eine Tatsache, die als solche und in ihrer äußeren Beziehung zur Schichtneigung schon Freiesleben wohlbekannt war, wenn ihm auch die innere Ursache ungeklärt blieb.

3. Zementations-, Oxydations- und Detritationszone.

Über dem Grundwasserspiegel lagern sich im Anschluß an die epihalinische Zone eine Reihe von Zonen, die gewöhnlich unter dem Sammelbegriff der Verwitterungszone zusammengefaßt werden.

Krusch hat das besondere Verdienst, die Verwitterungserscheinungen im allgemeinen weiter gegliedert zu haben. Wie schon oben ausgeführt worden ist, schließt sich direkt an den Grundwasserspiegel die Zementationszone an, in der die Erze z. T. wieder ausgefällt werden, die aus der Oxydationszone und der Verwitterungszone im engeren Sinne, die ich als Detritationszone bezeichne, ausgelaugt und mit dem Sickerwasser in die Tiefe gewandert sind.

Wie das oben angeführte klassische Beispiel von Butte in Montana zeigt, haben sich in der Zementationszone insbesondere die Reichsulfide des Kupfers angesiedelt.

Vergeblich sucht man nach einer entsprechenden Bildung im Bereich des mitteldeutschen Kupferschiefers. Nirgends ist etwas von besonderen Anhäufungen von Kupfererzen bekannt geworden, vielmehr scheint eine eigentliche Zementationszone im Bereich des mitteldeutschen Kupferschiefers nirgends ausgeprägt zu sein.

Ein besonderer Grund für dieses Verhalten ist nicht erkennbar. Man mag im Zusammenhang hiermit darauf hinweisen, daß im allgemeinen die Zone der Diagenese schon wenige Meter unter der Erdoberfläche einsetzt, entsprechend der Hochlage des Grundwasserspiegels. Wo dieser tief liegt, ist die Tieflage meist eine Folge jüngster künstlicher Eingriffe durch den Bergbau. Eine gewaltige Zementationszone könnte sich daher schon deshalb kaum gebildet haben, weil die Mächtigkeit der Verwitterungszone (im weiteren Sinne) hier nirgends ein größeres Ausmaß erreicht.

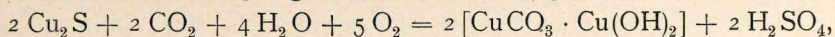
Auch ist es recht wohl möglich, daß die mehr oder minder salzhaltigen Wässer, die über dem Salzspiegel zirkulieren, die Bildung einer ausgeprägten Zementationszone nicht zugelassen haben. Möglicherweise haben sie die dauernde Ausscheidung von Silber- und Kupfererzen verhindert, insofern die salzhaltigen Wässer ihre Lösung begünstigten.

Es geht daher die Zone der Diagenese ohne zwischenliegende Zementationszone in die Oxydationszone über, in der der Sauerstoff wirksam wird. Eisenkarbonat geht hier ebenso wie Mangankarbonat in Brauneisen bzw. Braunstein und ähnliche Manganoxyde über. Der Kupfergehalt wird durch Bildung von basischem Kupferkarbonat, von Malachit $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$ und Kupferlasur $[2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$, oder von Kupfergrün, wasserhaltigem Kupfersilikat $(\text{CuSiO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O})$, erkennbar. Das Silber aber tritt immer mehr zurück und verschwindet schließlich vollständig. Soweit der Kupfersulfidgehalt oxydiert und in Kupfersulfat umgewandelt worden ist, fällt er der Auslaugung anheim infolge seiner großen Löslichkeit. Auch das Silber mag in der Form des Sulfats der Auflösung verfallen.

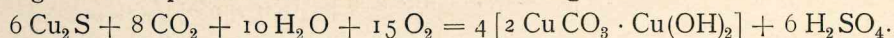
Insbesondere die grüne Farbe des Malachits oder des erdigen Kupfergrüns bezeichnet am Ausgehenden oft den Ort des Vorkommens von Kupfererz in der Tiefe. Interessant ist die Beobachtung von Schrader¹⁾, der bei Untersuchung von Erzproben aus den alten Halden von Bottendorf zwar Kupfer in reichlichen Mengen nachweisen konnte, jedoch keine Spur von Silber mehr, obwohl das Bottendorfer Erz von jeher als silberreich bekannt war: ein Beweis dafür, daß im Verlauf des vergangenen Jahrhunderts, während dessen die Halden der Verwitterung ausgesetzt waren, der Silbergehalt dem dort liegenden Erz völlig entzogen worden ist.

In der Detritationszone endlich verschwindet, soweit er nicht schon in größerer Tiefe entzogen wurde, jeglicher Erzgehalt, und nur noch gewisse Kupferpflanzen deuten dann oft auf die Kupferführung des Gesteins hin.

Die Bildung von Malachit aus den Kupferverbindungen und speziell aus deren letzter, dem Kupferglanz, dürfte nach folgender Formel vor sich gehen:



diejenige der Kupferlasur nach dieser Gleichung:



1) Entnommen einem an die Aktiengesellschaft Lauchhammer erstatteten Gutachten, in das diese mir freundlichst Einsicht gewährt hat.

Daraus ergibt sich, daß einerseits Sauerstoff zu den Umsetzungen notwendig ist und daß weiterhin freie Schwefelsäure entsteht, soweit sie nicht sofort an Karbonate, etwa an kohlen sauren Kalk, unter Austreibung der Kohlensäure und Bildung von Sulfaten, oder in anderer Weise, z. B. durch Bildung von Alaun, gebunden wird.

Daß die Zementationszone keinerlei besonderen Einfluß auf den Abbau des mitteldeutschen Kupferschiefers hatte, kann man schon daraus entnehmen, daß schon in den vergangenen Jahrhunderten der Bergmann sich nicht damit begnügte, die über dem Grundwasser liegenden Flözpartien abzubauen, sondern daß er auch damals, als ihm noch keine Dampfkraft zur Verfügung stand, unter den Grundwasserspiegel hinunterging und das sich sammelnde Wasser durch mühseligen Handbetrieb hob oder aber durch „Roßkünste“, d. h. durch von Pferden betriebene Anlagen, entfernte. Oder er legte zur Bewältigung der Wassermassen tiefliegende Stollen an, die die auftretenden Wässer durch eigenes Gefälle zutage leiten sollten. Der berühmteste dieser Stollen ist der im Jahre 1809 begonnene Schlüsselstolln, der eine Gesamtlänge von über 31 Kilometern besitzt. Entsprechend der weiteren Vertiefung der Anlagen nimmt er nicht nur die bis zu seiner Höhe austretenden, sondern auch alle Hubwasser aus den Tiefbauen auf und führt sie bis zur Saale, in die er bei Friedeburg mündet. Aus alledem ergibt sich, daß schon lange tiefere, unter dem Grundwasserspiegel liegende Flözteile abgebaut worden sind. Es kann sich also bei dem alten Abbau keinesfalls um Zementationserze gehandelt haben. Auch ist umgekehrt darauf hinzuweisen, daß nur deshalb der Betrieb der Gruben oft nahe unter dem Grundwasserspiegel eingestellt wurde, weil die Menge der austretenden Grundwässer bei Tiefergehen nicht mehr bewältigt werden konnte bzw. zu hohe Kosten verursachte. Gerade wegen der hohen Kosten der Wasserhaltung in größerer Tiefe sind nach Abbau der oberen Teufen die alten Bergwerke zumeist aufgelassen worden, wenn auch vielfach der wahre Grund verheimlicht wurde, wie insbesondere Voigt betont.

Schließlich könnte der Gedanke geäußert werden, daß in früheren geologischen Zeiten der Grundwasserspiegel in größerer Tiefe sich befunden habe, so daß etwa dadurch das Vorhandensein von „Zementationserzen“ erklärt würde. Keine Beobachtung spricht jedoch für diese Annahme, vielmehr beweist schon allein das Fehlen von oxydischem Eisen- und Manganerz und das alleinige Vorkommen sulfidischer oder karbonatischer Eisenerze einwandfrei das Fehlen einer früheren Senkung des Grundwasserspiegels und damit den dauernden Mangel von Sauerstoff. Auch wäre geologisch nicht zu verstehen, wie durch und unter Salz- und Gipsschichten und eventuell unter Buntsandstein und weiteren stratigraphisch höheren Schichten eine einstige Oxydation und Zementation des Kupferschiefers hätte stattfinden sollen, die dann in die Bildungszeit der Rücken oder in die nachfolgenden Perioden, also in die Kreide- oder die Tertiärzeit, hätte fallen müssen.

II. Die Sedimentation des Kupferschiefers in Mitteldeutschland.

Die bisherige Untersuchung des Kupferschiefers erstreckte sich im wesentlichen auf eine Untersuchung der verschiedenen Vorkommen. Eine eingehende Vergleichung der Vorkommen untereinander ist bisher so gut wie nicht versucht worden, und über die weiten Gebiete, in denen der Kupferschiefer in der Tiefe lagert, ist bisher überhaupt nichts mitgeteilt worden. Gerade die regionale Behandlung des Problems verspricht aber erst, wertvolle Aufschlüsse über die Ausbildung und insbesondere über den Erzgehalt des mitteldeutschen

Kupferschiefers im allgemeinen und insbesondere auch da zu liefern, wo der Kupferschiefer, von höheren Schichten überdeckt, in der Tiefe verborgen ist.

Stellt man aber die Frage nach der Verbreitung des Erzgehaltes, so tut sich ein gewaltiger neuer Fragenkomplex auf insbesondere in bezug auf die erste Entstehung des Kupferschiefers. Nachdem wir im vorstehenden erfahren haben, daß in größerer Tiefe der Kupferschiefer, abgesehen von Verschiebungen durch den Einfluß der Rücken, seinen ursprünglichen Erzgehalt noch enthält, braucht man nur festzustellen, wie sich einst bei der Bildung des Kupferschiefer-sedimentes der Erzgehalt regional verteilte, um zu wissen, wie heute noch diese Verteilung ist. Die Frage nach der Verbreitung des Erzgehaltes des Kupferschiefers, die anfangs rein nach den Prinzipien der Lagerstättenlehre lösbar schien, wird somit zu einer Frage der chemischen und physikalischen und der allgemeinen Geologie: es handelt sich um die Verteilung von Land und Meer, von Gebirge und Flachland vor der Zeit und während der Zeit des Kupferschiefers, um die Herkunft der Metallösungen und um die Art und Reihenfolge und vor allem um den Ort des Absatzes, der Ausscheidung der Bestandteile des Sedimentes und insbesondere der Erze im Kupferschiefermeer. Kurz: es handelt sich um die ganze Entstehungsgeschichte des Kupferschiefers und der Gesamtverhältnisse jener Zeiten, um einen Abriß der Paläogeographie jener geologischen Epoche als umfassendster Wissenschaft der historischen Geologie.

A. Die die Bildung des Kupferschiefers vorbereitenden geologischen Ereignisse.

1. Das Varistische Gebirge.

Die jungpaläozoischen Sedimente Karbon und Perm in Mitteleuropa lassen sich nach den Untersuchungen der letzten Jahrzehnte in zwei voneinander völlig getrennte Gruppen gliedern, insofern bei den älteren Ablagerungen des Kulms beziehungsweise des Kohlenkalkes das Meer das Gebiet überdeckte, während bei den von der Oberkarbonzeit ab gebildeten Sedimenten fast ausschließlich Landbildungen vorkommen bis zum Beginn der Zechsteinzeit, in der das Meer erneut über gewisse Gebiete Mitteleuropas transgrediert.

Der Grund für die Verschiedenartigkeit der Sedimente vor und nach der Mitte der Karbonzeit ist in gewaltigen gebirgsbildenden Vorgängen zu suchen, die gegen Ende der Unterkarbonzeit einsetzten und bis in die Rotliegendzeit andauerten. Diese Vorgänge äußerten sich in einer völligen Änderung des Landschaftsbildes von Mitteleuropa. Hier entwickelte sich die intrakarbonische Faltung, die in den nordöstlich des französischen Zentralplateaus gelegenen Gebieten zur Emporfaltung des Varistischen Gebirges führte, das sich in zahlreichen Faltenzügen in im wesentlichen nordöstlichem Verlauf quer durch ganz Deutschland hinzog, weshalb man es auch als Deutsche Alpen bezeichnet hat. Die Spuren dieser intrakarbonischen Faltung sind überall in den Kernen der deutschen, die alten Sedimente umfassenden Mittelgebirge: des Harzes und Thüringer Waldes, des Frankenwaldes, des Rheinischen Schiefergebirges, des Schwarzwaldes zu finden, wo die „varistisch“ gerichtete Streichrichtung dieser alten Sedimente uns an diese einstigen gewaltigen Umwälzungen erinnert, deren letzte Zeugen sie bilden. In dieser Zeit gewaltiger Gebirgsbildung wurde daher auch Mitteldeutschland in eine Reihe von hochragenden Gebirgszügen zerlegt, zwischen denen tiefe Mulden sich hinzogen.

Mit dem Beginn der Gebirgserhebung über den Meeresspiegel setzte aber auch das Spiel der Zerstörung der höher liegenden Gebirgsteile ein, indem die Verwitterung und die Abtragung die sich entwickelnden Aufsattelungen allmählich wieder ausuebnen suchten. So wurden von Anfang an die

sich erhebenden Gebirgsteile an Masse vermindert, und die entstehenden Schuttmassen ergossen sich über die Muldengebiete, die zwischen den Gebirgszügen sich dehnten. So sind in Mitteldeutschland im Bereich der alten Mulden karbonische und weiterhin Rotliegendensedimente abgelagert worden.

2. Oberkarbon und Rotliegendes in Mitteldeutschland.

Von wesentlicher, heute insbesondere auch praktischer, Bedeutung ist die Entwicklung eines gewaltigen Muldenzuges während der Bildungszeit der produktiven Steinkohlenformation in Mitteldeutschland. Diese Mulde zieht sich in einer parallel der Streichrichtung des alten Gebirges verlaufenden Erstreckung von Südwesten nach Nordosten und ist zwischen den östlichen Ausläufern des Harzes und der Gegend von Könnern, Halle und Bitterfeld erschlossen. Insbesondere bei Löbejün-Plötz wurden bzw. werden Kohlenflöze des produktiven Karbons, seit dem Kriegsende in lebhaftem Betrieb, abgebaut.

Es ist überaus wahrscheinlich, daß diese hier erschlossene Mulde nur einen kleinen östlichen Teil einer gewaltigen Einsenkung darstellt, die vom Saargebiet in nordöstlicher Richtung, unter den jüngeren Sedimenten verborgen hinlaufend, bis in die Gegend von Halle und weiter nach Nordosten reicht. Schon Wüst hat auf deren weite Erstreckung sowohl nach Nordosten wie besonders nach Südwesten hingewiesen, und Lepsius und Meyer-Harrassowitz haben die großen Zusammenhänge mit dem Saarbecken erläutert.

In dem allein der direkten Beobachtung zugänglichen Gebiet, der Halle-schen Mulde, haben sich gewaltige Massen des zu beiden Seiten aufgetürmten und der Abtragung ausgesetzten Gebirges als verfrachtete Schuttmassen abgesetzt. Allein die unterste Lage des in Mitteldeutschland erschlossenen Oberkarbons, die Grillenberger oder Unteren Ottweiler Schichten, erreichen bis über 200 m Mächtigkeit. Die Mansfelder oder Mittleren Ottweiler Schichten haben im Maximum etwa 900 m Mächtigkeit. Die Wettiner oder Oberen Ottweiler Schichten endlich werden bis zu 450 m mächtig. Alle diese Schichten verschwächen sich oder verschwinden in nordwestlicher Richtung gegen die alte Auffaltung zu. Nach Südosten zu fehlen Aufschlüsse, doch muß auch hier das Wiederauskeilen des Karbons angenommen werden, weil im Bereich des Thüringer Waldes wie in Sachsen das Karbon verschwindet.

Nur bei Zwickau und Chemnitz tritt noch eine produktives Karbon führende Mulde von geringerer Ausdehnung in die Erscheinung.

In die jüngste Zeit des Karbons fällt die Bildung der Steinkohlenflöze in diesen Gebieten.

Mit Beginn der Rotliegendzeit war, trotzdem während der letzteren noch tektonische Bewegungen, wenn auch in stark vermindertem Maße, andauerten, das Gebirge in seiner gewaltigen Erhebung gegenüber der Karbonzeit nicht unwesentlich vermindert. Denn die Rotliegendensedimente, vielfach aus grobem Gebirgsschutt bestehend, lagerten sich über viel weitere Gebiete als das Karbon, da viel größere Flächen als vorher schon mehr oder weniger verebnet waren. So erkennt man ein Transgredieren der Rotliegendensedimente nicht nur über die jungkarbonischen Ablagerungen, sondern auch über neue weite Teile des alten gefalteten Grundgebirges.

Zu den Sedimenten des Rotliegenden gesellen sich zahlreiche vulkanische Ergüsse. Vor allem haben in der Umgebung von Halle und Leipzig gewaltige Lavaergüsse stattgefunden, aber auch am Harz (Ilfeld) und am Thüringer Wald, wo der mittlere und nördliche Teil weithin mit eruptiven Zwischenlagerungen zwischen die Rotliegendensedimente bedeckt ist. Quarzporphyre, Syenitporphyre, Porphyrite, Melaphyre und Diabase nehmen am Aufbau der vulkanischen Rotliegendesteine teil.

Nach Südosten zu, im Bereich des Festlandes der Kupferschieferzeit, findet man Rotliegendes in weiter Erstreckung zwischen Plauen und Chemnitz sowie bei Dresden, rotliegende Porphyre südöstlich von Leipzig, von Altenburg über Rochlitz bis Döbeln, Oschatz, Grimma und Wurzen und wieder bei Meißen, Dresden, Tharandt, und im Erzgebirge bei Altenburg und Zinnwald.

Über diesen Gesteinen liegt das Oberrotliegende in diskordanter Lagerung auf. Das läßt darauf schließen, daß vor Beginn der Oberrotliegendzeit das Gebiet weithin abgetragen wurde, und daß mit Beginn der Oberrotliegendzeit eine neue Anregung zur Ablagerung von Sedimenten auf noch viel breiterer Basis als vorher einsetzte. Damit aber war die letzte tektonische Phase erreicht, und es wurden vollends alle Unebenheiten des Geländes immer mehr ausgeglichen. Die viel weitere Verbreitung der Oberrotliegendgesteine als diejenige der Mittelrotliegendgesteine beweist die weitgehende Ausebnung, die die Gebiete Mitteldeutschlands zur Mittelrotliegendzeit schon erfahren hatten.

Wüst berechnet, daß durch die interrotliegenden Krustenbewegungen Gesteinskörper in gleiches Niveau gebracht wurden, zwischen denen vorher ca. 2000 m Schichthöhendifferenzen bestanden hatten. Es sind also ganz gewaltige Verschiebungen und anschließend ungefähr ebenso erhebliche Abtragungen in dieser Zeit erfolgt. Denn das östliche Harzvorland scheint bei Beginn der Ablagerungen des Oberrotliegenden nach Wüst nur noch Höhendifferenzen von 200 m aufgewiesen zu haben.

3. Die Ausebnung Mitteldeutschlands am Ende der Rotliegendzeit.

Während der Oberrotliegendzeit hat nach Abebben der tektonischen Verschiebungen, wie dessen Sedimente und die Lagerungsverhältnisse beweisen, eine weitere Einebnung und damit die Ausfüllung der vorhandenen Tröge und Mulden bis weit gegen Süden und Osten stattgefunden, so daß zu Beginn der Kupferschieferzeit Mitteldeutschland ein Gebiet bildete, das höchstens von flachen Hügelwellen durchzogen und im wesentlichen vollständig eingeebnet war. Wüst, dem ausgezeichneten Kenner des östlichen Harzvorlandes, scheint dasselbe „zu Beginn der Zechsteinzeit bereits im wesentlichen vollkommen eingeebnet gewesen zu sein“.

Auch Strigel sagt über die permische Ausebnungsfläche: „Die Grundgebirgsoberfläche war nur unmittelbar nach der karbonischen Faltung Erdoberfläche. Später bildete die Oberfläche der Schuttdecke in den Niederungen und der vulkanischen Aufschüttungen zusammen mit den noch schuttfreien Erhebungen die Erdoberfläche, und je weiter sich die Schutt- und Lavendecken über das Grundgebirge ausbreiteten, um so mehr wurde der Anteil des Grundgebirges an der Oberfläche eingeschränkt. Die Erdoberfläche verflachte sich dabei mehr und mehr zu einer „Fastebene“ der teils durch Abtragung, teils durch Auffüllung entstandenen permischen Einebnungsfläche. Diese war flacher als die hier [von Strigel] geschilderte Abtragungsfläche, da die Unebenheiten der letzteren zum großen Teil durch Aufschüttung verebnet waren.“

Daß da und dort letzte Reste der einstigen deutschen Alpen eine Erhebung des sonst ausgeflachten Gebietes verursachten, daß dann und wann niedere Zeugenberge aus der flachen Ebene etwas sich erhoben, ist überaus wahrscheinlich. Ebenso sicher ist aber auch, daß die karbonischen Alpen in Mitteldeutschland am Ende der Rotliegendzeit als solche nicht mehr existierten, vielmehr als Gebirgserhebung durch Abtragung völlig verschwunden waren.

Nur der Harz wurde als ragende letzte Säule, als unveränderte Gebirgserhebung angesehen, die auch am Ende der Rotliegendzeit noch vorhanden gewesen sei. Aber auch diese Auffassung ist unhaltbar. Auch über den „Harz“

ist zur Kupferschieferzeit die Sedimentation hinweggegangen, wie der Mangel einer Faziesänderung oder einer wesentlichen Flözveränderung, abgesehen von Erstreckungen auf wenige Kilometer Entfernung, beweist. Der „Harz“ war als ragende Gebirgserhebung in seiner heutigen Gestalt weder zur Zechsteinzeit, noch zur Triaszeit, noch auch zu gewissen Zeiten der Kreideperiode vorhanden, wie von vielen Seiten bestätigt worden ist.

Die einzige Stelle, an der im Bereich des Harzes das Kupferschieferflöz auf einige Kilometer Entfernung aussetzt, während die nach oben anschließenden Schichten lückenlos vorhanden sind, und die sich im Bereich des Blattes Lauterberg befindet, kann für einen zur Zechsteinzeit sich erhebenden Harz, wie schon oben betont, nicht in Anspruch genommen werden. Vielmehr nehme ich mit Weigelt an, daß zur Zechsteinzeit nur „wahrscheinlich variskisch streichende Untiefen des Meeres“, aber kein Festland im Bereich des heutigen Harzes vorhanden gewesen ist.

Weiter ist versucht worden, aus dem Vorkommen von Bryozoenriffen im Bereich des Zechsteins auf das Vorhandensein von Inselketten im mitteldeutschen Kupferschiefermeer zu schließen. Die einzige Grundlage dafür ist die Annahme, daß die alten Bryozoenriffe wie die heutigen Korallenriffe nur in seichtem Wasser sich zu entwickeln vermögen, da die Tiere in größerer Tiefe nicht wachsen können und daher absterben.

Aus der geringen Wassertiefe, die diese Tiere und damit die Bryozoenriffbildungen beanspruchen, wurde auf Landnähe, und zwar auf allernächste Landnähe, geschlossen. Daß aber dieser Schluß äußerst gewagt ist und abgelehnt werden muß, zeigt allein schon eine nähere Betrachtung der Verhältnisse, die an dem bekannten Großen Barrier Riff herrschen, das auf der Nordostseite Australiens das Festland begleitet. Hier verläuft das Riff in einer Entfernung vom Lande, die im Maximum 300 km erreicht. Daraus ergibt sich, daß eine Beziehung zwischen Riffen und allergrößter Landnähe keinesfalls vorhanden sein muß. Das Kupferschiefermeer hatte in seiner Nordsüderstreckung durchschnittlich kaum 500 km Breite. Es können sich demnach bei entsprechender Flachheit des Meeres darin überall Riffe entwickelt haben. Mit Landnähe aber brauchen sie nicht in Beziehung gebracht zu werden.

Schließlich aber ist es m. E. unmöglich, aus einem Flachmeer und Riffbildungen auf Inseln zu schließen und weiter auf Inselketten. Ein Beweis für das Vorhandensein von Inseln kann, wie das Große Barrier Riff als Beispiel zeigt, bei der Geringfügigkeit der Ausdehnung des Kupferschiefermeeres, das bis zu seiner Mitte noch keine 300 km Entfernung aufweist, aus dem Vorhandensein von Riffen allein nicht erbracht werden.

4. Klima und Abtragung zur Rotliegendzeit.

Für die Erklärung der Sedimentationsverhältnisse zur Kupferschieferzeit ist aber noch notwendig, die klimatischen Verhältnisse und im Zusammenhang damit die Art der Abtragung während der Rotliegendzeit zu besprechen.

Schon aus dem Wort „Rotliegendes“ geht hervor, daß die Sedimente des Rotliegenden rote, bunte Farben aufzuweisen pflegen. In der Tat sind schon die Sedimente des Karbons und weiter diejenigen des Unteren Perms größtenteils rot gefärbt. Schon allein aus der Farbe des Gesteins kann man schließen, daß es sich um Gesteinsbildung in verhältnismäßig trockenem Klima handelte. In stark feuchtem Klima können rotgefärbte, lateritische Sedimente nicht entstehen. Da die genannten Schichten durchweg Landbildungen sind, so muß also die Verfrachtung der Sedimente entweder durch die seltenen Regengüsse, die in trockenen Gebieten auftreten, oder durch den in Trockengebieten herrschenden Wind vor sich gegangen sein.

Alle grobklastischen Ablagerungen sind zweifellos durch Wasser bewegt und transportiert und wieder abgesetzt worden. Denn auch stärkster Wind ist nicht imstande, große Kiesel auf größere Erstreckung fortzutragen. Trotzdem also die rote Farbe der Gesteine auf Trockenheit hindeutet, so zeigen doch die grobklastischen Sedimente aufs deutlichste an, daß Wasserwirkung sicher nicht gefehlt hat. Aber wir müssen berücksichtigen, daß die Regengüsse, die jenen Gesteintransport verursacht haben, nur dann und wann niedergingen, oft in gewaltigen Mengen Wasser über eine gewisse Fläche des Landes schütteten, dann aber in der dünnen Wüste oder wohl besser Halbwüste wieder für längere Zeit aussetzten. Die niedergegangenen Wassermassen vermochten wohl lokal zu reißenden Strömen anzuwachsen, die sich ihr Bett selbst gruben und grobes, feines und allerfeinstes Material mit sich schlepten. So konnte ein gewaltiger mechanischer Transport und ebensolche Sedimentation unter diesen Bedingungen erfolgen. Aber die Ströme, die man auch heute aus der Sahara und anderen Wüsten- und Halbwüstengebieten wohl kennt, versiegen so schnell, als sie gekommen sind. Auf dem ausgedörrten Boden, den ein solcher reißender Strom nach Verlassen des Gebiets, in dem der Wolkenbruch niedergegangen war, durchweilt, verdampft das Wasser oder es sickert in die Tiefe des Bodens ein, wird gierig von ihm verschluckt. Schließlich stauen sich, wenn der reißende Strom nicht durch Verdunsten und Versickern im Sande versiegt ist, die zusammenfließenden Wasser an irgendeiner Geländeerhebung und bilden einen See. Aber auch ihm ist nur kurze Lebensdauer beschieden; denn auch er ist nach wenigen Tagen oder Wochen verschwunden, vertrocknet. Nirgends aber erreicht das Wasser das Meer. Das Trockengebiet ist von ihm völlig abgeschnitten.

Besonders wichtig ist die Frage, in welcher Weise etwa die löslichen Substanzen, leicht- und schwerlösliche, sich unter diesen Umständen verhalten, wie der chemische Transport und die chemische Sedimentation verläuft. Es sei hier jedoch nicht auf alle diese Fragen eingegangen, sondern die in dieser Arbeit allein interessierende herausgeschält: die Verlagerung von Erzen, welche an der Oberfläche der in Abtragung begriffenen Gebirge einsetzen mußte.

Die Erze sind ebenso wie heute, so auch damals im wesentlichen nie bis an die Oberfläche getreten, da die obersten Verwitterungsschichten stets mehr oder weniger ausgelaugt waren. Daher waren die mechanisch transportierten von oben her abgetragenen Verwitterungsschichten stets arm an Erzen, und dem alten Gebirge blieb in der Tiefe sein Erzgehalt erhalten. Soweit daher die Erze auf den damaligen Festlandsgebieten in den Bereich der Oxydation und Verwitterung traten und soweit sie löslich waren, sind sie durch die von den Regengüssen in die Tiefe sickernde Feuchtigkeit gelöst und weiter nach unten geführt worden, bis sie in größerer Tiefe entlang dem Grundwasserspiegel sich sammelten. Es entstanden so damals Zementationserze, wie wir sie aus jüngeren Zeiten von vielen Gebieten heute kennen, und wie sie zum Beispiel von dem oben schon zitierten Butte in Montana beschrieben sind. Die Erze von Silber, Kupfer, Zink, Blei usw. sammelten sich also in der Tiefe immer mehr an, je mehr vom überlagernden Gebirge abgetragen wurde. Da im trockenen Gebiet kein Grundwasser vorhanden ist oder jedenfalls kein solches, das eine Beziehung zum Weltmeer hat, das also ablaufen kann, und da erst recht keine Verbindungen durch oberflächlich fließende Flüsse vorhanden waren, so mußte unbedingt alles Erz, soweit es der chemischen Löslichkeit unterlag, an Ort und Stelle verbleiben und im Verlaufe der Abtragszeiten des varistischen Gebirges immer mehr sich anhäufen. Es war jedoch jeweils geschützt vor der mechanischen Wegführung, da es direkt an der Erdoberfläche überhaupt schon längst verschwunden und in die Tiefe gewandert war. Man muß

ungefähr denselben Fall auch für die damalige Zeit annehmen, der heute vor unsern Augen sich entlang dem Ausgehenden des Kupferschiefers in Mitteldeutschland zeigt. Auch hier findet man direkt an der Oberfläche das Kupferschieferflöz völlig taub oder höchstens bis auf verschwindende Reste von Kupfer ausgelaugt, und erst in einiger Tiefe beginnt im alten Gebirge der Kupfergehalt sich zu erhöhen. Daher sind auch heute die oberflächlich dort mechanisch weggeführten Verwitterungsprodukte so gut wie frei von Kupfererz. Diese Auffassung vertritt auch Walther, der im Hinblick auf den trockenen Charakter des Gebietes sagt: „In dem Augenblick aber, wo das Land durch ein trockeneres Klima abflußlos wurde, wo die Flüsse nicht mehr das „Arta“meer im fernen Osten erreichen konnten, blieben alle durch Verwitterung entstehenden Lösungen im Flußgebiet zurück.“ Die löslichen Erze wurden also nicht im Rotliegenden abgesetzt, sondern immer mehr im alten Gebirge angehäuft. Tatsächlich findet man im Rotliegenden und Karbon keine Erzanhäufungen, wie dies bei stattgehabtem chemischen Transport zu erwarten wäre.

Weithin nach Westen, Norden, Osten und Süden erstreckte sich, von Mitteldeutschland aus betrachtet, das Festland am Ende der Rotliegendzeit bis weit über England und Frankreich im Westen, über Skandinavien nach Norden, bis Mittelrußland im Osten und bis über die Alpen im Süden, bzw. bis zum ehemaligen ursprünglichen Lagerungsort der Gesteine, die heute am Aufbau der Alpen teilnehmen. Erst an letztere Länder anschließend wurde das Weltmeer erreicht. Wie in all den weiter entfernten Gebieten die Landfläche beschaffen war, interessiert uns hier nicht, vielmehr nur die Tatsache, daß in Mitteldeutschland am Ende der älteren Dyaszeit eine weitgehende Verebnung des Geländes bei ziemlich trockenem Klima und dem entsprechenden Verwitterungserscheinungen stattgefunden hatte, und daß aber in all den Teilen des Festlandes, die aus alten Sedimenten sich aufbauten, die löslichen Erze sich angehäuft hatten.

B. Die Kupferschieferzeit und ihre Sedimente.

1. Die Transgression des Kupferschiefermeeres und seine Bewohner.

Mit dem Beginn der Kupferschieferzeit senkte sich die Festebene Mitteldeutschlands, und das Weltmeer begann von den seit der Zeit der Auffaltung der karbonischen Alpen verloren gegangenen, nunmehr unter das Meeresniveau sich senkenden Gebieten aus Osten her vordringend, mehr und mehr weite Flächen wieder zurückzuerobern. In einer außerordentlich langen und, wie die Karte zeigt, ganz Mittel- und Westeuropa von Osten nach Westen quer durchschneidenden Bucht von gewaltigsten Ausmaßen, dem Kupferschiefermeer, überflutete die See das vorher von ihr lange geologische Zeit hindurch von ihr völlig abgetrennte Gebiet. Vergleiche hierzu Abb. 9 auf S. 71.

Lange Zeiten waren seit der intrakarbonischen Faltungsperiode vergangen: nicht nur hatten sich die karbonischen Alpen aufgetürmt, sie waren auch fast bis auf den letzten Rest wieder abgetragen worden. Auf dieses lange Zeit vom Meere abgeschlossene Gebiet fluteten nunmehr die Wässer des Weltmeeres herein und erfüllten die weite Fläche, die in Mitteldeutschland von Kupferschiefer und seinen Äquivalenten überdeckt ist und die schon im ersten Kapitel in ihrer Ausdehnung und ihren Grenzen festgelegt wurde.

Zweifellos erfolgte die Überflutung nicht in stürmischem Lauf, sondern in Form eines langsamen Vordringens. Denn zumeist ist der Untergrund nicht oder kaum aufgewühlt, und höchstens 2 bis 3 m tief findet man da und dort das Zechsteinkonglomerat ausgebildet.

Daß das eindringende Meer in der Tat eine Bucht des Weltmeeres darstellte und nicht etwa ein gewaltiges sich entwickelndes Binnenmer, das be-

weisen die zahlreichen echten Meeresfossilien, auf die ebenfalls oben schon hingewiesen worden ist.

Und doch hatte oder vielmehr bekam das eindringende Kupferschiefermeer bald Eigenschaften, die es vom Weltmeere wesentlich unterscheiden mußten. Ein Blick auf die Kartenskizze, die hier beigegeben ist, genügt, um schon jedem Geographen anzuzeigen, daß diese ungeheure Meeresbucht zweifellos nicht die Gezeitenströme des Weltmeeres, nicht seine allgemeinen Strömungen, nicht seine Wärmeverteilung des Wassers haben konnte. Wie die vom Ozean mehr oder weniger abgeschlossenen Becken der Ostsee oder des Mittelmeeres oder gar des

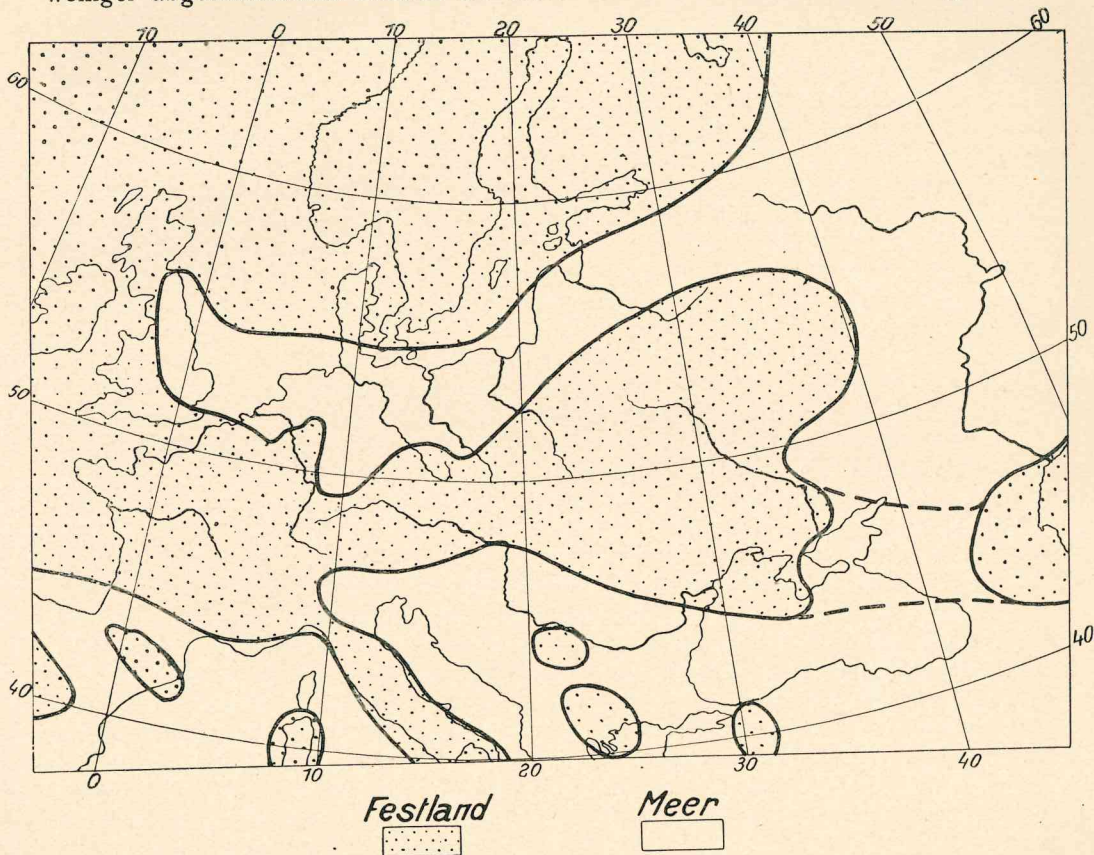


Abb. 9. Verteilung von Land und Meer in Europa zur Kupferschieferzeit.
Nach Koken, Beyschlag-Everding und Kayser.

Die lange schlauchartige Meeresbucht auf der Mitte der Karte stellt das Kupferschiefermeer dar.

Schwarzen Meeres von den Eigenschaften des Weltmeeres mehr oder weniger stark nach Salzgehalt, Gezeiten, Meeresströmungen, Temperatur und schließlich auch nach der Fauna abweichen, so muß es auch im Kupferschiefermeer gewesen sein. Diese gewaltige Meeresbucht stellte einen Übergang zu einem Binnensee dar, insofern die Kommunikation mit dem freien Weltmeer in Osteuropa entsprechend der gewaltigen Entfernung von ihm nur gering sein konnte.

Nach der ersten Welle frischen Meerwasserzuflusses, die die Weltmeeresfauna mit sich weit nach Westen hereinführte, verarmte allmählich diese Fauna unter dem Stagnieren des nicht mehr vom Weltmeer neu befruchteten Wassers. Diese gewaltige Meeresbucht, die nach dem ersten frischen Ansturm des Welt-

meeres immer mehr den Charakter eines nur schwach vom Weltmeer berührten binnenseeähnlichen Gebildes annahm, mußte sich somit mehr und mehr den Einwirkungen ihrer Umgebung anpassen, wie dies allgemein bei Binnenseen und stillen Buchten der Fall ist. Und entsprechend dieser Veränderung der Eigenschaften des halb abgeschnürten Meeresteils mußten empfindliche, nur an freie See angepaßte Arten von Meerestieren verschwinden und nur diejenigen Formen konnten zurückbleiben, die sich auch mit den veränderten Lebensbedingungen zu begnügen vermochten. Es entwickelte sich immer mehr eine Reliktenfauna. Kayser urteilt darüber wie folgt: „Im Zechstein finden wir zwar eine reichere [als im Rotliegenden], unzweifelhaft marine Fauna. Aber auch sie setzt sich nur aus Brachiopoden, Zweischalern, Gastropoden und Bryozoen zusammen, während Cephalopoden und Korallen fast ganz fehlen. Dabei fällt (wie beim Muschelkalk) das massenhafte Auftreten einiger weniger Arten von Muscheln und Brachiopoden auf, die alles übrige mehr oder weniger verdrängen. Man muß annehmen, daß diese Dürftigkeit der Fauna mit einer besonderen Ungunst der Lebensbedingungen zusammenhing, daß die Zechsteinschichten Absätze eines flachen Binnenmeeres darstellen, welches nur eine beschränkte Verbindung mit dem Weltmeere besaß. Denn für die Fauna solcher Meere sind Eintönigkeit und Artenarmut gegenüber dem Artenreichtum des offenen Meeres bezeichnende Merkmale.“ Wer sich speziell mit dem Fossilinhalt und den Existenzbedingungen desselben eingehender beschäftigen will, sei auf Pompeckjs Schrift über das Meer des Kupferschiefers hingewiesen, in der er u. a. die Fauna des Kupferschiefers insbesondere auch in bezug auf ihre Lebensweise dargestellt hat.

In bezug auf das Floristische werden wir ganz auf das umgebende Festland verwiesen. Es sind Landpflanzen, die im Kupferschiefer eingebettet sind, und zwar Baumreste, die zweifellos nur unter größerer Feuchtigkeit zu existieren vermochten. Damit kommen wir auf die klimatischen Verhältnisse zur Kupferschieferzeit.

2. Klimaänderung und mechanische Sedimentation.

Mit dem Eindringen des Meeres nahm die kontinental-trockene Zeit, die vorher mit geringen Unterbrechungen vorgeherrscht hatte, ihr Ende. Aus dem Kontinentalgebiet wurde ein ozeanisches, ein Land, das nunmehr wieder direkten Zugang zum Meere hatte.

Aber im Gefolge der Überflutung weiter Gebiete durch das Meer wurden auch die Feuchtigkeitsverhältnisse in den umgebenden Festlandsgebieten andere. Im Zusammenhang mit den weiten Wasserflächen, die nunmehr an das Land grenzten, konnten von Feuchtigkeit geschwängerte Winde über dasselbe wegstreichen und ihre mitgeführten Wassermassen entladen. Aus dem vorher im wesentlichen trockenen Binnenland wurde ein Feuchtgebiet mit ziemlich reichlichen Niederschlägen, die in Flüssen zum Meere abzufließen vermochten. Dadurch konnte jetzt das Grundwasser in Beziehung zum Weltmeer treten durch ein System von Grundwasserläufen, und der Überfluß an Wasser trat in Form von Bächen und Flüssen in die Erscheinung und wurde zum Weltmeer bzw. zu der gewaltigen in Mitteldeutschland ausgebreiteten Meeresbucht geleitet.

Infolge des Übergangs der Festlandsgebiete, die sich um das Kupferschiefermeer lagerten, in Feuchtgebiete, änderte sich aber auch die Verwitterung und der Transport von Grund aus. Entsprechend der stärkeren Regen Zufuhr hätte an sich, wie man annehmen möchte, eine höhere mechanische Abtragung vom Lande aus erfolgen können. Dem ist jedoch nicht so.

Denn im Gegensatz zu den unterhalb liegenden Schichten, in denen grobes neben feinerem mechanisch verfrachtetem Material zur Ablagerung gekommen ist, zeigt der Kupferschiefer weithin in Mitteldeutschland ausschließlich

feinsten Ton als klastischen Anteil, zu dem erst gegen die einstige Küste zu allmählich der sehr lange schwebende und daher sehr weit verfrachtete Glimmer neben allerfeinstem Sand sich einstellt. Es handelt sich also beim Kupferschiefer um ein Sediment von allerfeinster Beschaffenheit des klastischen Anteils. Aber auch die geringe Mächtigkeit desselben beweist, daß in dieser Zeit nur sehr schwache mechanische Transportwirkungen durch die Wässer, die dem Kupferschiefermeer zuströmten, erzielt worden sind, so daß nur verhältnismäßig geringe Mengen mechanischen Sedimentmaterials sich ablagerten.

Die geringe Transportwirkung der dem mitteldeutschen Kupferschiefermeer zuströmenden Wässer ist nicht etwa eine lokale Erscheinung, sie läßt sich vielmehr über viele hundert Kilometer weit verfolgen. Denn der ganze mitteldeutsche Kupferschiefer und die an ihn anschließenden Gebiete mit Kupferschiefer zeigen eine völlig gleichartige Ausbildung des Sediments in bezug auf seine mechanischen Beimengungen und in bezug auf seine Mächtigkeit: nirgends ein stärkeres Anschwellen desselben, nirgends grobklastische Absätze, vielmehr weithin größte Gleichartigkeit, so daß gerade er im Anfang der Entwicklung geologischer Wissenschaft Veranlassung zur Ausbildung der Stratigraphie, der Schichtenlehre, werden konnte.

3. Das Vindelizische Land zur Kupferschieferzeit.

Diese geringe Zufuhr mechanischer Sedimente ins Kupferschiefermeer, die selbst an seiner Küste kaum zunimmt, setzt ein außerordentlich flach sich hinziehendes Festland in seiner Umgebung voraus. Zweifellos ist daher das Küstenland, das das Kupferschiefermeer in Mitteldeutschland im Südosten umsäumte, ein Tiefland gewesen, wie das auch im letzten Kapitel des näheren festgelegt worden ist. Anders wäre die geringe Sedimentzufuhr nicht zu verstehen. Dieses flache Festland stieg nur ganz sanft und allmählich nach Südosten zu an. Wie die Karte zeigt, erstreckte es sich von Süddeutschland her über den Bayrischen Wald, den Frankenwald und das Fichtelgebirge, über das Vogtland und das Erzgebirge bis weit über das Donaugebiet Österreichs, über Böhmen und Südwestrußland.

Die Küstenlinie beziehungsweise das an sie sich anschließende Festland im Südosten des deutschen Zechsteinmeeres hat auch während der an sie anschließenden geologischen Perioden als Grenzzone zwischen Festland und Meer durch die ganze Triaszeit hindurch, ja bis zum Beginn der Weißjurazeit gedient, wenn auch die Grenzen der Sedimentation oder die Meeresküsten sich meist weiter nach Südosten vorschoben, als dies beim Kupferschiefer der Fall ist. Bald tauchte daher das Festland in näherer oder weiterer Ferne im Südosten auf. Aber dieses permotriassische bis jurassische Festland blieb jene ganze Zeit hindurch als solches erhalten, bald durch Hebungen und Senkungen auf- oder absteigend oder mehr oder weniger flach oder steil sich erhebend und daher an Sedimenten die verschiedenartigsten Bildungen an seinem Saume liefernd, aber es war stets in gleicher Weise das Land, das die Sedimente nach den nordwestlichen Gebieten und so auch nach Mitteldeutschland abgab, vor allem den klastischen Geröllanteil an Sand- und Tonmaterial, deren Verbreitung immer und immer wieder auf den Südosten als Herkunftsgebiet hinweist. Aber auch die chemischen Absätze müssen wir als im wesentlichen von dort her bezogen auffassen. Dies ist sowohl für den Buntsandstein wie für gewisse Teile des Muschelkalks, für den Keuper und für Lias und Dogger in Süd- und Mitteldeutschland bewiesen.

Das Land, von dem die Sedimente stammen, und an das die Sedimentationsgebiete jener Zeiten anschließen, wird als Vindelizisches Land bezeichnet.

Da die im Südosten des Kupferschiefermeeres sich entlang ziehende Fläche, die sich über den Meeresspiegel erhob und daher frei von Kupferschiefer-sediment blieb, nichts anderes als einen Vorläufer des eben skizzierten Festlandes darstellt, so kann man sie mit Recht mit demselben Namen belegen. Dieses Vindelizische Land hat zur Zechsteinzeit weiter nach Nordwesten gereicht als in der Trias- und älteren Jurazeit, in der es noch wesentlich weiter nach Südosten überflutet bzw. durch Neuabsätze von Gestein überdeckt wurde. Daher reichte das Vindelizische Land zur Zechsteinzeit auch über das von Zechstein-sedimenten im wesentlichen freie Süddeutschland, mit Heilbronn als nördlicher Festlandsgrenze bzw. südlichem Sedimentationspunkt, und weiterhin über fast ganz Bayern, Sachsen und Böhmen hinweg bis zu der Umbiegung des Gebirges gegen Schlesien hin.

4. Die chemische Sedimentation.

a) Der Ursprungsort der Erze.

Während aus dem Vindelizischen Land mechanische Sedimente nur in geringen Spuren verfrachtet wurden, war der Anteil an der chemischen Sedimentation im Kupferschiefermeer um so erheblicher und für die Gesamtausbildung des Kupferschiefers von der allergrößten Bedeutung. Wenn auch die Wässer, die von dem Vindelizischen Land in das Kupferschiefermeer strömten, nur sehr geringe mechanische Transportkraft hatten, so konnte doch chemische Verfrachtung ungehindert stattfinden. Die chemische Verfrachtung mußte sich auf alles erstrecken, was auf dem Vindelizischen Land lösungsfähig war. Und insbesondere mußten auch alle in der Nähe der Erdoberfläche über dem Grundwasserspiegel angehäuften Erzmassen allmählich ausgelaugt werden, soweit solche überhaupt vorhanden waren.

Schaut man sich auf dem dem mitteldeutschen Teil des Kupferschiefermeeres zunächst gelegenen Festlandsgebiet um — man vergleiche die angefügte Übersichtskarte —, so fällt das Auge sofort auf das Erzgebirge, das wegen seines Erzreichtums seinen Namen trägt. Wie es in historischen Zeiten seine wertvollen Metalle geliefert hat, so wird es in denjenigen Teilen, die zur Rotliegend- und Zechsteinzeit an der Erdoberfläche lagen, den von ihm entfließenden Wässern die löslichen Erzmassen mitgeteilt haben. Aber auch das erzreiche Hinterland Böhmen hat zweifelsohne Erzlösungen geliefert. Dazu das Vogtland, das Fichtelgebirge und der Frankenwald bzw. die zur damaligen Zeit oberflächlich anstehenden Gebirgstteile. Wir dürfen somit als Einzugsgebiet der Meeresbucht des Kupferschiefers einen gewaltigen Länderkomplex annehmen, dessen chemisch löslichen Bestandteile die Beschaffenheit des Meerwassers und weiter die chemische Sedimentation beherrschend beeinflussen.

Wie bekannt, häufen sich die wertvollen Erzvorkommen im Erzgebirge ganz besonders, während der Erzreichtum in den anschließenden Gebieten wesentlich geringer ist. Das kommt auf der am Schluß des Heftes angefügten Karte deutlich zum Ausdruck. Vom Erzgebirge also ist daher auch die reichlichste Herkunft von Erzen anzunehmen, trotzdem dieses Bergland nur einen kleinen Teil des vom mitteldeutschen Kupferschiefermeere einbezogenen Länderkomplexes darstellt.

Was die einzelnen Erze anbelangt, so ist Kupfer von Cotta aus dem Erzgebirge besonders von Freiberg, Seiffen, Sayda, Katharinenberg, Weipert und Schneeberg, aus dem Granulitgebirge von Mittweida und Sachsenburg, aus dem Vogtland von Plauen, aus dem Frankenwald von Hof, Naila, Steben, Weitisberga besonders angegehen. Es ist aber zu berücksichtigen, daß fast jeder Gang im Erzgebirge mindestens akzessorisch Kupfer führt. Zudem ent-

halten die basischen Eruptivgesteine des Paläozoikums vielfach Kupfer in mehr oder weniger erheblichen Mengen, wie die Vorkommen im Frankenwald und im Vogtland beweisen. Gerade die alten Melaphyre und Diabase, die Schale und Grünsteine, sind fast stets etwas kupferführend.

Über den Silberreichtum des Erzgebirges braucht kein Wort verloren zu werden, liegt doch in ihm, in Joachimstal, die Geburtsstätte der alten Hauptsilbermünze, des Talers. Es sei hier nur auf die von Cotta als wichtige Silberlagerstätten angegebenen Punkte hingewiesen. Im Norden liegen noch rechts der Elbe die Punkte Meißen und Scharfenberg. Dann folgt — alles im Erzgebirge — Siebenlehn, Freiberg, Öderan, Brand, Frauenstadt, Katharinenberg, Marienberg, Ehrenfriedersdorf, Annaberg, Schwarzenberg, Weipert, Preßnitz, Johann-Georgenstadt, Joachimstal und Bleistadt als wichtigste Silber liefernde Orte.

Noch interessanter sind die verhältnismäßig weitverbreiteten Vorkommen von zwei andern Metallen, von Molybdän und Uran, auf dem alten Festland, die sonst nur äußerst selten auftreten und die wieder im Kupferschiefer sich finden. Uran ist gerade aus dem Erzgebirge bekannt geworden, von Joachimstal und Johann-Georgenstadt, Schneeberg und Marienberg. Hier tritt das wertvolle Erz in verhältnismäßig großen Mengen auf. Auch das Molybdän hat eine verhältnismäßig sehr weite Verbreitung im Erzgebirge. Hier sind die Orte Freiberg, Zinnwald, Altenberg, Geyer, Ehrenfriedersdorf, Schneeberg, Schwarzenberg, Schreibersgrün, Eibenstock, Johann-Georgenstadt und Schlaggenwald zu nennen.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß auch Blei und Zink, zwei im Kupferschiefer in relativ großen Mengen enthaltene Metalle, reichlich im Erzgebirge vorkommen, ganz abgesehen von Eisen und Mangan, die nicht nur hier, sondern auch in den alten Eruptiven und Sedimenten in reichlichsten Mengen auftreten. Alle diese Metalle sind in ihren Erzen löslich und daher transportierbar.

Ganz anders aber ist es mit zwei ebenfalls im Erzgebirge verbreiteten und sonst in Mitteldeutschland seltenen Metallen, dem Zinn und dem Wolfram. Zinn ist in der Form von Zinnstein so gut wie unlöslich, auch im Verlaufe langer geologischer Zeiten. Dasselbe ist für den Wolframit zu sagen. Deshalb treten sie, wo sie als Neuablagerungen vorkommen, nur in Form von Seifen, als mechanische Aufbereitungsprodukte, auf. Da jedoch, wie oben erwähnt, mechanischer Transport zur Kupferschieferzeit völlig zurücktrat, so können diese Mineralien nicht transportiert worden sein. Daher fehlen auch im Kupferschiefer diese Metalle.

Aus dem allgemeinen Bild über das Vorkommen von Erzen in dem alten, an den mitteldeutschen Teil des Kupferschiefermeeres anschließenden Festland geht schon mit größter Sicherheit hervor, daß die Erze, die im Kupferschiefer eingebettet sind, von diesen Festlandsgebieten, und vor allem aus dem Erzgebirge, stammen. Gerade der verhältnismäßig auffallend hohe Molybdängehalt, sowie der einzigartige Urangehalt des Kupferschiefers können überhaupt nur so erklärt werden, daß diese Metalle aus dem Erzgebirge durch Wasser in den Kupferschiefer verfrachtet sind.

Berücksichtigt man nun, daß alle diese an sich schon reichen Erzquellen über lange geologische Zeiträume die Erze anreichern mußten, da ein Wegtransport unmöglich war, so kann man verstehen, daß gerade zu Beginn der Kupferschieferzeit ganz gewaltige, in der geologischen Geschichte einzigartige Anhäufungen von Kupfererz für den chemischen Transport zur Verfügung standen. So allein auch wird die außerordentliche Fülle verschiedener Metalle erklärt, die im Kupferschiefer Mitteldeutschlands zusammengelagert sind und die sich keinesfalls auf eine einheitliche primäre Lagerstätte zurückführen lassen, da sie zu viele Einzelkomponenten und in zu eigenartiger Zusammen-

häufung enthalten, die vielmehr nur durch eine Vielheit von Erzlagerstätten als Ursprungsort der Erze erklärt werden können.

Man hat geglaubt annehmen zu müssen, daß der Kupfergehalt aus den Porphyren stamme, die zur Rotliegendzeit sich über weite Gebiete Mitteldeutschlands ergossen haben, wie dies hier auch schon ausgeführt worden ist. Aber diese Auffassung ist schon aus dem Grunde unwahrscheinlich, weil saure Ergußgesteine nirgends Kupfer in irgendwie nennenswerten Mengen geführt haben und weil in den Porphyren Mitteldeutschlands ein Kupfergehalt nicht nachgewiesen worden ist.

Auch ist es unmöglich, daß aus dem Harz, etwa vom Rammelsberg bei Goslar mit seinem reichen Erzgehalt, die Erze des Kupferschiefers in letzter Linie stammen. Denn man weiß, daß der Harz zur Kupferschieferzeit als solcher nicht existiert hat, vielmehr ebenso wie sein Vorland zu beiden Seiten vom Kupferschiefermeere überflutet war. Kein sicheres Merkmal im Kupferschiefer am Harz deutet darauf hin, daß hier ein Meeresstrand zur Kupferschieferzeit sich erstreckte, was in diesem Falle vorausgesetzt werden müßte. Aber auch kein besonders hoher Kupfer- oder Silbergehalt in dem Kupferschieferflöz dieser Gebiete zeigt an, daß die Erze vom Harze stammen könnten. Vielmehr mußte der Kupferschieferbergbau überall im westlichen Teil des Harzes wegen Geringhaltigkeit der gefördertten Erze eingestellt werden. Schon von alters her war bekannt, daß der Erzgehalt und insbesondere der Silbergehalt nach Südosten zu zunimmt, eine Tatsache, auf die schon Freiesleben und Voigt, die ersten Kenner des Kupferschieferbergbaus ihrer Zeit, aufmerksam gemacht haben, die aber späterhin sonderbarerweise in Vergessenheit geriet. Im folgenden soll erneut bewiesen werden, daß in der Tat der Erzgehalt im mitteldeutschen Kupferschiefer nach Südosten, also mit der Entfernung vom Harze weg, zunimmt. Sobald man diese Tatsache in die Rechnung einsetzt, ergibt sich wiederum, daß der Metallgehalt, weil hier in geringen Mengen vorhanden, keinesfalls vom Harz hergekommen sein kann.

Auch ist die Zusammensetzung der Erze des Rammelsberges derartig, daß die chemische Beschaffenheit des Kupferschiefers in keinerlei Beziehung hierzu gebracht werden kann. Einige Analysen typischer Erze des Rammelsberges seien zu diesem Zwecke hier zusammen mit der durchschnittlichen Zusammensetzung des Kupferschiefererzes verglichen:

	Bleierze	Melierte Erze	Reiche Kupfererze	Ordinäre Kupfererze	Kupferschiefer Eisleben
Cu . .	0,55 %	5,06 %	15,66 %	7,90 %	2,75 %
Ag . .	0,016 „	0,016 „	0,017 „	0,010 „	0,014 „
Fe . .	11,86 „	16,26 „	25,32 „	34,93 „	2,6 „
Pb . .	11,79 „	9,52 „	4,88 „	2,17 „	ca. 0,5 „
Zn . .	23,86 „	18,99 „	7,90 „	3,71 „	1,28 „
Mn . .	2,18 „	1,75 „	1,64 „	1,08 „	ca. 0,2 „
Co + Ni	0,04 „	0,06 „	0,04 „	0,08 „	0,04 „
BaSO ₄ .	15,97 „	13,77 „	6,66 „	0,63 „	—

Hieraus ergibt sich, daß der Eisen-, Zink- und Bleigehalt im Verhältnis zu den übrigen Metallen, insbesondere zu Kupfer und Silber, so hoch ist, daß eine genetische Beziehung zu den Erzen des Kupferschiefers daraus nicht entnommen werden kann. Auch fehlt dem Kupferschiefer der Baryumgehalt so gut wie völlig, während er in den Erzen des Rammelsberges sehr hohe Werte erreicht.

Gegen den Rammelsberg als Erzbringer für den Kupferschiefer führte Pompecky als weiteren stichhaltigen Grund an: „Daß für den Erzgehalt des Kupferschiefers die Aufbereitung älterer Ausscheidungen, wie z. B. des Rammels-

berger Kieslagers, irgend von Bedeutung war, scheint mir wegen der örtlich sehr beschränkten Ausdehnung solcher Bildungen ausgeschlossen.“

Auch ist darauf hinzuweisen, daß, selbst wenn man eine in varistischer Richtung nach Nordosten sich hinziehende Insel im Bereich des oben genannten Gebietes von Lauterberg annehmen wollte, diese keinesfalls in der Richtung auf Goslar und den Rammelsberg, sondern höchstens gegen das Gebiet des heutigen Brockens sich erstreckt haben würde. Südwestlich von Goslar — im varistischen Streichen — ist aber Kupferschiefer überall nachgewiesen; der Ort, wo heute der Rammelsberg sich erhebt, war also zur Kupferschieferzeit zweifellos vom Meere überflutet.

Schließlich wird der Vergleich gänzlich unmöglich, weil nicht nur im Rammelsberger Erz, sondern überhaupt im ganzen Harz, von einer einzigen Ausnahme abgesehen, nirgends Molybdän gefunden worden ist, das im Erzgebirge an verhältnismäßig vielen Stellen vorhanden ist. Nur im Gabbro des Radautales ist Molybdän nachgewiesen. Da es aber im Kupferschiefer in auffällig hohen Mengen auftritt und während des Krieges zu wichtiger Verwendung gelangt ist, so kann man mit Bestimmtheit sagen, daß die Erze des Kupferschiefers keinesfalls mit dem Harz genetisch irgend etwas gemein haben.

Zu demselben Schluß führt das völlige Fehlen des Urans im Harz, während es ebenfalls im Kupferschiefer nachgewiesen ist.

Hier sei noch eine Auffassung angefügt, die im Gegensatz zu der Anschauung, daß die Erze des Kupferschiefers durch fließendes Wasser, durch Flüsse und Bäche ins Kupferschiefermeer verfrachtet seien, annimmt, daß die Kupferlösungen durch submarine Quellen ins Kupferschiefermeer gelangt und dann aus ihm zusammen mit Tongehalt, Bitumen und Karbonat ausgeschieden worden seien. Diese Auffassung, die voraussetzt, daß unter dem Meere aufsteigendes Wasser die Ursache des Kupfergehaltes gewesen sei, bringt keine wesentliche Änderung der Sachlage. Denn wir wissen, daß alle Quellen, die im Meere aus dem Meeresboden aufsteigen, an die Nähe der Küste gebunden sind und stets mit dem nahen Festlande in direkter Beziehung stehen, sei es durch Spalten und Klüfte, sei es durch einen Grundwasserhorizont oder durch eine bestimmte wasserführende Gesteinsschicht. Es ist also nur eine andere Art des Austritts von Wässern des an das Meer angrenzenden Landes, ein Spezialfall des fluviatilen Transports, der in diesem Falle unterirdisch erfolgt.

b) Die Zusammensetzung des Meerwassers.

Mit dem Augenblick, da das von dem Festland mechanisch und chemisch weggetragene Material mit den fließenden Gewässern das Meer erreicht, treten für diese Substanzen physikalisch und chemisch völlig anders geartete Bedingungen auf. Es stellen sich nunmehr die Einflüsse mariner Sedimentation ein, sobald erst die Süßwasser sich ins Meer ergossen haben und dort mit dem Salzwasser sich mischen.

Im freien Weltmeer werden die feinen Sinkstoffe allmählich unter der ballenden Wirkung von Elektrolyten abgesetzt, die chemisch gelösten entweder, soweit sie unter den veränderten Bedingungen sich nicht mehr gelöst erhalten können, ausgefällt und ebenfalls niedergeschlagen oder aber von Strömungen, Gezeiten und Wellen mit dem Meerwasser gemischt, so daß in einiger Entfernung von der Küste allmählich eine sehr gleichmäßige Zusammensetzung des Meerwassers sich ergibt.

Man hat auf Grund von genauen analytischen Nachweisen, daß im Meerwasser Kupfer in geringen Mengen enthalten ist, angenommen, daß dieser geringe Kupfergehalt bei entsprechend großer Tiefe des Meeres und bei nachherigem langsamem Verdunsten und Austrocknen desselben die Bildung des

Kupferschieferflözes verursacht haben könne. Für das Kupferschiefermeer ist aber keine erhebliche Tiefe anzunehmen und durch keine Beobachtung bestätigt. Des weiteren ist zu berücksichtigen, daß, falls der Kupfergehalt der Meere zur Ausscheidung gelangen kann, dann immer unter gleichartigen geologischen Verhältnissen diese Ausscheidung auch an andern Stellen und in andern geologischen Perioden erfolgt sein müßte. Der gewöhnliche Kupfergehalt des Meeres genügt nicht, die Sedimentation des Kupfers im Kupferschiefer zu erklären, da einmal das Meer des Kupferschiefers keinesfalls eine Tiefsee war, und da auch kein Befund auf ein Eindampfen des Meeres hinweist, wie dies für die spätere Zechsteinzeit angenommen werden mag.

Es ist zweifellos, daß zur Bildung des bituminösen Mergelschiefers und insbesondere zur Ausfällung der Erze im Kupferschiefer ganz besondere Umstände geführt haben müssen.

Die erste und zweite Voraussetzung, die Lage eines erzeichen Gebietes, des Erzgebirges, im Bereich des Einzugsgebietes des mitteldeutschen Kupferschiefermeeres und die lange Dauer der Anreicherungsmöglichkeit der Erze während der ganzen jüngeren Karbon- und älteren Permzeit in einem abflußlosen Gebiet sind schon oben besprochen.

Die weitgehende Abgeschlossenheit der Zechsteinmeerbucht vom Weltmeer, das Fehlen des frischen Pulsschlages des Weltmeeres, ist eine weitere der verschiedenen Ursachen, die zur Bildung des Kupferschiefers in der Form, in der er uns überliefert ist, geführt haben. Dadurch, daß das Zechsteinmeer wie ein riesiger, langer, dünner Schlauch zwischen die alten Festlandsgebiete sich einschob, konnte nach Stabilwerden der Verhältnisse, nachdem die Transgression einem Beharrungszustand Platz gemacht hatte, die Vermischung des Zechsteinmeerwassers mit dem Wasser des freien Ozeans in wesentlichem Maße nicht mehr statthaben. Wie auch heute in einem halb abgeschlossenen Meer wenig Beziehung zum Weltmeer vorhanden ist, so auch damals. Dieser Umstand hatte zur Folge, daß das Wasser des Zechsteinmeeres mehr und mehr von den Zuflüssen aus den umgebenden Festlandsgebieten gespeist und beeinflusst wurde. Immer mehr mußte in dem ruhigen, fast stagnierenden Meer das Meerwasser Material, das aus den umliegenden Ländern verfrachtet war, in sich aufnehmen.

An mechanischen Sedimenten nahm es, wie schon erläutert wurde, im Bereich von Mitteldeutschland nur sehr wenig, allerfeinsten Tonschlamm, auf.

Um so stärker war der Zufluß an chemisch gelöstem Material. Nachdem lange geologische Zeiten hindurch die Zufuhr aller löslichen Substanzen zum Meere wegen des ariden Klimas und wegen des Fehlens aller Verbindungen zum Meere unterbunden gewesen war, konnten nunmehr die lange Zeit hindurch aufgespeicherten Salze, Karbonate, Sulfate und alle löslichen Erze allmählich aus dem Binnenland ins Kupferschiefermeer transportiert werden. Die chemischen Sedimentationsverhältnisse aber wurden durch die anormale Zusammensetzung des Meerwassers im mitteldeutschen Kupferschiefermeer in ausschlaggebender Weise beeinflusst.

c) Die Fällung der Karbonate.

Schon die Ausfällung der Erdalkali-Karbonate, von Kalk und Dolomit, als Ausscheidungen aus dem Meere ist eine Frage, die nicht ohne weiteres entschieden werden kann. Denn ein Blick auf die durchschnittliche Zusammensetzung des Meerwassers zeigt, daß an Kohlensäure im Meerwasser nur verschwindend wenig vorhanden ist im Verhältnis zu der im Meerwasser aufgespeicherten Schwefelsäure bzw. den Ionen und Verbindungen dieser Säuren. Trotzdem wissen wir, daß weitaus der größte Teil des in den Sedimenten enthaltenen kohlen-sauren Kalkes aus dem Meerwasser ausgefällt wurde. In andern

Fällen aber hat sich aus ungefähr gleichartigen Lösungen das Sulfat in Form von Gips oder Anhydrit ausgeschieden.

Der Gegensatz zwischen beiden Ausfällungsarten konnte daran erkannt werden, daß die Karbonate mehr in den Weltmeeren, die Gipse mehr in Binnenseen und ähnlichen Gebilden zur Ablagerung kamen. Die tiefere Ursache für die Ausscheidung der verschiedenen Kalkverbindungen aber wurde in der Anwesenheit oder dem Fehlen von Organismen in den betreffenden Meeren bzw. Seen usw. gefunden. Wo organisches Leben vorhanden ist, da scheidet sich unter entsprechenden übrigen Bedingungen auch heute Kalk ab. Wo aber alles organische Leben in den betreffenden Lösungen fehlt, da wird Gips an dessen Stelle ausgefällt. Die chemische Ursache endlich wurde in der Entwicklung von Ammoniak durch die Organismen gefunden. Wo Ammoniak erzeugt wird und damit im Meer Ammoniumkarbonat sich zu bilden vermag, da kann auch bei Anwesenheit großer Mengen von Sulfation das Kalzium oder Magnesium als Karbonat gefällt werden. Wo das organische Leben und damit die Produktion von Ammoniak aber fehlt, da kann auch die Abscheidung von Karbonaten nicht vor sich gehen und muß vielmehr der Bildung von Sulfatabsätzen Platz machen.

Im Gegensatz zu den höheren Zechsteinschichten, wo Gips und Anhydrit die regelmäßigen Begleiter der Schichten sind, findet man im Kupferschiefer die Karbonate des Kalziums und Magnesiums in Form von Zwischenlagen ausgeschieden, oder sie haben den ganzen Mergelschiefer ersetzt, wie das schon im ersten Kapitel dargelegt worden ist, oder es ist das Gestein als Mergelschiefer, also als karbonathaltiger Tonschiefer ausgebildet. In jedem Falle ist karbonathaltiges Material im Kupferschiefer ausgefällt. Schon diese Tatsache müßte genügen, um den Organismenreichtum des Kupferschiefermeeres zu beweisen. Es sind aber, wie gleichfalls schon eingehend dargestellt, tatsächlich reichliche Organismenreste im Kupferschiefer eingebettet gefunden worden. Also war organisches Leben vorhanden, das in seinen verwesenden Teilen die Ammoniak- und in dessen Gefolge die Karbonatbildung herbeiführte.

d) Der Bitumengehalt.

Aber nicht nur die Organismenreste beweisen die Anwesenheit organischen Lebens zur Kupferschieferzeit in dem damals entwickelten Meer. Auch der hohe, bis zu 20 % steigende Gehalt an kohligem und bituminösen Substanzen weist in diese Richtung. Denn diese strukturlosen organischen Produkte zeigen ebenso deutlich die Existenz von Organismen an, wie die Teile, an deren Struktur wir heute noch ihre organische Herkunft erkennen können.

Wesentlich schwerer ist es, diesen strukturlosen organischen Teil nach seiner Herkunft und Art zu erklären. Denn es fehlen für uns die struierten Teile, auf die wir sie zurückführen können. Hierbei hilft uns aber mit, daß im Kupferschiefer schon größere Ölmengen aufgeschlossen wurden, die sogar zu Schmier- und Brennzwecken Verwendung gefunden haben.

Zumeist allerdings tritt die ölig-schmierige Masse nicht mehr in dieser Form auf, wie denn auch Freiesleben nur von wenigen Fällen berichtet, in denen er das im Kupferschiefer auftretende „Erdpech“ in halbflüssigem oder an der Sonne zerfließendem Zustand angetroffen hat. Zumeist vielmehr ist der Bitumengehalt nur in fester Form beobachtet worden, in der Form des Asphalts, in der er beim alten Bergbau überall im Kupferschiefer verbreitet gefunden worden ist. Daß all das aber nichts anderes als Abänderungen von Petroleum sind, ist dem Erdölgeologen wohl bekannt. Denn Petroleum verändert sich an der Erdoberfläche und in dessen Nähe durch Oxydation und wird dann immer zähflüssiger oder gar fest. Daher in der Nähe des Ausgehenden, das in früheren

Jahrhunderten allein abgebaut wurde, festes Erdpech und erst in größeren Tiefen, wie sie heute erreicht werden, auch flüssige Produkte der Ausschwitzung aus dem Gestein. Daß wir im Kupferschiefer keine Öllagerstätte haben, hängt nur mit der im allgemeinen wenig geneigten Lagerung des Gesteins und besonders mit dem Fehlen eines porösen Gesteins, z. B. eines Sandsteins, in der Nähe der Öllagerstätte zusammen, in dem sich das Öl sekundär hätte sammeln und anreichern können.

Natürlich ist das Öl bzw. Bitumen im allgemeinen im Mergelschiefer noch enthalten, wodurch seine Benutzbarkeit als Brandschiefer ermöglicht wird. Daß hier stets Bitumen enthalten ist, zeigt schon die Erscheinung der Schiefer beim Brennen, wobei das Bitumen ins Fließen gerät, dessen Viskosität mit Zunahme der Temperatur abnimmt. Das Erdöl überzieht dann die Oberfläche der Schieferstücke mit schwarzer schmierig-fettiger Substanz, die allmählich verbrennt.

Aus dem Verhalten des Bitumens im Kupferschiefer erkennt man, daß alle Übergänge von flüssigem Erdöl zu halbflüssigen bis zähfließenden und schmierigen Fetten und zu festem Bitumen in ihm vorkommen, daß aber alle nur graduelle Verschiedenheiten aufweisen und auf gleichartigen Ursprung hindeuten.

Man kann an pflanzliche, wie an tierische Überreste denken, die nur aus nicht erhaltungsfähigen Substanzen aufgebaut waren und nach molekularer Umwandlung den Bitumengehalt erzeugt haben.

Den kohligen Bestandteil möchte ich als pflanzlichen Ursprungs ansprechen, zumal auch deutlich erkennbare Pflanzenreste dem Flöz nicht fehlen.

Aber der rein bituminöse, zum Teil selbst halbflüssige bis flüssige Teil der organischen Substanz weist hier besonders auf tierischen Ursprung hin. Denn zu allermeist haben in fossilen Ablagerungen, die Petroleum oder petroleumähnliche Substanzen führen und zugleich marinen Ursprungs sind, pflanzliche Überreste diese nicht erzeugt. Vielmehr kommen hier neben den verweslichen Resten der in ihren Hartteilen erhaltenen Tiere, die jedoch nur verhältnismäßig wenig organische Substanz dem Sediment geliefert haben können, allerkleinsten tierische Lebewesen in Betracht, die das Meer zu unzähligen Millionen bevölkern und entweder keine Hartteile, kein Gerüst tragen oder nur ein so zartes, daß es den Veränderungen seit dem Absterben der Tiere und nach Einbettung ins Gestein nicht stand zu halten vermochte und daher zugrunde gegangen ist. Diese allerkleinsten Lebewesen, die man als Plankton zusammenfaßt, sind demjenigen, der sich mit der Entstehung der Petroleumlagerstätten befaßt, als die Hauptträger der das Erdöl liefernden Stoffe bekannt. Man darf also annehmen, daß das Meer nicht nur von Fischen und Schaltieren, sondern auch von einer reichen Mikrofauna bevölkert war. Und zwar müssen es gewaltige Mengen von Plankton gewesen sein, das in diesem Meer sich tummelte, abstarb und zusammen mit dem sich absetzenden Tonschlick und Karbonat wie ein feiner fester Regen durch das Wasser auf den Grund des Meeres niederrieselte. Dadurch entstand allmählich ein stark bituminöses kalkhaltiges Tongestein. Während auf dem Lande oder am Strande die organische Substanz durch den atmosphärischen Sauerstoff oxydiert worden wäre, wurde sie hier in der Tiefe des Meeres, worin der Sauerstoff so gut wie nicht gelöst war, vor der Verwesung geschützt und daher unter Bituminierung erhalten und angereichert.

Bituminierung ist jedoch nur dann in so reichem Maße möglich, wie wir sie aus dem mitteldeutschen Kupferschiefer kennen, wenn das Kleintierleben überreichlich ist, so daß weder der geringe Sauerstoff des Meeres noch größere Tiere, die des Planktons zu ihrer Ernährung bedürfen, größere Mengen desselben

zum Verschwinden bringen können, wenn vielmehr dieses Plankton nach dem Absterben unzerstört auf dem Grunde des Meeres sich absetzen kann.

Die Auffassung, daß im Kupferschiefermeer ein reiches Kleintierleben existierte, findet durch völlig anders geartete Überlegungen eine ungeahnte Stütze. Pompeckj kommt bei Besprechung der Lebensweise der im Kupferschiefermeer einst in reicher Menge vorhandenen Fische zu dem Schluß, daß zur Ernährung von Bodenfischen unbeschaltete Organismen des Planktons und Nektons übrig blieben, „welche absterbend zu Boden sanken. Reste von solchen sind natürlich nicht erhalten, aber sie werden sicher in erheblicher Menge vorhanden gewesen sein, da wohl nur auf sie nach Analogie mit rezenten Faulschlammbildungen die große Menge Bitumens im Kupferschiefer zurückzuführen ist“. Auch Pompeckj führt also den Bitumengehalt auf nicht erhaltungsfähige Lebewesen des Kupferschiefermeeres zurück.

Man mag sich fragen, ob in einer so stillen binnenmeerähnlichen Bucht, wie dem Kupferschiefermeer, überhaupt die Voraussetzungen für ein reiches Planktonleben gegeben sein konnten. Diese Frage ist durchaus zu bejahen. So hat z. B. das Rote Meer, wie ich selbst auf meiner Reise nach Ostindien kennen lernte und beobachten konnte, ein überreiches Planktonleben. Dabei besitzt das Rote Meer, seinem geringen Zusammenhang mit dem Weltmeere nach, viele Ähnlichkeit mit dem Kupferschiefermeer. Hier fuhr man oft kilometerweit durch gewaltige Planktonschwärme, die das Wasser intensiv wolkig rötlichbraun färbten, eine Eigentümlichkeit, wegen deren schon die Alten dem Meere die Bezeichnung Rotes Meer gaben. Es ist also, zumal auch die klimatischen Verhältnisse denen des einstigen Kupferschiefermeeres ähnlich sein mögen, der Vergleich durchaus erlaubt.

Diese Überlegungen finden in Beobachtungen von Oskar Fraas, die er bei Djebel Zeit an der ägyptischen Seite des Roten Meeres machte, ihre volle Bestätigung. Er fand dort in einem kleinen über das Meer etwas herausragenden Korallenriffe Erdölausschwitzungen, die er auf die im Riff selbst und in der von der Brandung des Meeres geschützten Lagune des Riffs zersetzten organischen Körper zurückführte. Diese Lagune ist von lebenden Seetieren völlig erfüllt, und die ebendort abgestorbenen Tiere liefern bei ihrer Zersetzung ölige Massen, die auf der Oberfläche des Wassers schwimmen bzw. von dem porösen Kalkgestein des Riffs aufgesogen werden und es dann völlig erfüllen. Sickenberger, der das Vorkommen weiter untersucht hat, sowie die Geologische Landesanstalt von Agypten und andere haben die Auffassung von Fraas durchaus bestätigt. Es wurde zusammenfassend festgestellt: „Das Erdöl entsteht im Roten Meere seit langem und jetzt noch einzig und allein durch Fäulnis und weitere Zersetzung der Seetiere. Von Kohlen und fossilen Pflanzenresten findet sich keine Spur, auch nicht in den Bohrungen, die hier abgeteuft wurden“ (Höfer). Diese Darstellung gibt erneut eine Sicherung unserer Annahme, daß das Meer des Kupferschiefers mit dem Roten Meer große Ähnlichkeit gehabt haben muß.

e) Der Schwefelwasserstoffgehalt und die Schichtung und Tiefe des Meeres.

Für die Erze, die im mitteldeutschen Kupferschiefer enthalten sind, müssen ähnliche Überlegungen gelten, wie sie bei Besprechung der Karbonatfällung angestellt wurden. Die Erze wurden sicherlich in außerordentlich feiner Verteilung, in einer so geringen Konzentration, daß sie das tierische Leben zweifellos nicht beeinflussten, da die gelösten Mengen für Giftwirkungen sicher viel zu gering waren, in das Meer verfrachtet. Hier konnten sie sich aber, gleichwie der Kalk, nur dann ausscheiden, wenn ganz bestimmte Voraussetzungen gegeben waren. Ein geeignetes Fällungsmittel mußte vorhanden sein.

Da die Erze in Form von Sulfiden ausgeschieden wurden, so muß gefordert werden, daß schwefelionhaltige Lösung die Ausfällung veranlaßte. Für die sedimentären Schwefelerzbildungen hat man daher von jeher die Mitwirkung von Schwefelwasserstoff bzw. von Schwefelammonium angenommen. Der Schwefelwasserstoff ist in der Tat auch für die Erze des Kupferschiefers das Fällungsmittel gewesen.

Daß Ammoniak im von Tieren bevölkerten Meere existiert, ist oben schon angegeben worden. Dieses allein aber vermag Fällungen von Erzen geradezu zu verhindern, soweit die betreffenden Metalle mit dem Ammoniak komplexe Ionen liefern. Dies ist z. B. bei dem Kupfer der Fall, das leichtlösliche Kupferammoniakverbindungen liefert. Wo aber Schwefelwasserstoff in genügender Konzentration hinzutritt, da werden die im Meerwasser auftretenden Schwermetalle gefällt auch dann, wenn dieselben mit Ammoniak allein komplexe Ionen bilden würden.

Es handelt sich nunmehr um die Frage nach dem Ursprung des Schwefelwasserstoffgehaltes im Meerwasser. Mit Pflanzen- und Tierleben ist stets auch die Bindung von Schwefel an den organischen Körper verbunden. Ohne den Schwefel ist kein Aufbau organisierter Materie möglich, ohne sie kann kein organisches Leben gedeihen. Daher liefert auch sowohl der tierische wie der pflanzliche Körper nach dem Tode bei der Vermoderung Schwefelwasserstoff, wenn nicht genügend Sauerstoff zuzutreten vermag, um die Verbindungen zu oxydieren. Je intensiver das tierische oder pflanzliche Leben, desto stärker auch die Schwefelwasserstoffbildung. Der bis zu 20 Prozent steigende Bitumengehalt beweist, welch reiches planktonisches Leben einst im Kupferschiefermeer herrschte, wieviel Schwefelwasserstoff also damals sich bei den Umsetzungen nach dem Tode der Tiere entwickelt haben mußte.

Auch hierfür kann ich aus eigener Erfahrung einige Beispiele anführen. Bei meiner Reise nach dem fernen Osten und in den dortigen Gebieten hatte ich während der Seereise vom Schiff aus alltäglich die Möglichkeit, mit dem Wasser des Meeres, das wir gerade befuhren, eingehende Bekanntschaft zu machen, und zwar beim täglich einmal oder zweimal genommenen Bad. Das Wasser, das in die Badekabinen gepumpt wurde, wurde jeweils direkt dem Meer entnommen. Immer wieder konnte ich den eigentümlichen Geruch des Meeres wahrnehmen, der von dem reichen Tierleben bzw. von dessen Verwesungsprodukten herrührte. Von dem oben genannten Djebel Zeit wird angegeben, daß bei der rezenten Petroleumbildung „massenhaft“ Schwefelwasserstoff entstehe. Ganz deutlich konnte ich während längerer militärischer Tätigkeit bei Ostende, Blankenberge und Zeebrügge immer wieder beim Gang durch die dortigen Hafengebiete den Schwefelwasserstoffgeruch der im Schlamm der Hafenbecken verwesenden Organismen erkennen, und beim Nehmen eines Bades von heißem Seewasser, wie es im Palast-Hotel Ostende geboten wurde, war der Geruch nach Schwefelwasserstoff oft geradezu unerträglich. Die Beobachtungen, die am Schwarzen Meer und den Fjorden Norwegens gemacht sind, lassen sich also bei entsprechend sorgfältiger Beobachtung wohl beliebig vermehren, da jedes Meer, in dem reiches organisches Leben herrscht, Schwefelwasserstoff in großen Mengen produziert. Wo erst, wie beim Kupferschiefer, das Tierleben so gewaltig war, daß hochprozentige Bitumenablagerungen sich bilden konnten, da muß auch eine reichliche Schwefelwasserstoffentwicklung stattgehabt haben.

Der Schwefelwasserstoffgehalt des Kupferschiefermeeres wird nur insofern verschieden gewesen sein, als der gasförmige Schwefelwasserstoff nur da im Wasser reichlich gelöst blieb, wo er nicht, wie am flachen Strand, durch das Spiel der Wellen und die Seichtheit des Meeres veranlaßt, leicht austreten und

verdunsten konnte. Deshalb war sicherlich entlang dem Strande die Ausfällung geringer als in einiger Entfernung vom Lande, wo in größerer Tiefe des dort völlig unbewegten Wassers eine volle Sättigung des Meerwassers mit gelöstem Schwefelwasserstoff erfolgen konnte.

Zu denselben Folgerungen führt die Auffassung Pompeckjs, der eine tiefeschürfende Studie über das Meer des Kupferschiefers verfaßt hat. Er vergleicht das Kupferschiefermeer mit dem Schwarzen Meer der Jetztzeit. Er nimmt an, daß, wie heute im Schwarzen Meere, so einstens im Kupferschiefermeer zuoberst eine Schicht süßen Wassers sich ausgebreitet habe, das vom Lande her eingeschwemmt sich immer wieder ergänzt habe und die Landtiere, die wir heute im Kupferschiefer eingebettet finden, aber auch die Fische, die er als Süßwasserfische des Festlandes betrachtet, die Landpflanzen und den detritogenen Gesteinsanteil des Kupferschieferschlicks herbeigeführt habe. Unter dieser Decke süßen Wassers aber habe sich stark salzhaltiges Wasser befunden, das an Sauerstoff arm und von gelöstem Schwefelwasserstoff erfüllt gewesen sei, genau wie es heute das Schwarze Meer zeigt. In diesem von Schwefelwasserstoff geschwängerten Wasser der Tiefe aber habe sich kein Tierleben zu entfalten vermögen, vielmehr sei es ein Reich des Todes gewesen, da die giftigen Gaslösungen alles Leben, das in seinen Bereich gelangte, ertöteten. So seien die Fische, die — ihren Lebensgewohnheiten folgend — in den Bereich der an Schwefelwasserstoff reichen Wasserzone gelangten, durch den Mangel an Sauerstoff oder durch den giftigen Schwefelwasserstoff getötet worden und auf den Grund des Meeres unzersetzt, weil von der Verwesung nicht ergriffen, gebettet worden. Ebenso wurden auch alle nach dem Tode in die Tiefe sinkenden Lebewesen hier unverwest sedimentiert. Dieser Auffassung von der Einbettung der Tiere ist durchaus beizustimmen.

Wir dürfen kaum annehmen, daß der Sauerstoff weniger leicht in salzhaltiges als in salz- oder schwefelwasserstoffreies Wasser diffundierte. Der Sauerstoffgehalt des Meeres mußte schon bei Zunahme des Reichtums an vermodernden Lebewesen sofort gebunden werden, so daß für Lebensvorgänge aerober Art hier kein Raum mehr war. Höchstens Bakterien mögen sich an der Umbildung der organischen Reste und an der Entwicklung des Schwefelwasserstoffes beteiligt haben.

Hier sei auch darauf hingewiesen, daß die Krümmung der Fische des Kupferschiefers sicherlich nicht auf Vergiftung durch Kupfer zurückzuführen ist. Vielmehr ist die Krümmung derselben „Todesstarre, bei den schlanken Fischen vielleicht noch so beeinflusst durch Verwesungsgase im Bauch der Fische, daß der Rücken eingebogen wurde“ (Pompeckj).

Das für die speziell in diesem Abschnitt erörterten Fragen wichtigste Resultat aus den Untersuchungen Pompeckjs ist, daß auch er annimmt, daß das Kupferschiefermeer in seinen oberflächlichen und daher, wie ich weiter schliesse, auch in seinen strandnahen Teilen keinen so hohen Schwefelwasserstoffgehalt hatte als in größerer Tiefe des Meeres bzw. in einiger Entfernung vom Lande. Wir müssen einen Wechsel in den Konzentrationsverhältnissen des Schwefelwasserstoffs im Meere in vertikaler Erstreckung unbedenken.

Darin stimmen auch andere Forscher bei, wie Drevermann, der das Kupferschiefermeer mit den Pollern der norwegischen Fjorde, oder wie Doß, der es mit den Öselschen Buchten oder den Limanen Südrußlands vergleicht, wo ebenfalls Süßwasser über Salzwasser sich lagert. Die Unterschiede zwischen diesen Vorkommen und dem Schwarzen Meer, sagt Pompeckj, „sind wesentlich nur solche der Maßverhältnisse, nicht der Art“. „Das Grundprinzip ist hier natürlich mindestens ganz ähnlich dem des Schwarzen Meeres.“ W. Penck

weist als Vergleichsort mit den Ausscheidungsbedingungen des Kupferschiefermeeres auch auf die Nordküste des Marmarameeres hin.¹⁾

Was die zuoberst lagernde Süßwasserschicht anbelangt, so muß man berücksichtigen, daß diese abhängig ist einmal von den Zuflüssen vom Lande und zweitens von der Verdunstung. Beide aber sind vom Klima bedingt. Nur dann, wenn das umgebende Landgebiet unter humidem Klima liegt, vermag es genügende Wassermengen herbeizuführen, um zu verhindern, daß die Verdunstung die Süßwasserdecke der Meeresbucht aufzehrt. Ist das umgebende Gebiet aber wenig feucht, so kann die Süßwasserdecke fehlen. Da nun ein Klimawechsel von Trocken- zu Feuchtgebiet schon aus Gründen der Auslaugung der Erze, wegen der gefundenen fossilen Holzpflanzen und im Zusammenhang mit der Transgression des Kupferschiefermeeres angenommen werden muß, so mag die Annahme einer Süßwasserdecke über dem salzigen Tiefenwasser ihre Berechtigung haben.

Es wäre daher durchaus unrichtig, wollte man erwarten, daß direkt am Strand genau dieselben Sedimentationsverhältnisse in mechanischer und in chemischer Hinsicht vorliegen, wie in größerer Entfernung vom Gestade. Man muß eine gewisse Sedimentationsänderung und dementsprechend im Gestein einen gewissen Fazieswechsel zwischen strandnahem und strandfernem Sediment annehmen. Man kann daher Schlammproben, die am Strande des Schwarzen Meeres aufgesammelt sind, nicht mit den strandferneren Sedimenten vergleichen, wie sie in fossilem Zustand aus dem Mansfeld-Eisleber Gebiet, auch aus strandfernem Gebiet, uns bekannt geworden sind. Auch Pompeckj weist ausdrücklich darauf hin: „Es kann natürlich auch nicht im ganzen Gebiete des Kupferschiefermeeres das gleiche Sediment abgelagert worden sein. Wie im Schwarzen Meere im Bereich der Süßwasser-Deckschicht Sande und andere Küstengesteine aufgehäuft werden, wie im Posidonomyenschiefer des östlichen Bayerns sandige Schiefer und Sandsteine vorkommen, so müssen auch in Randteilen des Kupferschiefermeeres bitumen- und erzarme Gesteine entstanden sein“.

Da in den oberflächlichen und demnach auch in den strandnahen Meeresteilen der Schwefelwasserstoff nicht in genügender Menge vorhanden war, so konnten in diesen Teilen des Meeres auch nicht die Wirkungen des Schwefelwasserstoffs auf die Erzlösungen und somit die Erzausscheidungen erfolgen, wie in den tieferen und strandferneren Gebieten. Gleiches ist vom Schwarzen Meer bekannt geworden: „Die Sedimente des Schwarzen Meeres außerhalb des in den Bereich der Süßwasserdecke gehörenden Küstengürtels und jenseits der Tiefe von 100 Faden sind Massen von schwarzem und blauem Schlick mit verschiedenem Gehalt an feinstverteiltem Kalk und sulfidischem Eisen“ (Pompeckj).

Damit kommen wir zu der Frage, bis zu welcher Tiefe das Kupferschiefermeer gereicht haben mag, und wie tief speziell seine anders geartete, aus weniger salzhaltigem Wasser bestehende Oberflächenschicht gegangen sein mag. Eine Tiefe von 100 Faden gleich über 200 Metern süßen Wassers, wie im Schwarzen Meer, glaube ich nicht annehmen zu brauchen. Wie schon oben erwähnt, hängt das Vorhandensein derselben von der Ruhe in dem betreffenden Meeresbecken und von dem Klima der Umgebung ab. Es ergeben sich genau dieselben Resultate, wie hier besprochen, wenn die Schicht schwefelwasserstoffarmen und sauerstoffhaltigen Wassers, in dem also die Meerestiere sich halten und aufs reichste entwickeln konnten, nur wenige Meter mächtig angenommen wird. Das ändert prinzipiell nichts an dem oben erhaltenen Resultat.

1) Nach freundlicher Mitteilung.

Über die Gesamttiefen, die das Kupferschiefermeer in Mitteldeutschland erreicht haben mag, läßt sich nicht viel anführen. Jedoch spricht keine Beobachtung oder Überlegung für große Tiefen. Das gibt auch Pompeckj an, der über die Frage der Tiefenverhältnisse des Kupferschiefermeeres mitteilt: „Hierauf eine bestimmte Antwort zu geben ist uns versagt. Die geringe Gesteinsmächtigkeit ohne weiteres als vollgültigen Beweis für ein flaches Meer zu nehmen, ginge zu weit. Aber besonders große Tiefen kann das Kupferschiefermeer nicht besessen haben.“

Man darf somit annehmen, daß der mitteldeutsche Teil des Kupferschiefermeeres ein im wesentlichen nicht sehr tiefes, oberflächlich und nahe dem Strande ein reiches Tierleben entfaltendes, wenig Schwefelwasserstoff enthaltendes, in größerer Entfernung vom Lande und größerer Tiefe aber von Schwefelwasserstoff erfülltes und dann den Lebewesen feindliches Gewässer gewesen ist.

f) Die Fällung der Erze.

Man könnte annehmen, daß für die Fällung der Erze die Art der Metalllösung in Betracht kommt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Jedes gelöste Metall kann, wenn nur die Lösung bestimmte Konzentration hat und das Fällungsmittel in genügender Menge vorhanden ist, ausgefällt werden. Zudem kann vorausgesetzt werden, daß die Metallösungen in allerfeinster Verteilung, in allergeringster Konzentration ins Meer eingewandert sind. Wenn aber die Konzentration gering ist, so kann man mit Bestimmtheit den völligen Zerfall der Verbindungen in ihre Ionen annehmen. Es ist in diesem Falle also für die nachfolgende Ausfällung völlig gleichgültig, an welches Anion das Metall, z. B. ob es an Chlor- oder Sulfat- oder Karbonation gebunden war.

Auch der Fall, daß die Metalle in adsorbierter Form, etwa an organische Substanz gebunden, vom Festland ins Meer transportiert worden seien, ist für die weiteren Erörterungen ohne wesentlichen Belang. Ich setze jedoch voraus, daß die Erze als reine Lösungen das Meer erreicht haben.

Im Kupferschiefermeer können die Metallösungen adsorbiert worden sein, es können die Metalle sich auf den tierischen und pflanzlichen Überresten festgesetzt haben, oder es kann die Erzlösung an Bitumen und kohlige Substanzen oder an kolloidalen Ton gebunden worden sein. Ja es können auch Bakterien oder andere niedere Lebewesen, wie etwa bei der Eisenbildung in den Raseneisensteinen, bei der Ausscheidung der Sulfide im Kupferschiefermeer mitgewirkt haben. Alle die genannten Vorgänge können sich bei der Ausscheidung der Erze des Kupferschiefers vollzogen haben. Es ist ihnen aber keinerlei besondere Bedeutung beizumessen.

Jedenfalls ist die allein ausschlaggebende Veränderung der Metallösungen ihre Ausfällung in sulfidischer Form unter der Einwirkung des Schwefelwasserstoffs gewesen, der, wie oben besprochen, in reichen Mengen im tieferen Meerwasser enthalten war. Die eben angegebenen Vorgänge können, soweit sie überhaupt in Wirksamkeit traten, nur vermittelnder Art gewesen sein, wie etwa bei der Verwesung der Pflanzenteile im Boden unter der Einwirkung des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft die Bakterien als Vermittler der Umsetzungen auftreten.

Der wesentliche Vorgang bei der Fällung der Erze ist also die Umsetzung zwischen Metallösungen und Schwefelwasserstoff. Die Metallösungen, wie der Schwefelwasserstoff müssen aber in der nötigen Menge vorhanden sein, bevor das Maß der Löslichkeit überschritten ist und Ausfällung eintritt.

Die Ausfällung bzw. Nichtausfällung ist einmal abhängig von der Konzentration des Schwefelwasserstoffes im Kupferschiefermeer. Wie wir

oben gesehen haben, ist in den randlichen Gebieten des Meeres kein Wasser vorhanden gewesen, das einen hohen Schwefelwasserstoffgehalt gehabt hat, da die Wassertiefe gering war und die Wasserbewegung den oberflächlich vorhandenen Schwefelwasserstoff leicht zum Austritt in die Atmosphäre veranlaßte und den Gehalt des Wassers daran immer wieder verminderte. In dieser Zone also konnte die Ausfällung nicht oder höchstens recht unvollständig erfolgen.

Erst in größerer Entfernung von der ehemaligen Küste erreichte bei tieferem Wasser die Konzentration des Schwefelwasserstoffs im Meerwasser eine solche Höhe, daß Ausfällung der Metalle aus ihren Lösungen dauernd eintreten konnte. Wir können sogar annehmen, daß in der unbewegten, bitumengeschwängerten und von Tierleichen erfüllten Tiefe das Meerwasser an Schwefelwasserstoff gesättigt war.

Mit dem Eintreten der Sättigung konnte aber die Menge der ausgeschiedenen Erze nicht mehr vom Schwefelwasserstoffgehalt abhängen, da der etwa verbrauchte Schwefelwasserstoff durch Neubildung immer wieder ersetzt wurde: der Schwefelwasserstoffgehalt wurde eine konstante Größe.

Dieses Resultat bedeutet, daß in den tieferen Teilen des Kupferschiefermeeres, in denen der Schwefelwasserstoff herrschte, an allen Stellen des Meeres in weitester Verbreitung in ganz gleicher Weise die Metallionen als Erze gefällt werden konnten. Die Möglichkeit zur Ausscheidung der Erze war also weithin völlig gleich. Wenn trotzdem, wie die Verbreitung der Erze im Kupferschiefer lehrt, die Sulfide auch in den strandfernen Teilen des Meeres nicht allgemein, sondern regional verschieden ausgefällt wurden, so kann das nicht am Fällungsmittel, sondern es muß an den auszufällenden Metallen gelegen haben.

Für die Verschiedenheiten in der regionalen Verteilung der Erze konnte allein noch die Menge der zugeführten Metallösungen, da diese variabel sein konnten, in Betracht kommen. Von ihnen hing nunmehr die Ausscheidung oder Nichtausscheidung allein ab.

Da nun in strandfernen Gebieten außerhalb des mitteldeutschen Teiles des Kupferschiefermeeres die Ausscheidungen von Silber und Kupfer stark zurücktraten oder gar fehlten, so kann nur darauf geschlossen werden, daß schon in dem Meerwasser des dortigen Teiles des Kupferschiefermeeres nicht genügende Mengen dieser Metalle enthalten waren, da sie sonst bei gleichem Bitumen- und daher auch Schwefelwasserstoffgehalt unbedingt hätten ausgefällt werden müssen. Die Zuflüsse von andern Festlandsgebieten führten eben an jene Stellen des Meeres überhaupt nicht genügende Mengen von Erz zu, als daß eine Ausscheidung hätte stattfinden können. Da aber in Mitteldeutschland große Erz ausscheidungen erfolgten, so müssen hier die Zuflüsse an gelösten Metallen ganz besonders reichlich gewesen sein. Nach den im vorstehenden gegebenen Darstellungen über den Metallreichtum des alten Vindelizischen Landes und insbesondere des Erzgebirges zu Beginn der Kupferschieferzeit ergeben also die theoretischen Überlegungen und die praktischen Erfahrungen den gleichen Schluß.

Die Fällung der Metallionen als Sulfid ist aber nicht nur von der zugeführten Lösungsmenge, sondern insbesondere von ihrer Löslichkeit abhängig. Es kommt bei jedem einzelnen Metalle darauf an, welche Löslichkeit das zugehörige Sulfid besitzt, bzw. welche Konzentration das Metallion erreicht haben muß, bevor Ausfällung in konzentrierter Schwefelwasserstofflösung eintritt. Denn jedes Metall setzt seiner Ausscheidung bzw. seiner Lösung einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegen.

Wie stark die Neigung oder der Widerstand jedes einzelnen Metalls ist, sich als Metall auszuscheiden, kann auf elektrochemischem Wege ermittelt werden.

Bei der Überführung von Metallionen in den metallischen Zustand auf elektrochemischem Wege zeigt sich — ich folge in diesen Ausführungen der Darstellung Ostwalds —, daß jedes Metall gegen die Lösung eines jeden seiner Salze einen bestimmten Potentialunterschied aufweist, welcher bei Voraussetzung gleicher Temperatur nur von der Konzentration des Metallions in der Lösung abhängig ist. Dieser Unterschied kann positiv oder negativ sein; dementsprechend kann der Übergang des Metalls in den Ionenzustand entweder unter Gewinn oder unter Aufwand von Arbeit erfolgen. Gewinn von Arbeit findet bei den leicht oxydierbaren, d. h. den leicht in den Ionenzustand übergehenden Metallen statt, z. B. bei Kalium, Natrium, Magnesium, Zink, Eisen, Kobalt, Nickel bis ungefähr zum Blei. Diese Metalle werden als diejenigen der positiven (+) Seite der Spannungsreihe bezeichnet.

Dagegen erfordern die Metalle vom negativen (-) Ende der Spannungsreihe, d. h. vom Blei ab über Kupfer, Silber, Quecksilber zum Gold, beim Übergang aus dem metallischen in den Ionenzustand Arbeit.

Je nach dem Maß der Arbeit, das erforderlich ist, um die eine oder die entgegengesetzte Reaktion durchzuführen, lassen sich die Metalle in eine Reihe, die Spannungsreihe, gliedern. Diese lautet:

Au, Hg, Ag, Cu; Pb (ca. \pm 0); Ni, Co, Fe, Zn, Mg, Na, K.

Aus einem Gemisch von Metallionen werden demnach im allgemeinen beim Einwirken elektromotorischer Kräfte die Metalle nach der Reihe der Spannungsunterschiede abgeschieden, die zwischen den Metallen und ihren gelösten Salzen bestehen. Umgekehrt kann man für die Metalle sagen, daß ihre Tendenz, in Ionenform überzugehen, um so größer ist, je mehr man sich dem positiven Ende der Spannungsreihe nähert, und daß sie um so geringer ist, je mehr man gegen das negative Ende derselben gelangt. Daraus ergibt sich ganz allgemein, daß die Ionisierungstendenz der edlen Metalle (Au, Ag) geringer ist als von Cu und diese geringer als die von Pb usf. Aus der Spannungsreihe kann man daher entnehmen, daß eine selektive Fällung bei Anwesenheit von Schwefelwasserstoff im Meere statthaben müßte. Aber die Gültigkeit der Spannungsreihe reicht streng nur für verhältnismäßig konzentrierte Lösungen und für reine Metallionen.

Diese Gesetze gelten jedoch deshalb für die im Kupferschiefermeer einstens vorhandenen Lösungen nicht scharf, weil angenommen werden muß, daß die Konzentrationen nur sehr geringe waren. In diesem Falle aber verhalten sich alle Metalle wie weniger edle, und es verschiebt sich daher ihr Potential nach der positiven Seite der Spannungsreihe. Die Metalle werden einander ähnlicher. Es fallen daher bei sehr geringer Konzentration einander in der Spannungsreihe nahestehende Metalle annähernd gleichzeitig aus in der Weise, daß schon die Ausscheidung des zweiten Metalles beginnt, bevor das erste völlig ausgeschieden ist. Es findet also eine teilweise Vermischung der Metallabsätze statt.

Auch dann erfährt die Regel der Spannungsreihe eine Ausnahme, wenn die auszuscheidenden Metalle sich in einer Flüssigkeit zu komplexen Ionen lösen. In diesem Falle erfolgt die Verschiebung ebenfalls in der Richtung der unedleren Metalle.

Aus der Spannungsreihe geht hervor, daß von den im Kupferschiefer vorhandenen Metallen Silber und Kupfer elektronegativer sind, d. h. daß sie sich sehr leicht ausfällen lassen und lieber aus dem Ionenzustand in den metallischen Zustand übergehen als umgekehrt, während bei den folgenden Metallen: Blei, Nickel, Kobalt, Zink, in zunehmendem Maße das Gegenteil der Fall ist.

Zwar wären bei Anwesenheit von Ammoniak allein im Meerwasser komplexe Verbindungen desselben mit Kupfer und Silber anzunehmen,

die leichtlöslich sind und die den Metallen einen unedleren Charakter geben. Aber der mit im Meerwasser vorhandene Schwefelwasserstoff im Überschuß fällt sowohl Kupfer wie Silber, und das Ammoniak vermag die Niederschläge, solange der Überschuß an Schwefelwasserstoff andauert, nicht zu lösen.

Die Löslichkeit von Schwefelsilber (Ag_2S) und Schwefelkupfer (Cu_2S) aber ist verschieden. In der Kupfergruppe, welche die Metalle Kadmium, Kupfer, Silber, Quecksilber, Blei und Wismut umfaßt, ist Ag_2S nach HgS die schwerstlösliche Verbindung. Cu_2S ist leichter löslich. Daraus ergibt sich, daß die Ionenkonzentrationen der Sulfide von Silber und Kupfer den Forderungen der Spannungsreihe entsprechen, so daß eine teilweise Parallele zwischen der Ausscheidung der Sulfide und der Metalle besteht, insbesondere wenn man auch berücksichtigt, daß durch Anwesenheit von organischer Substanz zugleich reduzierende Einflüsse mitwirken.

Da die Schwefelwasserstoffmenge in den küstenferneren Teilen des Kupferschiefermeeres als im Überschuß befindlich angesehen werden muß und ein Ion mit dem Niederschlag gemein hat, so wird dadurch entsprechend den Forderungen des Löslichkeitsproduktes die Löslichkeit des Silbers und Kupfers, die Anzahl der Ag- und Cu-Ionen, sehr verkleinert. Es wird also Silber und Kupfer in diesem Falle verhältnismäßig sehr vollständig ausgefällt.

Da nun aber das Schwefelsilber an sich wesentlich weniger löslich ist als das Schwefelkupfer, so wird das Silber, sobald es von den Wassern des Festlandes ins Meer hinausgeführt und das Wasser an Schwefelwasserstoff angereichert war, allergrößtenteils als Silbersulfid sofort niedergeschlagen worden sein, und zwar bei viel geringerer Konzentration der Lösung als das Kupfer. Da aber das Kupfer in wesentlich größeren Mengen ins Meerwasser verfrachtet wurde als das Silber, so schieden sich tatsächlich beide nebeneinander aus, und es entstand daher ein Erzniederschlag, der Kupfer- und Silbersulfid zugleich enthielt.

Entsprechend den viel größeren zugeführten Mengen und der größeren Löslichkeit des Kupfers gegenüber dem Silber konnte aber Kupferlösung in größeren Quantitäten auch bis in weite Entfernung vom Lande in die zentraleren Teile des Kupferschiefermeeres gelangen, während die Hauptmassen des Silbers zunächst der Küste und in verhältnismäßig geringerer Entfernung von ihr in einer nicht allzubreiten Zone abgesetzt wurden.

Daher mußte der Erzgehalt von der Küste im Südosten gegen Nordwesten immer mehr abnehmen, und zwar der Silbergehalt viel rascher als der Kupfergehalt.

Nach der Spannungsreihe müßte man auch die Anwesenheit von Gold als noch elektronegativerem Metall verlangen. In der Tat ist sowohl bei Eisleben, wenn auch in geringsten Mengen, wie auch bei Bottendorf Gold in den Ausscheidungen nachgewiesen worden. Letzteren Nachweis hat Herr Bergrat Schrader an Hand der alten Akten des Oberbergamts Halle geführt.

Diese Überlegungen können natürlich nur unter der Voraussetzung Gültigkeit haben, daß ein an Erzen so reiches Festlandsgebiet sich direkt an die Küste anlehnt wie in Mitteldeutschland. Nur deshalb, weil das metallreiche Erzgebirge und die umliegenden Gebiete ihre erzhaltigen Wässer ins Meer ergossen, konnten sich die Erzabsätze im Kupferschiefer Mitteldeutschlands in so gewaltigem Maße entwickeln. Von den anderen Einzugsgebieten des Kupferschiefermeeres, die keine derartig reichen Erzlagerstätten besaßen, kann daher auch keine derartige Erzführung des Kupferschiefers erwartet werden. Deshalb ist die ausgezeichnete Kupfer- und Silberführung auf die Teile des Kupferschiefers, die sich um das Erzgebirge gruppieren, nämlich auf Mitteldeutschland, beschränkt.

Die Metalle der positiven Seite der Spannungsreihe, die im Kupferschiefer nachgewiesen sind, waren im Kupferschiefermeer ebenfalls von Anfang

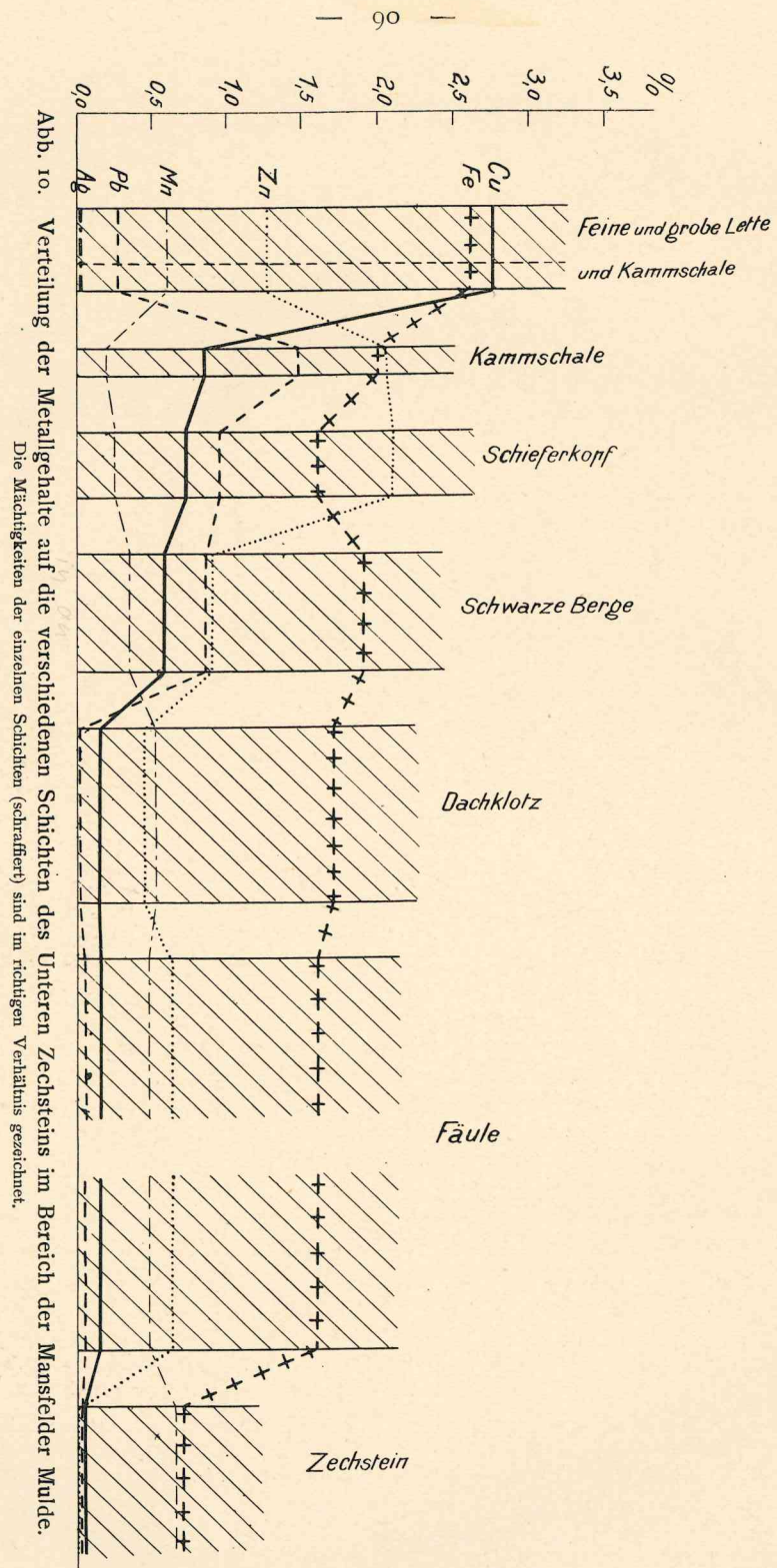
an vertreten und wohl in verhältnismäßig reichlichen Mengen. Wenn sie trotzdem im abgebauten Teile des Kupferschiefers an Menge zurücktreten, so hängt das damit zusammen, daß die Löslichkeit ihrer Sulfide größer war als diejenige der edleren Metalle, so daß auch bei größerer Konzentration nur eine verhältnismäßig geringe Ausscheidung erfolgte.

Man kann die Ablagerung des Kupferschiefers als eine einheitliche betrachten, insofern die Sedimentierung ohne wesentlichen Wechsel der äußeren Bedingungen sich vollzog. Immerhin aber besteht im Kupferschiefer, wie schon oben gezeigt worden ist, von unten nach oben ein allmählicher Wechsel in seinem Erzgehalt nicht nur der Menge, sondern auch der Art nach. Es ist daher notwendig, das Vertikalprofil näher zu betrachten und es nach physikalisch-chemischen Richtlinien zu erklären. Man vergleiche hierzu die Abb. 10 u. 11 auf S. 90 u. 91.

Man kann annehmen, daß nach der Klimaänderung in dem das mitteldeutsche Kupferschiefermeer umsäumenden Festlande die Erze, die dort in geologischen Perioden sich angehäuften hatten, verhältnismäßig rasch ausgelaugt wurden, so daß in geologisch relativ kurzer Zeit der Gehalt an Erzen und insbesondere an den wertvollen edlen Erzen sich wesentlich vermindert hatte, da diese allein in der Zementationszone, also auf vertikal engem Raum, wesentlich angereichert gewesen waren. Demnach müßte sich auch bei der Sedimentation eine rasche Abnahme und Veränderung des Gehaltes an edlen Metallen und ein immer stärkeres Hervortreten der unedleren Metalle in späterer Zeit bemerkbar machen, das heißt, es müßten die edleren Metalle Silber und Kupfer in den untersten Lagen besonders stark angereicht sein und nach oben rasch abnehmen, während die unedlen Metalle auch in den höheren Lagen noch in verhältnismäßig großen Mengen vorhanden wären. Auch die regionale Verbreitung der edleren Erze hängt mit der Metallzufuhr in der späteren Zeit aufs engste ab. Die Kupfer- und Silberführung in den höheren Lagen hat sich daher mehr und mehr auf die verhältnismäßig landnahen Gebiete beschränkt. Daß auch in den höheren Lagen des Kupferschiefers reichlich Schwefelwasserstoff für die Fällungen im Meer zur Verfügung stand, beweist das Vorkommen z. B. von Eisenkies in diesen Schichten. Diese Untersuchungen lassen sich jedoch nur in sekundär wenig veränderten Teilen des Kupferschiefers, in den rückenfreien Lagen, gut durchführen.

In der Tat ist dies der Fall. In der tiefsten Lage, der Feinen Lette, findet man tatsächlich den relativ reichsten Silbergehalt, während das Verhältnis zwischen Kupfer und Silber nach oben sich rasch zu Ungunsten des Silbers verschiebt. Es hängt dies damit zusammen, daß die Ausfällung des Silbers eine in kurzer Zeit viel gründlichere war als für das Kupfer, weil eben die Löslichkeit des Silbers und damit seine Fähigkeit, sich längere Zeit, ohne niedergeschlagen zu werden, zu erhalten, sehr viel geringer war als die des Kupfers. Das elektropositive, aber den edlen Metallen noch zunächst stehende Blei erreicht erst in der Kammschale das Maximum seiner Ausscheidung und nimmt dann rasch wieder ab, beim Zink ist es gar erst im Kopf erreicht und die Ausscheidung sinkt dann wesentlich langsamer als bei den vorhergehenden edleren Metallen. Das Eisen verändert sich nur ganz allmählich in den höheren Lagen. In den untersten Schichten ist Schwefelkies kaum in wesentlichen Mengen vorhanden, während er erst in den unteren Lagen der Dachberge, aber auch weiter oben, in Form von größeren und kleineren Konkretionen als sogenannte Hieken ausgeschieden worden ist. Für die höheren Schichten kommt in Betracht, daß das Eisen auch in Form von Karbonat im Gestein enthalten sein kann.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, daß also nicht eigentlich der Bitumengehalt die Ausscheidung der Erze erzeugt hat, und daß die Parallelität



zwischen Bitumengehalt und Kupfer-Silbergehalt auf einem Zufall und auf keiner strengen Gesetzmäßigkeit beruht. Kupfer-Silber wäre zweifellos auch ausgefällt worden, wenn der Prozentgehalt des Bitumens im Kupferschiefer erheblich geringer gewesen wäre. Wesentlich für die Ausscheidung der Erze war in erster Linie die hohe Menge an Schwefelwasserstoff im Meerwasser. Dieser aber hat auch noch in den höheren Lagen des Kupferschiefers, z. B. in den Dachbergen seine Wirksamkeit behalten, obwohl der Bitumengehalt ein wesentlich geringerer war als in den untersten an Kupfer und Silber reichsten Schichten. Es wäre auch in den oberen Lagen des Kupferschiefers sicherlich noch Kupfer und Silber in großen Mengen weiter ausgeschieden worden, wenn die betreffenden Metalle noch in entsprechenden Quantitäten im Meerwasser enthalten bzw. ihm

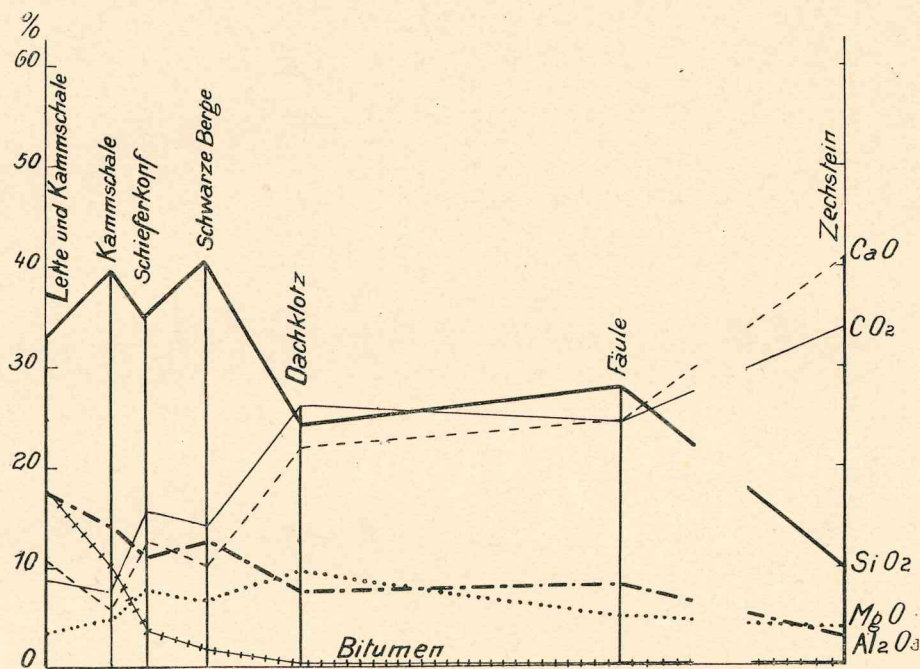


Abb. 11. Verteilung des Gehaltes an Bitumen, Kieselsäure, Tonerde, Kalk, Magnesia und Kohlendioxid auf die verschiedenen Schichten des Unteren Zechsteins im Bereich der Mansfelder Mulde.

Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten sind im Diagramm berücksichtigt. Die Lage der Linien bezeichnet die Mitte der betreffenden Schichten.

zugeführt worden wären. Dies war aber nicht mehr der Fall, und aus diesem Grunde allein wurde schließlich nur noch das überall vorhandene immer neu zugeführte Eisen in Form von Eisenkies in den Dachbergen und in der Fäule angereichert.

Entsprechend der Ausfällung durch Schwefelwasserstoff bestanden die Erze aus allerfeinsten kolloidalen Mikrolithen, aus Erzpünktchen, die selbst vom Mikroskop kaum scharf gefaßt werden können. Sie bildeten die „Speise“.

Die Erzpünktchen setzten sich zusammen mit Ton, Erdalkalibarbonatkriställchen und Bitumen auf dem Meeresgrund ab und bildeten einen schwarzen Meeresschlick, der allmählich in den festen Mergelschiefer überging, als der er sich uns heute im mitteldeutschen Kupferschiefer darbietet.

Während die Erzlineale und die auf den Rücken in Form von Körnern usw. ausgeschiedenen größeren Erze als sekundäre Bildungen angesprochen werden

müssen, sind die Hieken von Schwefelkies primäre Bildungen, die sich als Kalkkonkretionen mit stärkerer Anhäufung von Erzkörnchen am Rande, mit Erzmantel, erwiesen. Es ist anzunehmen, daß diese Bildungen aus ursprünglichen kugelförmigen Gallerten organischer Körper entstanden sind. Höchst interessant ist die Erzimprägung im Zusammenhang mit Kalk. Daß sie primär ist, beweist das Vorkommen dieser Hieken neben karbonatischen Ausscheidungen, die nicht erzhaltig sind. Auch spricht für ihre primäre Ausscheidung der Umstand, daß sie nur an den Klüften kupferhaltig sind. Letzteres läßt auf sekundäre Umwandlung schließen. Primär aber wurde aus dem Kupferschiefermeer in der Schichthöhe der Hieken offenbar kaum Kupfererz mehr abgeschieden, weil eben der Kupfergehalt des Meerwassers hier schon auf ein Minimum zurückgegangen war.

In der Bildungszeit des Kupferschiefers kann von dem Erzgehalt ein mehr oder weniger geringer Teil in die das Kupferschieferflöz direkt unterlagernden sandigen Schichten hineingesickert sein und sich dort eingelagert haben, wodurch primär gebildetes Sanderz sich entwickeln konnte. Aber höchstens ein kleiner Teil des heute vorkommenden Sanderzes ist auf diese Weise entstanden. Ein anderer Teil ist zweifellos sekundärer, diagenetischer, Herkunft.

Die einzigartigen Verhältnisse, die zu Beginn der Kupferschieferzeit in der Abtragungsmöglichkeit von in geologischen Zeiträumen ungewöhnlich angereicherten Lagerstätten der Randgebiete in das mitteldeutsche Meeresgebiet bestanden, näherten sich nach dem Niederschlag der ersten Metallzufuhren allmählich denen der gewöhnlichen Auslaugung und damit der gewöhnlichen Sedimentation immer mehr. Zwar wurde anfangs noch viel edles Erz im Kupferschiefermeer niedergeschlagen, aber die Mengen nahmen nach den oberen Lagen zu immer mehr ab und erreichten in den Dachbergen oder der Fäule im allgemeinen ihr Ende. Die ursprünglich einzigartigen Verhältnisse hatten normalen Platz gemacht.

Soweit die spärlichen gelösten Erzmengen noch ins Meer verfrachtet wurden, wurden sie schon in der Nähe des Strandes niedergeschlagen und erreichten größtenteils die strandferneren Gebiete des Kupferschiefermeeres überhaupt nicht mehr. Man darf daher erwarten, daß in der Nähe der Küste — jedoch noch innerhalb des von Schwefelwasserstoff erfüllten Meeresteils — der Gehalt an wertvollem Erz auf größere Mächtigkeit anhielt als in den strandfernen Meeresteilen. Daß diese Auffassung zu Recht besteht, wird der anschließende Abschnitt darlegen.

5. Erzgehalt, Mächtigkeit und Wert des abgebauten Kupferschiefers in Mitteldeutschland.

Ein Vergleich der Mächtigkeit der abgebauten Flözteile in den verschiedenen Gebieten ergibt ohne weiteres, daß die Sedimentation im Kupferschiefer mindestens, was die erzreichen Teile anbelangt, in den strandferneren Teilen viel geringer war als in den strandnäheren.

So zeigt im Westen des Thüringer Waldes, bei Salzungen, die Lette, die an sich schon mit 1,5 % Kupfer nur eine geringe Erzführung aufweist, nur 1 bis 1½ cm Mächtigkeit, während die darüber folgenden Schichten des unteren und oberen Schieferkopfes bei 0,5 bis 0,7 bzw. 0,2 bis 0,3 % Kupfergehalt 8 bis 9 bzw. 7 bis 8 cm Mächtigkeit haben. Es kommt also für den Vergleich der kupferreichen Schichten höchstens die unterste Lage mit 1 bis 1½ cm in Frage.

Gänzlich ähnlich liegen die Verhältnisse am westlichen Harz, wo bei Lutter die unterste Lage, die Lochschicht, nur 1½ bis 2 cm, die Lochschale 2 bis 2½ cm und der Kopf bis 7 cm Mächtigkeit zeigen. Die Abbauhöhe des Erzes war hier durchschnittlich 7,5 bis 8 cm, der Metallgehalt 1½ bis höchstens

2 $\frac{1}{2}$ % Kupfer. Über den Silbergehalt ist nichts mitgeteilt. Wie von anderen Stellen bekannt, ist er so niedrig, daß er die Verhüttungskosten nicht lohnte.

Ganz anders bei Mansfeld und Eisleben. Unter normalen Verhältnissen sind „in den Hettstedt-Gerbstädter Revieren in der Regel nur das Lochen mit der Lochschale und dem Schieferkopfe, in den Eislebener Revieren immer nur die Lette, zum Teil mit, zum Teil ohne Kammschale, selten aber mit dem Kopfe Gegenstand der nutzbaren Gewinnung, und die Mächtigkeit dieser nutzbaren Schieferhöhe wechselt in den ersteren zwischen 7 und 10 cm, in den letzteren zwischen 8 und 10 cm ohne die Kammschale, zwischen 8 und 12 cm mit der Kammschale, und zwischen 8 und 17 cm mit der Kammschale und dem Kopfe.“ Die durchschnittliche Metallführung der verarbeiteten Schiefen beträgt ca. 2,7 bis 3,1 % Kupfer und 0,0135 bis 0,017 % Silber.

„Über der Kammschale und dem Schieferkopfe tritt auch der Erzgehalt zurück, und nur stellenweise, namentlich in der Nähe von Rücken und besonders in den Eislebener Revieren, zeigen die schwarzen Berge und der Dachklotz bis in die Fäule noch einen Gehalt von Bedeutung, der bis auf 2 % Kupfer und darüber steigt und die Gewinnung lohnt.“ Der Metallgehalt der angelieferten Dachberge allein beträgt ca. 1,53 % Kupfer und 0,0063 % Silber.

Diese normalen Verhältnisse werden durch das Auftreten der Rücken etwas kompliziert, da an ihnen sich die Erzmengen bisweilen gestaut haben und eine größere Mächtigkeit der erzreichen und damit abbauwürdigen Lagen ergeben.

Faßt man den Durchschnitt des überhaupt vom Mansfeld-Eisleber Bergbau gelieferten Metalls ins Auge und nimmt ihn zu 2,7 % Kupfer an, so ergibt sich eine Flözmächtigkeit von durchschnittlich 22 cm (bei 16 kg mittlerem Kupfergehalt auf den qm und 2,7 spez. Gewicht des Gesteins). Hierbei sind Rückenpartien und rückenfreie Flächen zusammengerechnet, genau so wie dies allgemein bei den älteren Angaben über die Produktion üblich war. Schon hieraus ergibt sich ein gewaltiges Anschwellen der abbauwürdigen Mächtigkeit des Gesteins auf das Mehrfache gegenüber den Verhältnissen am westlichen Thüringer Wald und am Harz.

Noch günstiger liegen die Verhältnisse bei dem etwas gegen die alte Küstenlinie vorgeschobenen Bottendorfer Vorkommen. Hier sind die sorgfältig zusammengestellten Ausbeutezahlen vom dortigen einstigen Bergamt nach langjährigen Mittelwerten zu 2,875 % Kupfer und 0,014 % Silber berechnet worden. Die Einzelangaben von meist vieljährigem Betriebe an den verschiedenen Stellen des Bergbaues gehen noch beträchtlich höher. Die wichtigste Angabe aber ist, daß die niederste Mächtigkeit des abgebauten Flözes 26—31 cm betrug, daß aber bis 57 cm mächtige Schichten abgebaut wurden, wie während ca. 30 Jahren bergbaulicher Tätigkeit im Kesselföz. Als Durchschnitt des verhütteten Erzes nennt Erdmenger, der nachmalige langjährige Bergwerks-Dirigent der Mansfeldschen Gewerkschaft, die ganzen Schwarzen Schiefen und 30 bis 40 % der Braunen Schiefen, was zusammen einer durchschnittlichen Flözmächtigkeit von 32 bis 41 cm entspricht. Das ergibt eine viel größere Mächtigkeit bei gleichem Erzgehalt gegenüber Mansfeld-Eisleben.

Dieser Erzgehalt kann aber bei Weglassung der geringhaltigen, nach Erdmenger nur 1 bis 2 % Kupfer liefernden Braunen Schiefen wesentlich gesteigert werden. Nimmt man an Stelle von 32 bis 41 cm nur 22 cm abgebaute Mächtigkeit an, also dieselbe Durchschnittszahl, wie für Mansfeld-Eisleben errechnet, so würde diese zweifellos, weil wesentlich höher im durchschnittlichen Erzgehalt, denjenigen von Mansfeld ganz erheblich überragen. Es ergibt sich somit ganz einwandfrei, daß in der Tat der Erzgehalt in Richtung gegen das alte erzführende Festland zu im mitteldeutschen Kupferschiefer zunimmt, und zwar der Silbergehalt wesentlich rascher als der Kupfergehalt, bzw. daß, auf

Mächtigkeiten berechnet, die abbauwürdige Mächtigkeit bei gleicher durchschnittlicher Erzausbeute gegen das Festland zu immer mehr zunimmt.

Schließlich sei noch derjenige durch früheren Kupferschieferbergbau bekannt gewordene Punkt besprochen, der im Verhältnis zur alten Küste am weitesten nach Südosten vorgeschoben ist, aber noch nicht die strandnahen und daher wieder ungünstigeren Sedimentationsbedingungen für Erz aufweist: Ilmenau. Hier ließ sich für den neunjährigen Durchschnitt ein noch höherer Silbergehalt errechnen im Verhältnis zu Kupfer, als bei allen anderen Vorkommen. Er beträgt 0,873 kg Silber auf 100 kg Kupfer. Die Mächtigkeit des abgebauten Flözes wird in mehreren Angaben des eifrigen Förderers und ehemaligen ersten weimarischen Bergbeamten Voigt, einer geologisch ersten Autorität der damaligen Zeit, auf 70 bis 75 cm bestimmt. Hieraus ergibt sich wiederum eine erhebliche Zunahme des erzreichen Teils des Flözes und eine ganz besondere Zunahme des Silbergehaltes gegenüber Bottendorf und Mansfeld-Eisleben.

In nächster Nähe der Küste muß, wie angegeben, infolge des geringeren Schwefelwasserstoffgehalts des Meerwassers die Gesamtmenge der ausgeschiedenen Erze abnehmen, der Silbergehalt aber doch verhältnismäßig zunehmen, wenn das Gesetz gültig sein soll. In der Tat ist in den Kupfererzen, soweit sie bei Kamsdorf gewonnen wurden, ein verhältnismäßig sehr hoher Silbergehalt gefunden worden, nämlich auf 2 Pfund Kupfer 0,02 Pfund Silber, was 1 % Silbergehalt entspricht, der höchsten irgendwo beobachteten Zahl.

Durch diese Angaben ist also das schon chemisch geklärte Gesetz, daß der Silbergehalt und die abbauwürdige Mächtigkeit des Flözes in Richtung gegen die alte Küste zunehmen müsse, durch die in der Natur vorgefundenen Verhältnisse vollauf bestätigt.

Die Zunahme des Silbergehaltes von Nordwesten gegen das Küstengebiet des mitteldeutschen Teiles des Kupferschiefermeeres drückt sich noch besser aus, wenn man das Verhältnis von Kupfer zu Silber in Rechnung zieht. Dieses Verhältnis ist an den verschiedenen Orten, wie schon betont worden ist, jeweils auffällig gleichartig und hat nur ganz geringe Schwankungen ergeben. Das zeigt schon die Produktionsstatistik der Mansfeldschen Gewerkschaft an Kupfer und Silber, die nebenan zu graphischer Darstellung gebracht ist. Im Mittel haben die Mansfeld-Eisleber Reviere von jeher ca. 5 kg Silber auf die Tonne Kupfer oder $\frac{1}{200}$ des Kupfergehalts geliefert. Vergleiche Abb. 12.

Genau dieselbe Verhältniszahl ergibt sich für Bottendorf, wenn man die Braunen Schiefer einrechnet. Ließe man diese aus der Berechnung jedoch weg und berücksichtigt man, daß in den unteren Lagen des Kupferschieferflözes, wie nachgewiesen, der Silbergehalt im Verhältnis zum Kupfergehalt viel mehr angereichert ist, so würde hier ein höherer relativer Silbergehalt sich ergeben.

Für Richelsdorf, für das allein genauere relative Zahlen vorliegen, ist der Silbergehalt zu höchstens 1:1000 anzunehmen, also durchschnittlich nur etwa ein Fünftel dessen von Mansfeld-Eisleben.

Für Ilmenau endlich ist durch jahrelangen Betrieb erwiesen, daß das Verhältnis Kupfer zu Silber 8,73:1000 ist. Es ist also hier der relative Silbergehalt gegenüber demjenigen von Mansfeld und Eisleben auf über das $1\frac{1}{2}$ fache gestiegen.

Diese Angaben, die rein auf vorsichtigst ausgewählten und von früheren ersten Autoritäten des Kupferschieferbergbaues bzw. auf von den staatlichen Behörden festgelegten Zahlen beruhen, vermögen nur das zu bestätigen, was auf rein theoretischem, physikalisch-chemischem Wege gefunden worden war. Theorie und Befund an Ort und Stelle gehen also völlig Hand in Hand. Es ergibt sich somit, daß in dem ganzen Gebiet, das sich um das Erzgebirge gruppiert, der Erzgehalt im mitteldeutschen Kupferschiefer sowohl der Menge wie der Mächtigkeit nach mit Annäherung an die alte Küste sich erhöht.

Die weitere Folgerung ist daher, daß in den weiten Gebieten Mitteldeutschlands, in denen der Kupferschiefer in einigen hundert Metern Tiefe unter der Erdoberfläche verborgen liegt, und die in einer Zone sich ausdehnen, die südöstlich einer durch das Mansfeld-Eisleber Gebiet parallel zur Küste des Kupferschiefermeeres, also in nordöstlicher Richtung verlaufenden Geraden liegt, der Kupfer- und Silbergehalt mindestens ebensohoch oder aber höher ist, und

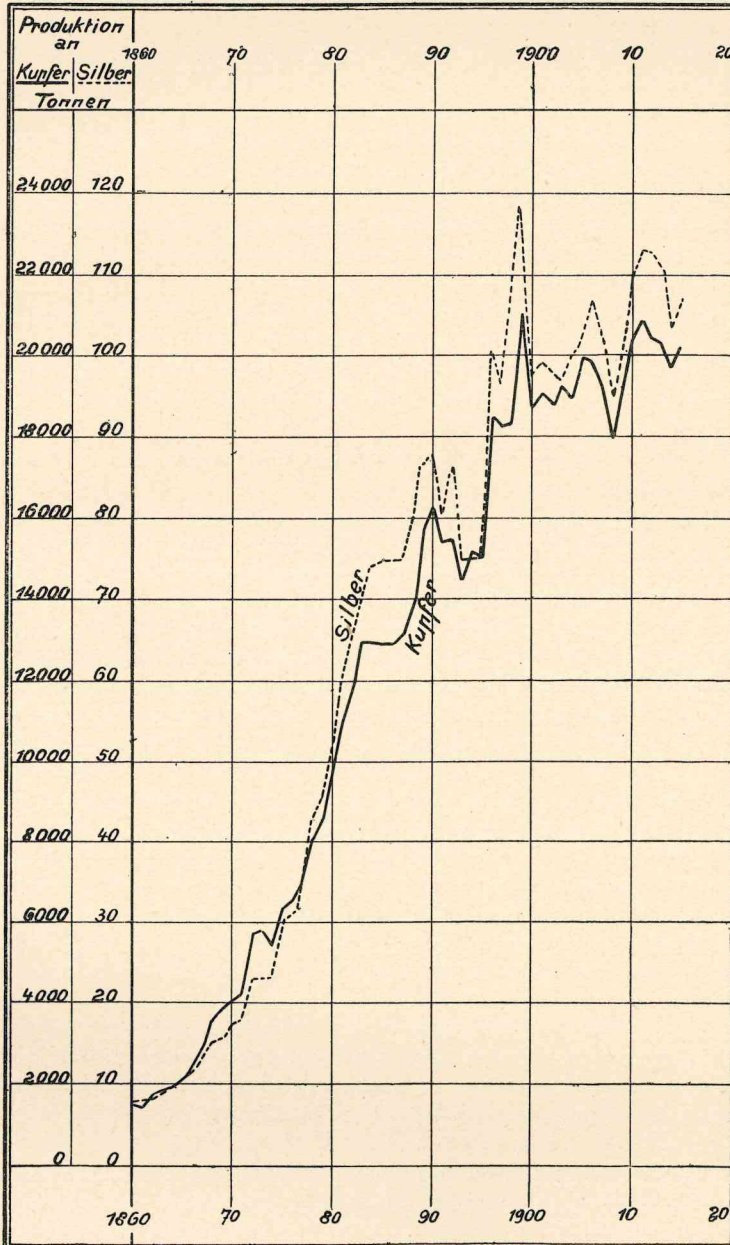


Abb. 12. Diagramm der Kupfer- und Silbergewinnung der Mansfeldschen Gewerkschaft für die Jahre 1860—1915 unter Voraussetzung einer Beziehung zwischen Kupfer und Silber im Verhältnis von 200 : 1.

daß die Mächtigkeit der abbauwürdigen Schichten mit Zunahme an das alte Festland — unter Ausschluß der dem Festland zunächst liegenden wieder ungünstigeren Zone — sich erhöht. Man muß also mit der alten Auffassung brechen, als sei nur bei Mansfeld und Eisleben Kupferschieferbergbau möglich. Es sind vielmehr weite Gebiete in Mitteldeutschland, die nur infolge ihrer Überdeckung durch andere Schichten bisher unberücksichtigt geblieben sind, ebenso wertvoll und wertvoller als die in dem Mansfelder Gebiet vorhandenen Lager.

Wie schon weiter oben betont wurde, reicht die Zone mit reichem Erzgehalt nicht bis direkt an die alte Küste heran, sondern hier muß entlang einem mehr oder minder breiten Streifen mit einer geringeren Ausfällung der Erze gerechnet werden, weil die Ausscheidungsmöglichkeit für die Erze infolge andersartiger Zusammensetzung des Meerwassers als strandnahes Wasser eine geringere war. Deshalb sind auch die Verhältnisse des Kupferschieferflözes bei Kamsdorf und Gera in bezug auf Erzführung ungünstigere. Man muß also für die Umgrenzung der wertvollsten Kupfererz führenden Gebiete die Gegend der alten Küste ausschalten.

Immerhin bleibt eine Fläche übrig, die eine Tiefenausdehnung von ca. 70 km und eine Längserstreckung von mindestens 100 km besitzt — die Gesamtlängenerstreckung kann gegen Nordosten wegen Fehlens von Aufschlüssen nicht annähernd festgelegt werden —. Die mindestens ebenso wertvolle und zum Teil erheblich wertvollere Fläche abbauwürdigen Kupferschiefers, als die jetzt in Abbau befindlichen Strecken, beträgt somit allermindestens 7000 qkm.

Wie oben dargelegt, ist nur in der hypohalinischen Zone des mitteldeutschen Kupferschiefers Gewähr dafür vorhanden, daß der Erzgehalt in der ursprünglich abgesetzten Menge, und höchstens lokal unter dem Einfluß von Klüften und Verwerfungen etwas verlagert, vorhanden ist. Nur diese Partien sind daher zum Abbau zu empfehlen. Denn je näher der Erdoberfläche man abbaut, desto eher ist mit Auslaugungen und stärkeren Umlagerungen zu rechnen, desto eher folgen reiche und weniger reiche oder gar taube Partien aufeinander.

Von ganz besonderer Wichtigkeit aber erscheint es mir, daß das Kupferschieferflöz nur in der hypohalinischen Zone abgebaut wird, da hier mit einem völlig trockenen, von Hangendwässern durchaus freien Abbau gerechnet werden kann. Man kann somit dadurch, daß man nur unter dem überlagernden Salzgebirge abbaut, die Fragen der Wasserhaltung vernachlässigen und deren Kosten ersparen, wie dies auch in den Kalibergwerken der Fall ist. Dadurch läßt sich der Bergbau wesentlich verbilligen. Denn überall, wo Wässer von oben zudringen, sind nicht allein für die Wasserhaltung große Ausgaben nötig, vielmehr treten infolge der durch den Bergbau angeregten Zirkulation der in der Tiefe lagernden und dahin sickernden Wässer weitere Auswaschungen im Salz- und Gipsgebirge auf und führen zur Hohlrumbildung und in deren Gefolge zu Bergschäden, sondern es kann auch das Abpumpen des Grundwassers zu Wasserentziehung bei den anliegenden Gemeinden und Gütern führen und endlich kann das aus den Gruben entfernte Wasser die Versalzung von Flüssen veranlassen und damit neue rechtliche Schwierigkeiten schaffen. All das ist vermieden, wenn man sich auf die hypohalinische Zone beschränkt. In dieser Hinsicht ist die Mansfeldsche Gewerkschaft ungünstig gestellt, über die allgemein Krusch angibt: „Diese Unkosten von Mansfeld sind, soweit Bergbau, Wasserhaltung und Förderung in Frage kommen, recht hohe, zum Teil in der alten Organisation begründete.“

Aber noch ein praktisch bedeutsamer Punkt ist zu berühren. Für die Praxis ist es nicht allein wertvoll, den Kupfergehalt zu kennen, sondern auch den Silbergehalt sorgfältig zu berücksichtigen, obwohl er bei Mansfeld-Eisleben

durchschnittlich nur $\frac{1}{200}$ desselben ausmacht. Zurzeit beträgt der Kupferpreis ca. 1500 Mark für 100 kg, der Silberpreis für den hundertsten Teil, für 1 kg aber schon ungefähr 1000 Mark, das heißt zwei Drittel des Kupferpreises. Der geringe Silbergehalt des Erzes von Mansfeld-Eisleben genügt also, um den Gewinn um ein volles Drittel zu erhöhen. Ist der Silbergehalt so niedrig, wie etwa bei Richelsdorf, daß sich die Ausscheidung nicht lohnt, so fällt dieses Drittel an Mehrgewinn weg. Ist aber der Silbergehalt so hoch wie bei Ilmenau, nämlich $\frac{1}{125}$ des Kupfergehaltes, so erhöht sich der Gewinn aus dem Silber um fast die Hälfte des Wertes der Kupferproduktion.

So ergeben bei

Richelsdorf	100 kg Kupfer	einschl. 0	kg Silber	1500 Mark	Bruttogewinn
Mansfeld	. 100	„ „	0,5 „ „	2000	„ „
Ilmenau	. 100	„ „	0,875 „ „	ca. 2375	„ „

Endlich ist auf den höchst wichtigen Punkt hinzuweisen, daß der Kupfergehalt nicht allein nach seinem Prozentgehalt, sondern zugleich auch nach der Mächtigkeit des Flözes zu berechnen ist. Erst bei Berücksichtigung der Flözmächtigkeit kann man eine Übersicht über den Wert einer Lagerstätte erhalten. Wie im Steinkohlenbergbau und noch mehr im Braunkohlenbergbau geringmächtige Flöze nicht abbauwürdig sind, da sie im Verhältnis zu dem zu erzielenden Gewinn zu hohe Abbaukosten verursachen, so ist die Abbauwürdigkeit des Kupferschiefers von der Mächtigkeit des haltigen Flözes abhängig; die Rentabilität erhöht sich mit der Mächtigkeit des Flözes.

Denn die Unkosten für das Hauen des Flözes verändern sich nicht, ob das Flöz schwach oder mächtig ist. Um überhaupt an das Flöz herankommen zu können, ist der Bergmann gezwungen, nicht nur das Flöz mit gültigem Schiefer, der bei Mansfeld und Eisleben im rückenfreien Gebiet nur ca. 8 bis 11 cm beträgt, herauszuberechnen, sondern zur Herstellung seines Arbeitsraums noch einen Teil des Nebengesteins abzubauen, und zwar so weit, daß dem Häuer wenigstens im Liegen das Arbeiten möglich ist. Als zweckmäßigste Höhe werden 50 bis 60 cm ausgehauen. Schon aus dieser Zahl erkennt man, daß auch dann, wenn das Flöz erheblich mächtiger ist, keine besondere Arbeit erforderlich ist. Es kostet also der Abbau ebensoviel, ob das Kupferschieferflöz mächtig oder dünn ist.

Höchstens könnte bei Verhüttung des ganzen abgebauten Teiles ein Bergewersatz durch fremdes Material erforderlich werden, was jedoch nur geringe Mehrkosten verursachen würde.

Berechnet man danach die auf 1 Quadratmeter Fläche abgebauten Metallmengen in den verschiedenen Gebieten, so ergeben sich folgende Werte:

Bei Salzungen enthält 1 qm Fläche bei 2 cm durchschnittlicher Flözmächtigkeit und $1\frac{1}{2}\%$ Kupfergehalt ca. 0,8 kg Kupfer.

Bei Seesen enthält 1 qm Fläche bei 8 cm durchschnittlicher Flözmächtigkeit und $2\frac{1}{2}\%$ Kupfergehalt ca. 5,4 kg Kupfer.

Bei Mansfeld enthält 1 qm Fläche bei 22 cm durchschnittlicher Flözmächtigkeit, $2,7\%$ Kupfergehalt und $0,0135\%$ Silbergehalt ca. 16 kg Kupfer und 0,080 kg Silber.

Bei Bottendorf enthält 1 qm Fläche bei über 32 cm durchschnittlicher Flözmächtigkeit, $2,8\%$ Kupfergehalt und $0,014\%$ Silbergehalt über 24,2 kg Kupfer und 0,121 kg Silber.

Bei Ilmenau enthält 1 qm Fläche bei über 50 cm durchschnittlicher Flözmächtigkeit, $2,8\%$ Kupfergehalt und $0,0245\%$ Silbergehalt über 37,8 kg Kupfer und 0,330 kg Silber.

Die entsprechenden Bruttogewinne auf den Quadratmeter abgebauten Flözes betragen danach, nach heutigen Metallpreisen (1500 M. für 100 kg Kupfer, 1000 M. für 1 kg Silber) berechnet, für

Salzungen	12 M.
Seesen	81 „
Mansfeld	320 „
Bottendorf	über 484 „
Ilmenau	„ 897 „

Diese kurze Zusammenstellung, die für die alten Abbau-Gebiete von Bottendorf und Ilmenau mit äußerster Vorsicht aufgestellt ist und nur Minimalzahlen nennt, weist aufs klarste nach, wie sehr der wirtschaftliche Wert der Lagerstätten von der Lage des Kupferschiefers in der Nähe der einstigen Küste des Kupferschiefermeeres in Mitteldeutschland abhängt.

Nur muß man sich hüten, in den nur wechselnden Erfolg liefernden oberen Teufen abzubauen, wie dies leider in früheren Zeiten und auch wiederholt im vergangenen Jahrhundert versucht worden ist. Wenn man schon den Kupferschiefer ausbeuten will, dann ist es erforderlich, von vornherein die hypohalinische Zone desselben, also die Tiefen unter dem Salzgebirge aufzusuchen. Nur hier, aber auch mit Sicherheit hier wird der Bergmann dann den gewünschten und erwarteten Erfolg finden.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Die Erze des mitteldeutschen Kupferschiefers sind ursprünglich rein syngenetische, mit dem bituminösen Mergelschiefer gleichaltrige, Ablagerungen.
2. Eine nachträgliche, epigenetische, Zuwanderung von Erzen von oben oder unten hat in dem von Salz- und Gipsgebirge bedeckten Kupferschiefer nicht stattgefunden.
3. Die Anreicherung und Verarmung des Erzgehaltes an den Rücken sind die Folge sekundärer Lateralsekretion, d.h. der im wesentlichen in horizontaler Richtung erfolgten Umsetzung der Erze unter dem Einfluß von Lösungen, die in der Kreide- oder Tertiärzeit infolge chemischer Umwandlungen aus dem Salzgebirge austraten und im Kupferschiefer auf Klüften und Spalten eindringen, wodurch die Umlagerungen und Kornvergrößerungen (Sammelkristallisation) erfolgten.
4. Durch diese Lösungen wurden auch die Reichsulfide und die Absätze von Gediegen Kupfer und Silber unter Reduktionswirkung des im Kupferschiefer enthaltenen Bitumens gebildet und u. a. auch Kalziumsulfat in ihm ausgeschieden. Die Annahme, daß es sich hierbei um Bildungen der Zementationszone handle, die an den Grundwasserspiegel gebunden ist, ist abzulehnen.
5. Die unter Salz und Gips bzw. Anhydrit liegenden Schichten des Kupferschiefers sind bis heute vom Zutritt des Grundwassers unbeeinflusst geblieben. Die unter dem Salzspiegel sich erstreckenden Schichten wurden daher als in der hypohalinischen Tiefenzone liegend zusammengefaßt.
6. Die epihalische Zone, in der Gips und Salz als überlagernde Schichten fehlen, — das Aschengebirge — kann bis in mehrere hundert Meter Tiefe reichen. In dieser Zone vermag das Grundwasser als Tiefenwasser den Kupferschiefer zu erreichen, wie durch die

Wasserzuflüsse beim Bergbau in dieser Zone bewiesen wird. Hier haben weitere Umlagerungen der Erze und, in gegen oben zunehmendem Maße, Auslaugungen stattgefunden, so daß eine gegen die Erdoberfläche zunehmende Vertaubung von Teilen des Kupferschiefers und eine Anreicherung an andern Stellen eintrat. Da das Tiefenwasser, das die Salze in der Tiefe gelöst und weggeführt hat, auch die Erze zu lösen vermag, so ist jedenfalls im großen Ganzen eine Verarmung eingetreten, weil eine dauernde Wegfuhr von Erzlösung durch Austritt der Tiefenwasser nach oben erfolgen konnte.

7. Die in Höhe des Grundwasserspiegels sonst auftretende sehr wichtige Zementationszone ist hier nicht zu erkennen. Die über dem Grundwasserspiegel liegende, dem Einfluß des Sauerstoffs der Luft unterstehende Oxydationszone liefert Malachit, Kupferlasur usw. In ihr und in der schließlich nach oben folgenden Detritationszone findet allmählich eine völlige Auslaugung des Metallgehaltes statt.

8. Die einzigartig reiche Sedimentierung von Kupfer, Silber usw. im mitteldeutschen Kupferschiefer setzt eine einzigartige Verkettung von günstigen Umständen voraus.

9. Erste Vorbedingung für die Anreicherung der Erze war die lange geologische Zeiten hindurch von der Oberkarbonzeit bis zum Ende der Rotliegendzeit erfolgende intensive, vorzugsweise mechanische Abtragung von emporragendem Gebirgsland im Südosten Mitteldeutschlands, auf dem nachmaligen Vindelizischen Land, das sich quer durch Süddeutschland bis Sachsen und Böhmen in nordöstlicher Richtung hinstreckte. In dieser Zeit, in der ganz Mitteleuropa ein gewaltiges Festland bildete, das unter ariden Bedingungen lag und daher ohne Verbindung mit dem Weltmeere war, konnten sich die Erze hier in einer damaligen — unter der Erdoberfläche nahe dem Grundwasserspiegel liegenden — Zementationszone anhäufen, und das insbesondere in einem an Erzen so reichen Landesteil, wie dem Erzgebirge, das einen Teil des Festlandes bildete.

10. Mit dem Eindringen des Kupferschiefermeeres über das Festland Mitteleuropas wurde das Klima feuchter, und es konnten nunmehr die Erze, die auf dem Vindelizischen Land sich durch geologische Zeiten angereichert hatten, durch Flüsse ins Kupferschiefermeer hinausgetragen werden.

11. Im Kupferschiefermeer lebte eine ziemlich eintönige Fauna von Schalthieren und Fischen, vor allem aber muß das Meer ein reiches Planktonleben besessen haben, wie u. a. aus dem hohen Bitumengehalt des Kupferschiefers geschlossen werden kann.

12. Die abgestorbenen Tiere und insbesondere die schalenlosen und daher durch struierte Reste fossil nicht nachweisbaren Lebewesen des Planktons sanken auf den Grund des Meeres und entwickelten bei der Zersetzung der organischen Substanz Schwefelwasserstoff, der die tieferen Schichten des Meeres völlig erfüllte und hier aerobes Leben nicht mehr zuließ. Der Schwefelwasserstoff aber gab auch die Veranlassung zur Ausscheidung der Erze.

13. Zunächst der ganz ungefähr über Koburg, Gera und Borna verlaufenden Küste des Kupferschiefermeeres erreichte die Konzentration des Meerwassers an Schwefelwasserstoff nicht die genügende Höhe, um eine kontinuierliche Ausscheidung der Erze hervorzurufen. Es entstand ein verhältnismäßig erzarmer küstennaher Streifen.

14. Wegen der verschiedenen „edlen“ Eigenschaften der im Kupferschiefer enthaltenen Metalle wurden diese in verschiedener Weise im strandferneren, von Schwefelwasserstoff erfüllten Meere niedergeschlagen: am raschesten und daher hauptsächlich zunächst der Küste, neben Spuren von Gold, das Silber und in allgemeinerer Verbreitung das Kupfer, weiter auch Blei und Zink, sowie Eisen, alle in Form von Sulfiden. Dementsprechend wurden die Erze, vornehmlich Silber und Kupfer, unregelmäßig über den Meeresboden verteilt.

15. Neben den Metallsulfiden wurden Karbonate unter dem Einfluß von Ammoniumkarbonat, ebenfalls einem Zerfallsprodukt der organischen Substanzen im Kupferschiefermeer, ausgefällt und auf mechanischem Wege Tonmaterial in verhältnismäßig geringen Mengen vom Lande her eingeschwemmt. So ergab sich der erzführende bituminöse Mergel als Gesamtprodukt, als der der mitteldeutsche Kupferschiefer uns bekannt ist.

16. Entsprechend der leichteren Fällbarkeit des Silbers als des Kupfers nimmt der Silbergehalt in den zentraleren Teilen des Kupferschiefers rascher nach Nordwesten ab als der Kupfergehalt. Die wertvollsten Ablagerungen sind daher außerhalb des erzarmen Randstreifens, aber relativ nahe der Küste des mitteldeutschen Kupferschiefermeeres zu erwarten.

17. Entsprechend der Auslaugung auf dem Lande sind zuerst die an edlen Metallen reichsten Wässer ins Meer ausgetreten und in ihm niedergeschlagen worden, während später die Lösungen immer mehr an diesen wertvollen Erzen verarmten. Deshalb wurden auch am Grunde des Kupferschiefermeeres zuerst die an Kupfer und Silber reichsten Sedimente niedergeschlagen, während nach oben zu der Gehalt an diesen edlen Erzen immer mehr abnahm, und zwar der Silbergehalt rascher als der Kupfergehalt, und dieser wieder rascher als der Blei- und der Zinkgehalt. Je geringerhaltig die ins Meer austretenden Lösungen waren, desto weniger weit können die Erze im Meere von der Küste aus gelangt sein. Deshalb können die höheren Schichten höchstens in der Nähe außerhalb des Küstenstreifens noch wertvollen Erzgehalt aufweisen, während die weiter entfernten Meeresgebiete keine Sedimentation an größeren Kupfermengen mehr zeigen. Daher nimmt die Mächtigkeit des erzreichen Flözes mit Annäherung an die Küste — unter Ausscheidung des erzärmeren Grenzstreifens — immer mehr zu und nach Nordwesten immer mehr ab.

18. Daraus ergibt sich, daß im mitteldeutschen Kupferschiefer in einer Zone, die sich um das Erzgebirge als Zentrum gruppiert, der Wert der Lagerstätte wegen Zunahme der abbauwürdigen Mächtigkeit und wegen rascherer Zunahme des wertvollen Silbergehaltes als des Kupfergehaltes nach Südosten immer mehr steigt. Und zwar ist in einer Fläche, die von der Höhe von Mansfeld und Eisleben an gerechnet ca. 70 km Breite und über 100 km Länge erreicht, der Wert des abbauwürdigen Kupferschiefers durchschnittlich mindestens ebenso hoch wie an den genannten Orten oder aber höher. Südöstlich einer Linie, die parallel zur alten Küste durch das Mansfeld-Eisleber Gebiet läuft, schlummert daher im mitteldeutschen Kupferschiefer in breiter Zone eine gewaltige Fläche mit hohem Erzgehalt in der Tiefe.

Literaturverzeichnis.

- Ackermann, K., Ein Besuch des Riechelsdorfer Gebirges im Sommer 1889. Ber. 36 u. 37 des Vereins f. Naturkunde in Kassel. Kassel 1891. S. 23.
- Albert, v., Über die Lagerung und Bauwürdigkeit des Kupferschieferflözes im Herzogtum Anhalt. Berg- und Hüttenmänn. Zeitung XXIII. 1864. S. 261—263.
- Ammon, L. v., Über eine Tiefbohrung durch den Buntsandstein und die Zechsteinschichten bei Mellrichstadt an der Rhön. Bayr. geogr. Jahreshfte XIII. 1900. S. 149—193.
- Baeumler, Über das Vorkommen von Nickelerzen im Mansfeldschen Kupferschiefergebirge. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft. 9. Bd. 1857. S. 25—50.
- Bauer, M., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Ohrdruf 1889.
- Beck, R., Lehre von den Erzlagerstätten. 3. Aufl. 1909. 2. Bd. S. 151—168.
- Berg, Georg, Über die Mikrostruktur einiger Kupferschiefererze. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1919. S. 93—95.
- Bergeat, A., Besprechung von R. Beck, Lehre von den Erzlagerstätten. Centralblatt f. Min. usw. 1901. S. 564—566.
- , Das Meggener Kies-Schwerspatlager als Ausscheidung auf dem Grunde des mitteldevonischen Meeres. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1914. Bd. 22.
- , siehe auch Stelzner-Bergeat.
- Beschreibung der Bergreviere Arnberg, Brilon und Olpe, sowie der Fürstentümer Waldeck und Pyrmont. Herausgegeben vom Oberbergamte zu Bonn. 1890. S. 118—120.
- Beyrich, E., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Ellrich, Nordhausen, Stolberg 1870; Sontra 1876; Frankenhausen, Heringen, Kelbra 1884.
- Beyschlag, F., Über geologische Aufnahmen auf den Blättern Salzung und Altmorschen. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1886. S. XLII.
- , Die Erzlagerstätten in der Umgebung von Kamsdorf in Thüringen. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1888. S. 329—377.
- , Geologische Übersichtskarte der Gegend von Halle a. S. Die Mansfelder Mulde und ihre Ränder. 1893.
- , Die Kobaltgänge von Schweina in Thüringen. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1898. S. 1—4.
- , Beitrag zur Genesis des Kupferschiefers. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1900. S. 115—117.
- , Deutschlands Kalibergbau. Festschrift zum X. Allgemeinen Bergmannstage in Eisenach. I. Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze von H. Everding. Berlin 1907.
- , Die Niederschlesische Kupferformation. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1918. S. 67—73.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Allendorf 1886; Suhl, Schleusingen 1908; Eisenach 1913; Salzung 1914.
- , Die Niederschlesische Kupferformation. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1918. S. 67—73.
- und Fritsch, K. v., Das jüngere Steinkohlengebirge und das Rotliegende in der Provinz Sachsen und den angrenzenden Gebieten. Abh. d. Preuß. Geol. Landesanst. N. F. Heft 10. Berlin 1900.
- , Krusch, P., Vogt, J. H. L., Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine. Bd. I u. II. 1913.
- Bischof, G., Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl. 1864. 3 Bde.
- Bode, A., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Zellerfeld, Seesen, Osterode 1907; Lutter am Berge 1913.
- Bolton, W., Über Kupfervorkommen auf Helgoland. Dinglers polyt. Journ. CCLXXX. 1891. S. 276—277.
- Bornemann, J. G., Aufnahmen auf Sektion Wutha. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1885. S. XXXVIII f.
- Brandes, Th., Sandiger Zechstein am alten Gebirge an der unteren Werra. Centralbl. f. Min. usw. 1912. S. 661.
- Brathuhn, Generalkarte von den gesamten Mansfeldschen Kupferschieferrevieren. 1858.
- Brauns, R., Chemische Mineralogie. 1896.
- Brückmann, P., Die Lagerungsstörungen in der Mansfelder Zechsteinmulde. Meldearbeit 1892. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Bruhns, W., unter Mitwirkung von H. Bücking, Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im Deutschen Reiche. Berlin 1906.
- Buchrucker, A., Der Kupferschieferbergbau und Hüttenbetrieb zu Neu-Mansfeld bei Seesen am Harz. Berg- und Hüttenmänn. Zeitung XXVI. 1867. S. 241—242, 277—279.
- Bücking, H., Die Zechsteinformation bei Schmalkalden. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1882. S. 29—43.
- , Der nordwestliche Spessart. Abh. d. Preuß. Geol. Landesanst. N. F. Heft 12. 1892.
- , Geologische Karte von Preußen. Blatt Schmalkalden 1906.
- , Über einige merkwürdige Vorkommen von Zechstein und Muschelkalk in der Rhön. Festschr. f. A. von Koenen. 1907. S. 1—18.

Buff, Akten des Oberbergamts zu Bonn.

Bunsen, R. W., Molybdän in den Riechelsdorfer Kupferhüttenprodukten. Notizbl. d. Gött. Verbergm. Freunde. 1838. Nr. 13 S. 2, Nr. 15 S. 1—4.

—, Über die Zusammensetzung der Riechelsdorfer Eisensauen. Stud. bergm. Freunde. IV. Notizenblatt Nr. 15. Göttingen 1841. S. 377.

Cancerinus, Fr. L. v., Geschichte und Beschreibung der vorzügl. Bergwerke in Hessen usw. Frankfurt 1767.

Charpentier, J. F. W., Mineralogische Topographie der Chursächsischen Lande. Leipzig 1778.

Clarke, J. M., Naples fauna in Western New York. Pt. II N. Y. State Museum Mem. 6. 1904. S. 200.

Cotta, Bernhard von, Die Lehre von den Erzlagerstätten. 2. Teil: Die Erzlagerstätten Europas. 2. Aufl. Freiberg 1861.

Credner, Vanadinsaures Kupfer. Poggend. Ann. 74. 1848. S. 546.

—, Sitzungsberichte der naturforsch. Gesellschaft zu Leipzig. 1880.

—, Der Boden der Stadt Leipzig. Leipzig 1883.

Dalmer, K., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Leipzig 1882; Lommatzsch-Leuben 1892.

Dames, W., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Wiehe, Ziegelroda 1882.

—, Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissenschaften. 1893. S. 1019—1039.

Danz u. Fuchs, Physisch-medizinische Topographie des Kreises Schmalkalden. Marburg 1848.

Dathe, E., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Rochlitz 1877; Döbeln 1879.

Denckmann, A., Die Frankenberger Permbildungen. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1891. S. 234—267.

Dieulafait, L., Etude chimique des matériaux ramenés par les sondages dans les expéditions du Travailleur et du Talisman; présence constante du cuivre et du zinc dans ces dépôts. Comptes rendus CI, 1885, S. 1297—1300.

Doelter, Handbuch der Mineralchemie. III, 1.

Dorsewagen, Arbeit im Archiv der Geologischen Landesanstalt zu Berlin. Zitiert aus den Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Salzungen 1914.

Dosz, B., Melnikowit, ein neues Eisenbisulfid, und seine Bedeutung für die Kieslagerstätten. Zeitschr. f. prakt. Geol. Bd. 20. 1912.

Drevermann, Über ein Vorkommen von Frankenberger Kupferletten in der Nähe von Marburg. Centrabl. f. Min. usw. 1901. S. 427—429.

Eckardt, P., Bericht über den Stand und die Verwaltung der Industrie- und Badestadt Ilmenau in Thüringen. Ilmenau 1891. S. 91—101.

Eisel, R., Zur Umgebung von Gera. Ein Beitrag zur Kenntnis des dasigen Zechsteingebirges. Zeitschr. f. d. ges. Naturwissensch. Halle 1856. VIII. S. 16—28.

—, Zur Umgebung von Gera. Über dasige Dolomite als Äquivalente des Kupferschiefers. 1859. S. 345—350.

Erdmann, Diskussion. Jahrbuch des Halleschen Verbandes. 1. Heft. 1919. S. 27—29.

Erdmannsdörffer, O. H., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Osterode 1907.

Erdmenger, H. O., Geognostische Verhältnisse des Kupferschieferflözes bei Bottendorf. 1858. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.

—, Der Mansfeldsche Kupferschieferbergbau. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen. 1871.

Everding, H., siehe Beyschlag, F., Deutschlands Kalibergbau.

Faupel, Mischung der Mansfeldschen Kupferschiefer. Hamburger Magazin. Bd. IX, St. 6, S. 572.

Festenberg-Packisch, v., Der metallische Bergbau Niederschlesiens. Wien 1881. S. 75—77.

—, Der deutsche Bergbau. Berlin 1886.

Franke, R., Mansfeldsches Hüttenwesen. Nach dem Stande des Betriebes im Jahre 1914. Halle 1915. 37 S.

—, Neuerungen im Mansfeldschen Hüttenwesen. Jahrbuch des Halleschen Verbandes. 1. Heft. 1919. S. 105—116.

Frantzen, W., Der Zechstein in seiner ursprünglichen Zusammensetzung und der Untere Buntsandstein in den Bohrlöchern bei Kaiseroda. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. 1894. S. 65—121.

Frech, F., Lethaea geognostica II, 3. Die Dyas. 1903—1908.

Freiesleben, Johann Carl, Geognostische Arbeiten. 6 Bände. Geognostischer Beytrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges, mit besonderer Hinsicht auf einen Theil der Grafschaft Mansfeld und Thüringens. 4 Teile. Freyberg 1807—1815.

Frenzel, A., Über Pucherit. N. Jahrb. f. Min. usw. 1872. S. 939.

- Fritsch, K. v., Das Saaletal zwischen Wettin und Cönnern. Zeitschr. f. Naturwissenschaften. Halle 1888. S. 114—142.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Suhl, Schleusingen 1908; Halle a. S. (Süd) 1909.
- , siehe Beyschlag, F.
- Füchsel, J. C., Historia terrae et maris ex historia Thuringiae per montium descriptionem eruta. Erfurt 1761. S. 61—62.
- Fulda, E., Die Oberflächengestaltung in der Umgebung des Kyffhäusers als Folge der Auslaugung der Zechsteinsalze. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1909. S. 25—28.
- , Die Verbreitung und Entstehung der Schlotten in der Mansfelder Mulde. 1912. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Fürer, Über den Kupferschieferbergbau von Niederschlesien. 1885. Manuskript in der Preuß. Geol. Landesanstalt in Berlin.
- Gail, C. H., Austernzucht in den norwegischen Pollern. Naturw. Wochenschrift. N. F. Bd. 8. 1909. S. 830.
- Geinitz, H. B., Über zwei neue Versteinerungen und die Strophalosien des Zechsteins. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1857. S. 207—210.
- , Dyas oder die Zechsteinformation und das Rotliegende. Leipzig 1861—1862. 2 Teile. Nachträge 1880, 1882.
- , Briefliche Mitteilung über Weißliegendes und Zechstein. N. Jahrb. f. Min. usw. 1873. S. 206—207, 406—407.
- , Über die Grenzen der Zechsteinformation und der Dyas überhaupt. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1884. S. 674—676.
- , Zur Dyas in Hessen. Festschr. d. Ver. f. Naturk. in Kassel. 1886. S. 1—8.
- Geipel, Über die Rücken im Mansfeldschen Revier und ihren Einfluß auf die Erzführung des Kupferschiefers. Jahrbuch des Halleschen Verbandes. 1. Heft. 1919. S. 21—27.
- Gerhard, C. A., Versuch einer Geschichte des Mineralreichs. Berlin. 2 Teile, 1781—82.
- Germar, E. F., Über die Fischabdrücke im bituminösen Mergelschiefer der Grafschaft Mansfeld. Leonhardts Taschenbuch. XVIII. 1824. S. 61 ff.
- , Die Versteinerungen des Mansfelder Kupferschiefers. Halle 1840.
- Giebelhausen, Darstellung der Lage und der Aussichten des Bergbaues in den Enklaven von Kamsdorf und Kaulsdorf. 1868. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Goethe, J. W. v. und Voigt, Ch. G., Erste Nachricht von dem Fortgang des neuen Bergbaues zu Ilmenau. Weimar, 24. 2. 1785. 16 S.
- Gräfe, siehe v. d. Heyden.
- Graßmann, Das Riechelsdorfer Kupfer- und Kobaltwerk in Hessen. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen. Bd. XXXIV. 1886. S. 195—207.
- Groddeck, Albrecht von, Die Lehre von den Lagerstätten der Erze. Ein Zweig der Geologie. Leipzig 1879. S. 95—97, 301 u. 302.
- Haack, W., Der Teutoburger Wald südlich von Osnabrück. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1903. 1. Teil. S. 465 f.
- Haarmann, E., Die geologischen Verhältnisse des Piesbergsattels bei Osnabrück. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1909. XXX. 1. Teil.
- Hazard, J., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Leipzig 1882; Zwenkau 1883; Pegau 1885.
- Hecker, J., Erfahrungen über das Vorkommen der Sanderze in den Sangerhäuser und Mansfeldschen Revieren. Zeitsch. f. d. ges. Naturwiss. zu Halle. 1859. S. 445—474.
- Heim, Geologische Beschreibung des Thüringer Waldgebirgs. Meinungen 1806.
- Heine, Geognostische Untersuchungen der Umgegend von Ibbenbüren. Zeitschr. d. D. Geol. Gcs. 1861. S. 149—242.
- ✗ Über den Bergbau und die Erzverarbeitung in Mansfeld. Zeitschr. f. angew. Chemie. 1895. S. 335—337.
- Heuser, A., Versuch einer geognostischen Beschreibung der im Riechelsdorfer Gebirge aufsetzenden Gänge und sog. Veränderungen. v. Leonhards mineral. Taschenbuch. XIII. 1819. S. 311—447.
- Heyden, v. d. und Gräfe, Das Kupferschieferlager in Anhalt. Manuskript nebst Nachtrag, Anhaltisches Staatsministerium in Dessau. 1875.
- Hintze, C., Handbuch der Mineralogie seit 1898.
- Hoffmann, Fr., Beiträge zur genaueren Kenntniss der geognostischen Verhältnisse Norddeutschlands. Berlin und Posen 1823.
- Holzappel, E., Die Zechsteinformation am Ostrande des rheinisch-westfälischen Schiefergebirges. Dissertation Marburg 1879.
- Hörnecke, F., Die Lagerungsverhältnisse des Carbons und Zechsteins an der Ibbenbürener Bergplatte. Dissertation Gießen 1901.

- Hornung, F., Die Regionalmetamorphose am Harz. *Centralbl. f. Min.* 1902. S. 105—109.
 —, Zur Beurteilung der Regionalmetamorphose am Harz und zur Kupferschieferfrage. *Centralbl. f. Min. usw.* 1903. S. 258—263, 358—362.
 —, Formen, Alter und Ursprung des Kupferschiefererzes. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 1904. S. 207.
 Hundt, R., Die Fauna und Flora des Kupferschiefers in der Schiefergasse bei Milbitz unweit Gera. *Neue Zeitschr. f. Min., Geol. u. Paläont.* 1910. Bd. I. Heft 6 u. 7.
- Jänecke, E., Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Braunschweig. 1915. 109 S.
 Jordan, Mineralogische und chemische Beobachtungen und Erfahrungen. Beschreibung des Kupferbergs am Kloster Walkenried. 1800. S. 92f.
 —, Mineralogische, berg- und hüttenmännische Reisebemerkungen. 1803. S. 10.
- Kaiser, E. und Siegert, L., Beiträge zur Stratigraphie des Perms und zur Tektonik am westlichen Harzrande. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f.* 1905. S. 353—369.
 Kayser, E., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Leimbach 1882; Artern, Cönnern, Gerbstädt, Lauterberg, Mansfeld 1834.
 —, Lehrbuch der Geologie. 5. Aufl. 1919.
 Kentman, J., *Nomenclaturae rerum fossilium.* Tiguri (Torgau) 1565. S. 69.
 Kieblingen, J. G., Gegründete Nachricht von dem Bergbau und Schmelzwesen in der Grafschaft Mansfeld. Leipzig 1747.
 Klipstein, A. v., Quecksilber und Nickel in Hessen. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* VIII. 1856. S. 536.
 Klockmann, F., Der geologische Aufbau des sog. Magdeburger Uferrandes, mit besonderer Berücksichtigung der auftretenden Eruptivgesteine. *Jahrb. f. d. Preuß. Geol. Landesanst. f.* 1890. S. 118—256.
 Kloos, J. H., Der Zechstein am nordwestlichen Harzrand. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f.* 1891. S. 126.
 Köhler, G., Die „Rücken“ in Mansfeld und in Thüringen usw. Dissertation Aachen. Leipzig 1905.
 Koken, E., Indisches Perm und die Permische Eiszeit. *N. Jahrb. f. Min. usw.* Festband 1907.
 Kosmann, Das Kupferschieferbergwerk und die Kupferschmelzhütte zu Rottleberode am Harz. *Berg- u. Hüttenmänn. Ztg.* LII. 1893. S. 29—31.
 Krümmel, O., *Handbuch der Ozeanographie.* 1907. Bd. I.
 Krusch, P., Beitrag zur Geologie des Beckens von Münster, mit besonderer Berücksichtigung der Tiefbohraufschlüsse nördlich der Lippe im Fürstlich Salm-Salmschen Regalgebiet. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 1909. S. 264—272.
 —, Die Untersuchung und Bewertung von Erzlagerstätten. 2. Aufl. 1911. S. 204—240.
 —, Die Verteilung des Metallgehalts (Kupfer, Silber, Molybdän und Vanadin) im Richelsdorfer Kupferschiefer, ein Beitrag zur Genesis des Flözes. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* 1919. S. 76—84.
 —, siehe auch Beyschlag, F.
 Kurze, G. A., *Commentatio de petrefactis, quae in schisto bituminoso mansfeldensi reperiuntur.* Halle 1839.
- Lang, R., Über eine Einteilung der nichtmetamorphen Sedimente in Tiefenstufen nach der Ausbildung der Fe- und Al-Mineralien. *Centralbl. f. Min. usw.* 1910. S. 69—76.
 —, Das Vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. *Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturkunde in Württemberg.* 1911. S. 218—259.
 —, Verwitterung und Bodenbildung. Stuttgart 1920. 164 S.
 Lasius, Georg Sigismund Otto, Beobachtungen über die Harzgebirge. Hannover 1789.
 Laspe, Fragmente zur Orographie des Elstertales in der Gegend von Gera. *Leonhards Mineralog. Taschenbuch.* V. 1811. S. 116—146.
 Laspeyres, H., Geognostische Mitteilungen aus der Provinz Sachsen. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 1872. S. 265—360.
 —, Über das Weiß- und Grauliegende im Mansfeldschen und am Südharz. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* XXIV. 1873. S. 265.
 —, Briefliche Mitteilung über den Kupferschiefer, das Grauliegende und das Weißliegende. *N. Jahrb. f. Min. usw.* 1873. S. 402—406.
 —, Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Gröbzig, Petersberg 1874.
 —, Geognostische Darstellung des Steinkohlengebirges und Rotliegenden in der Gegend nördlich von Halle. *Abh. z. geol. Spezialkarte von Preußen.* Bd. I, 3. 1875. S. 472—474.
 Lehmann, Johann Gottlob, Versuch einer Geschichte von Flötzgebirgen. Berlin 1756. S. 163—175.
 Leimbach, A., Die permische Formation bei Frankenberg. Dissertation Marburg 1869.
 Lempe, Joh. Fr., *Magazin der Bergbaukunde.* Dresden 1785—1789. Bd. X. S. 14, 15, 31.
 Leppla, Über die Zechsteinformation und den unteren Buntsandstein im Waldeckischen. *Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f.* 1890. S. 40—82.
 Lepsius, R., *Geologie von Deutschland.* Bd. II. Leipzig 1910. S. 440ff.

- Liebe, K. Th., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Großenstein, Langenberg, Ronneburg 1878; Eisenberg 1879; Neustadt, Pörmnitz, Triptis 1881; Orlamünde 1885; Saalfeld, Ziegenrück 1888; Waltersdorf, Langenbernsdorf, Weida 1893.
- Liebe, Th., Chemische und geognostische Untersuchungen über den Zechstein des Orlatales. N. Jahrb. f. Min. usw. 1853. S. 769—785.
- , Der Zechstein des Fürstentums Reuß-Gera. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1855. S. 406—437.
- , Der Zechstein von Gera. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1855. S. 406.
- , Notizen über den konglomeratischen Zechstein. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1857. S. 407—414.
- Lier, K., Diskussion. Jahrbuch des Halleschen Verbandes. 1. Heft. 1919. S. 31—33.
- Liesegang, R. E., Geologische Diffusionen. 1913. S. 41.
- Linstow, O. v., Das Kupferschieferlager in Anhalt. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1908. S. 56—62.
- Loretz, H., Der Zechstein in der Gegend von Blankenburg und Königsee am Thüringer Walde. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1889. S. 221—245.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Meeder, Sonneberg, Steinheide 1885; Königsee, Schwarzburg 1892; Steinach 1895; Ilmenau 1908.
- Luedecke, O., Die Minerale des Harzes. Berlin 1896.
- Mansfeld'sche Kupferschieferbauende Gewerkschaft, Der Kupferschieferbergbau und der Hüttenbetrieb zur Verarbeitung der gewonnenen Minern in den beiden Mansfelder Kreisen und im Sangerhäuser Kreise der preußischen Provinz Sachsen, unter Berücksichtigung der geognostischen Verhältnisse. Dargestellt von der Ober-Berg- und Hüttendirektion der Mansfeld'schen Kupferschieferbauenden Gewerkschaft. 1881 u. 1889. 125 S.
- Die Geschichte des Mansfeld'schen Kupferschieferbergbaues und Hüttenbetriebes. Festschrift zur Feier des 70jährigen Jubiläums am 12. Juni 1900. Eisleben 1900. 98 S.
- Die Mansfeld'sche Kupferschieferbauende Gewerkschaft. Festschrift zum X. Deutschen Bergmannstage 10. bis 12. Sept. 1907. Der geologische Abschnitt von F. Beyschlag.
- Meinecke, F., Das Liegende des Kupferschiefers. Dissertation Halle 1910, 47 S., und Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1910. Bd. 31, Teil I, Heft 3.
- , „Permfornation“ im Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Bd. III. S. 591.
- Mentzel, H., Der Mansfelder Kupferschieferbergbau. Berg- u. Hüttenmänn. Ztg. 1864 S. 213, 1865 S. 65 ff.
- Meurer, Geologische und bergmännische Verhältnisse der Stadtberger Kupfererzgruben. 1902. Manuskript im Archiv der Clausthaler Bergakademie.
- Middelschulte, A., Über die Deckgebirgsschichten des Ruhrkohlenbeckens und deren Wasserführung. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen. 1902. S. 320—345.
- Mielecki, S. v., Beitrag zu der Geschichte des Bergbaues in den Grafschaften Stolberg und Hohenstein. 3 Teile. ca. 1845. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Samml.
- Mietzsch, H., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Zwickau 1877.
- Moesta, F., Über die geologische Untersuchung der Provinz Hessen. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförd. d. ges. Naturwissensch. zu Marburg. 1872. S. 4—24.
- , Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen. Blatt Gerstungen, Hönebach, Netra, Sontra, Waldkappel 1876; Frankenhausen, Heringen, Kelbra, Mansfeld 1884; Allendorf 1886.
- Müller, Fr., Der Bergmeister Müller begutachtet die Probearbeit über den Stolberger Bergbau des von Mielecki. 1845. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Müller, G., Über Dyas und Trias an der holländischen Grenze. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1902. S. 110—111.
- , Das Ergebnis einiger Tiefbohrungen im Becken von Münster. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1904. S. 7—9.
- , Über die neueren Aufschlüsse im westlichen Gebiete des rheinisch-westfälischen Steinkohlenbeckens. Verh. d. Nat. Ver. f. Rheinland u. Westfalen. 1904. S. 200—211.
- Müller, Louis, Beschreibung der geognostischen und bergbaulichen Verhältnisse eines Teils des Kamsdorfer Reviers, 1858. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Mylius, G. F., Memorabilia Saxoniae subterraneae. Leipzig 1709.
- Nachricht, Fortgesetzte, vom Bergbau zu Ilmenau. Bergm. Journ., Jahrg. VI. Bd. I. S. 362.
- Naumann, E., Entstehung der Erzlagerstätten des Kupferschiefers und Weißliegenden am Kyffhäuser. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. Bd. 54. 1902. Verhandlung-n S. 122.
- , Erläuterungen der geologischen Karte von Preußen. Blatt Eisenach 1913; Salungen 1914.
- Neumann, Der Kupferschieferbergbau und Hüttenbetrieb in der Grafschaft Mansfeld im XVI. Jahrhundert. Berg- und hüttenmänn. Zeitung LIV. 1900. S. 76—80.
- Nordgard, O., Mofjordens Naturforhold. Norske Videnskabers Selskabs Skrifter. 1906. N. 9.
- Ostwald, W., Die wissenschaftlichen Grundlagen der analytischen Chemie. 4. Aufl. Leipzig 1904.
- , Grundriß der allgemeinen Chemie. 5. Aufl. Dresden und Leipzig 1917.

- Ottiliae, Das Vorkommen des Kupferschiefers und der denselben begleitenden Schichten bei Alvensleben, Emden, Hundsburg usw. 1856. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- , Notiz über die Metallführung des Mansfelder Kupferschieferflötzes. Abh. d. naturforschenden Ges. zu Halle, Sitzungsber. IX. 1866. S. 18.
- Penck, A., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Colditz 1879.
- Philippi, E., Über die prälogocäne Landoberfläche in Thüringen. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1910. 303—304.
- Phillips and Louis, Ore deposits. 1896.
- Plümicke, Darstellung der Lagerungsverhältnisse des Kupferschieferflötzes und der Zechsteinformation der Grafschaft Mansfeld. Karstens Archiv, Reihe II, Bd. 18. 1844 S. 139—170.
- Pompeckj, J. F., Die Jura-Ablagerungen zwischen Regensburg und Regenstein. Geographische Jahreshefte. Bd. 14. 1901. S. 40—43.
- * —, Das Meer des Kupferschiefers. Branca-Festschrift. 1914. S. 444—494.
- Pošepný, Über die Erzlagerstätte am Schneeberge in Tirol. Österr. Zeitsch. f. Berg- u. Hüttenwesen, XXVII. 1879. S. 106.
- , Archiv f. prakt. Geologie, I. 1880. S. 423.
- , Über die Genesis der Erzlagerstätten. Leobener Jahrbuch. 43. Bd. 1895. S. 168.
- Pröscholdt, H., Die Zechsteinformation am Kleinen Thüringerwald bei Bischofsrod. Jahrbuch d. Preuß. Geol. Landesanstalt. 1886. S. 165—169.
- , Erläuterungen der Geologischen Karte von Preußen. Blatt Themar 1892.
- Regel, F., Thüringen. Jena 1892. I. Bd.
- Richter, R., Briefl. Mitteil. betr. Kupferschiefer. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1856. S. 20.
- , Aus dem Thüringischen Zechstein. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1867. S. 216—236.
- , Das thüringische Schiefergebirge. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1869. S. 413—429.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Rudolstadt, Orlamünde 1885.
- Richthofen, F. von, Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886.
- Ries, J. Ph., Über den hessischen Bergbau bei Frankenberg und Richelsdorf. Bergbaukunde II. 1790. S. 349.
- Rieß, Mineralogische und bergmännische Beobachtungen über einige hessische Gebirgsgegenden. 1791.
- Rothpletz, A., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Rochlitz 1877; Frohburg 1878.
- * Rziha, Franz von, Der Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau. Vortrag. Zeitschr. d. Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins. 1890. 25 S.
- Sandberger, F., Über die Bildung von Erzgängen mittelst Auslaugung des Nebengesteins. Zeitschr. d. D. geol. Ges. Bd. 32. 1880. S. 350—370.
- * Sander, Ludwig, Versuch einer kurzen Beschreibung des Mansfelder Kupferschiefer-Bergbaues. Handschrift des Oberbergamts Halle. 1805. Manuskripten-Sammlung.
- Sauer, A., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Leipzig 1882.
- Schauroth, K. von, Ein Beitrag zur Paläontologie des deutschen Zechsteingebirges. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1854. S. 539—577.
- , Ein neuer Beitrag zur Paläontologie des deutschen Zechsteingebirges. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1856. S. 211—245.
- Scheibe, R., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Ohrdruf 1889; Ilmenau, Schleusingen, Suhl 1908.
- Schlüter, A., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Frankenhausen 1884.
- Schmidt, J. L., Mineralogische Beschreibung des Bibergrundes. von Leonhards min. Taschenbuch. Bd. II. 1808. S. 45—70.
- , Geologisches über das Richelsdorfer Gebirge. 1810.
- Schönichen, F., Zur Kenntnis der Erzgänge des anhaltinischen Harzes mit einem Blick auf die Zechsteinformation seiner Umgebung. Zeitschr. d. Ges. Naturw. zu Halle. 1868. S. 81.
- * Schrader, Der Mansfelder Kupferschieferbergbau. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen. Bd. 17. 1869. S. 251—303.
- Schroeder, H., Übergreifende Lagerung des Oberen Emscher zwischen Oker und Harzburg. Abh. d. Preuß. Geol. Landesanstalt. N. F. Heft 56. 1909. S. 1—17.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Lutter am Berge. 1913.
- , Exkursion in das nördliche Harzrandgebiet zwischen Goslar und Thale. Führer zu den Exkurs. d. D. Geol. Ges. im August 1920. Hannover 1920. S. 46—78.
- , Über Oberen Emscher westlich Hildesheim und die Regression des Emschers im Harzvorlande. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. XXXII, 1. S. 237.
- * Schroeder, K., Die Entwicklung des Mansfelder Kupferschieferbergbaues. Leipzig 1913. S. 4—17.
- Schröter, Neue Litteratur und Beyträge zur Kenntniß der Naturgeschichte. Bd. III. S. 197—217.

- Schuchert, Ch., Palaeogeographic and geologic significance of recent Brachiopoda. Bull. Geol. Soc. of America. 1911. Bd. 22. S. 263.
- Senft, F., Das nordwestliche Ende des Thüringer Waldes. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1858. S. 327—333.
- , Geologische Beschreibung der Umgebung Eisenachs. Eisenach 1858.
- Siegert, L., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Altenburg 1906; Halle a. S. (Süd) 1909.
- , siehe E. Kaiser.
- Siegert, Th., Geologische Spezialkarte von Sachsen. Sektion Lommatzsch-Stauchitz 1886; Meerane-Crimmitschau 1882 u. 1905; Oschatz-Mügeln 1885 u. 1908.
- Simmersbach, B., Über die neuere Entwicklung der Molybdän-Gewinnung und -Verwendung. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1919. S. 47.
- Solms-Laubach, H. Graf zu, Die Coniferenformen des Deutschen Kupferschiefers und Zechsteins. Paläontolog. Abh. Bd. 2. 1884. S. 81.
- Spengler, Über ein neues Vorkommen von Asphalt im Zechstein zu Kamsdorf. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1854. S. 405—407.
- , Darstellung der Gebirgs- und Lagerstättenverhältnisse im Kreise Ziegenrück, besonders der in der Enclave Kamsdorf und der nächsten Umgebung. 1856.
- , Zur Geschichte des Kamsdorfer Bergbaues in den letzten 150 Jahren. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- und Salinenwesen. XIV. 1866. S. 250—254.
- Spengler, F., Beschreibung der Gebirgs-Lagerstätten und Bergbau-Verhältnisse der Gegend von Kamsdorf in Thüringen. 1876. Handschrift des Oberbergamts Halle, Manuskripten-Sammlung.
- Speyer, O., Die Zechsteinformation des westlichen Harzrandes. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt. 1880. S. 50—59.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Riestedt, Schraplau 1882; Eisleben, Gieboldehausen, Wettin 1884.
- Stahl, A., Die Gänge des Osthazes. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1918. Heft 7—9.
- Stelzner, A. W. und Bergeat, A., Die Erzlagerstätten. 1904—1906.
- Stille, H., Das Alter der deutschen Mittelgebirge. Zentralbl. f. Min. usw. 1909. S. 270 ff.
- , Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. Jahresber. d. Niedersächs. Geol. Vereins. 1910. S. 141 ff.
- , Die saxonische Faltung. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. Monatsber. 1913. S. 575—593.
- Tornquist, A., Die Tektonik des tieferen Untergrundes Norddeutschlands. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1911. II. S. 8 2—836.
- Veltheim, A. W. F. von, Über die Kalkschlotten bei Eisleben. Schweiggers Jahrb. XVII. 1826. S. 264. Leonhardts Zeitschr. f. Min. usw. II. 1826. S. 464.
- , Über die metallischen Fossilien im Mansfeldischen Kupferschiefergebirge. Vortrag. Schweiggers Jahrbuch XVI. S. 424—427.
- , Über das Vorkommen der metallischen Fossilien in der alten Kalkformation im Mansfeldischen und im Saalkreise. Karstens Arch. f. Bergbau u. Hüttenkunde. Bd. 15. 1827. S. 89—170.
- Vogt, J. H. L., siehe auch F. Beyschlag.
- Voigt, Johann Carl Wilh., Praktische Gebirgskunde. Weimar 1792. S. 43, 96—115.
- , Mineralogische Reisen durch das Herzogtum Weimar und Eisenach usw. Teil I Leipzig 1794. Teil II Weimar 1785. S. 127 f.
- , Geschichte des Ilmenaischen Bergbaues nebst einer geognostischen Darstellung der dasigen Gegend usw. Sondershausen und Nordhausen 1821. 111 S.
- , Kleine mineralogische Schriften. Teil II. S. 127, 128.
- Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens 1910.
- , Diskussion. Jahrb. d. Hall. Verb. 1. Heft. 1919. S. 33—40.
- , Geologie von Deutschland. 3. Aufl. 1921.
- Wehrhan, Carl, Aufstand über den im freien liegenden Kupferschiefer-Flözbergbau in den beiden Grafschaften Stolberg und Rossla, bei Buchholz, Rottleberod und Breitungungen. 1837. Handschrift des Oberbergamts Halle. Manuskripten-Sammlung.
- Weiß, Ch. E., Mitteilungen über das Weißliegende im Mansfeldischen. N. Jahrb. f. Min. usw. 1874. S. 175—180.
- , E., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Mansfeld 1884; Ohrdruf 1889.
- Weißermel, W., Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Halle a. S. (Süd) 1909.
- Weithofer, A., Über neuere Probleme, welche die klimatischen Verhältnisse der jüngeren Steinkohlenformation in Mitteleuropa betreffen. Verh. d. nat. Ver. in Brünn XLIV. 1905. S. B. S. 17—30.
- Werner, A. G., Übersetzung von Kronstedt, Axel von, Versuch einer Mineralogie. Leipzig 1780. S. 73.
- Wolff, F. von, Diskussion. Jahrb. d. Hall. Verb. 1. Heft. 1919. S. 29—31.

- Wunstorff und Fliegel, Die Geologie des Niederrheinischen Tieflandes Abh. d. Preuß. Geol. Landesanst. 1910. N. F. Heft 67.
- Württemberg, G., Über die Zechsteinformation, deren Erzführung und den unteren Buntsandstein bei Frankenberg in Kurhessen. N. Jahrb. f. Min. usw. 1867. S. 10—38.
- , Zur Geschichte des Frankenberger Kupferwerkes im Regierungstezirk Cassel. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen XXXVI. 1888. S. 192—209.
- Wüst, Ewald, Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des östlichen Harzvorlandes. Sonderabdruck aus der Heimatkunde des Saalkreises. Halle 1908. S. 39—46.
- Zerrenner, Über die in der Umgegend von Pößneck auftretenden Gebirgsarten und die Verbreitung der die Zechsteinformation paläontologisch charakterisierenden Petrefakten. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1851. S. 303—314.
- , Der Braunstein- oder Manganzbergbau in Deutschland, Frankreich und Spanien. 1861. S. 158.
- Zimmermann, E., Geologie von Sachsen-Meiningen. 1903.
- , Über die Rötung des Schiefergebirges und über das Weißliegende in Ostthüringen. Zeitschr. d. D. geol. Ges. 1909. Monatsber. S. 149—155.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Saalfeld, Ziegenrück 1888; Greiz (Reichenbach), Waltersdorf-Langenbernsdorf, Weida 1893; Gera, 2. Aufl., 1897; Plaue 1904; Crawinkel-Gräfenroda, Ilmenau, Schleusingen, Suhl 1908; Wutha (Eisenach-Ost) 1913.

Diskussion.¹⁾

Bergrat Schrader, Halle. Im Jahre 1886 hat in Düsseldorf der 3. Allgemeine Deutsche Bergmannstag stattgefunden. Von einem Teilnehmer an diesem ist mir folgende Geschichte erzählt worden. Am Schlusse der Verhandlungen wurde beraten, wo der nächste Bergmannstag im Jahre 1889 tagen sollte, und es wurde Halle a. S. vorgeschlagen mit der Begründung, man könnte von dort aus auch die großen Mansfelder Berg- und Hüttenwerke besichtigen. Da soll der Vorsitzende des Bergmannstages Oberberghauptmann v. Dechen gesagt haben, es wäre doch zweifelhaft, ob nach 3 Jahren diese Werke noch im Betriebe sein würden. Mansfeld hatte tatsächlich damals unter großen Schwierigkeiten zu leiden, einesteils infolge der Entwertung des Silbers und des starken Rückganges der Kupferpreise, andernteils weil starke Wasserzuflüsse zu heben waren. Trotzdem wurde beschlossen, im Jahre 1889 den 4. Allgemeinen Deutschen Bergmannstag in Halle a. S. abzuhalten, und die Mansfelder Berg- und Hüttenwerke erfreuten sich damals noch einer großen Blüte, sie existieren heute noch und haben uns im Weltkriege ganz außerordentliche Dienste geleistet. Wie Herr Prof. Lang bereits ausgeführt hat, ist es beim Kupferschieferbergbau üblich — und das hat sich auch bewährt — den Silbergehalt im relativen Verhältnis zum Kupfer anzugeben, man sagt nicht: Es sind so und soviel Gramm Silber in der Tonne Kupferschiefer, sondern es sind so und soviel Kilogramm Silber in der Tonne Kupfer enthalten. Das hat seinen Grund in dem uralten Saigerprozeß des Kupferhüttenbetriebes. Früher blieb der Silbergehalt des Kupferschiefers durch alle Röst- und Schmelzprozesse beim Kupfer und erst das Schwarzkupfer wurde durch den Saigerprozeß entsilbert. Wenn auf 1 Zentner Schwarzkupfer 16 bis 20 Lot Silber kamen, war es saigerwürdiges Schwarzkupfer. Im anderen Falle war es nicht saigerwürdig, wenn z. B. der Silbergehalt nur halb so hoch war. Dieser Saigerprozeß war außerordentlich umständlich, sehr kostspielig und mit großen Metallverlusten verbunden und ein verhältnismäßig hoher Silbergehalt des Kupfers gehörte dazu, um überhaupt den Prozeß wirtschaftlich erscheinen zu lassen. Er brachte es mit sich, daß man vom relativen und nicht vom absoluten Silbergehalt sprach. Und so ist es heute noch der Fall. Die Mansfelder

1) Die Diskussionsbeiträge sind nachträglich erweitert, zum großen Teil auch, da die sich meldenden Redner aus Mangel an Zeit nicht zu Wort kamen, erst nach der Versammlung schriftlich eingereicht worden. Vgl. auch die Diskussion über die Bildung des Kupferschiefers in diesem Jahrbuch I, 27—40. Der Herausgeber.

- Wunstorf und Fliegel, Die Geologie des Niederrheinischen Tieflandes Abh. d. Preuß. Geol. Landesanst. 1910. N. F. Heft 67.
- Württemberg, G., Über die Zechsteinformation, deren Erzführung und den unteren Buntsandstein bei Frankenberg in Kurhessen. N. Jahrb. f. Min. usw. 1867. S. 10—38.
- , Zur Geschichte des Frankenger Kupperwerkes im Regierungstezirk Cassel. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen XXXVI. 1888. S. 192—209.
- Wüst, Ewald, Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des östlichen Harzvorlandes. Sonderabdruck aus der Heimatkunde des Saalkreises. Halle 1908. S. 39—46.
- Zerrenner, Über die in der Umgegend von Pößneck auftretenden Gebirgsarten und die Verbreitung der die Zechsteinformation paläontologisch charakterisierenden Petrefakten. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 1851. S. 303—314.
- , Der Braunstein- oder Manganerzbergbau in Deutschland, Frankreich und Spanien. 1861. S. 158.
- Zimmermann, E., Geologie von Sachsen-Meiningen. 1903.
- , Über die Rötung des Schiefergebirges und über das Weißliegende in Ostthüringen. Zeitschr. d. D. geol. Ges. 1909. Monatsber. S. 149—155.
- , Erläuterungen zur geologischen Karte von Preußen. Blatt Saalfeld, Ziegenrück 1888; Greiz (Reichenbach), Waltersdorf-Langenbernsdorf, Weida 1893; Gera, 2. Aufl., 1897; Plaue 1904; Crawinkel-Gräfenroda, Ilmenau, Schleusingen, Suhl 1908; Wutha (Eisenach-Ost) 1913.

Diskussion.¹⁾

Bergrat Schrader, Halle. Im Jahre 1886 hat in Düsseldorf der 3. Allgemeine Deutsche Bergmannstag stattgefunden. Von einem Teilnehmer an diesem ist mir folgende Geschichte erzählt worden. Am Schlusse der Verhandlungen wurde beraten, wo der nächste Bergmannstag im Jahre 1889 tagen sollte, und es wurde Halle a. S. vorgeschlagen mit der Begründung, man könnte von dort aus auch die großen Mansfelder Berg- und Hüttenwerke besichtigen. Da soll der Vorsitzende des Bergmannstages Oberberghauptmann v. Dechen gesagt haben, es wäre doch zweifelhaft, ob nach 3 Jahren diese Werke noch im Betriebe sein würden. Mansfeld hatte tatsächlich damals unter großen Schwierigkeiten zu leiden, einesteils infolge der Entwertung des Silbers und des starken Rückganges der Kupferpreise, andernteils weil starke Wasserzuflüsse zu heben waren. Trotzdem wurde beschlossen, im Jahre 1889 den 4. Allgemeinen Deutschen Bergmannstag in Halle a. S. abzuhalten, und die Mansfelder Berg- und Hüttenwerke erfreuten sich damals noch einer großen Blüte, sie existieren heute noch und haben uns im Weltkriege ganz außerordentliche Dienste geleistet. Wie Herr Prof. Lang bereits ausgeführt hat, ist es beim Kupferschieferbergbau üblich — und das hat sich auch bewährt — den Silbergehalt im relativen Verhältnis zum Kupfer anzugeben, man sagt nicht: Es sind so und soviel Gramm Silber in der Tonne Kupferschiefer, sondern es sind so und soviel Kilogramm Silber in der Tonne Kupfer enthalten. Das hat seinen Grund in dem uralten Saigerprozeß des Kupferhüttenbetriebes. Früher blieb der Silbergehalt des Kupferschiefers durch alle Röst- und Schmelzprozesse beim Kupfer und erst das Schwarzkupfer wurde durch den Saigerprozeß entsilbert. Wenn auf 1 Zentner Schwarzkupfer 16 bis 20 Lot Silber kamen, war es saigerwürdiges Schwarzkupfer. Im anderen Falle war es nicht saigerwürdig, wenn z. B. der Silbergehalt nur halb so hoch war. Dieser Saigerprozeß war außerordentlich umständlich, sehr kostspielig und mit großen Metallverlusten verbunden und ein verhältnismäßig hoher Silbergehalt des Kupfers gehörte dazu, um überhaupt den Prozeß wirtschaftlich erscheinen zu lassen. Er brachte es mit sich, daß man vom relativen und nicht vom absoluten Silbergehalt sprach. Und so ist es heute noch der Fall. Die Mansfelder

1) Die Diskussionsbeiträge sind nachträglich erweitert, zum großen Teil auch, da die sich meldenden Redner aus Mangel an Zeit nicht zu Wort kamen, erst nach der Versammlung schriftlich eingereicht worden. Vgl. auch die Diskussion über die Bildung des Kupferschiefers in diesem Jahrbuch I, 27—40. Der Herausgeber.

Berg- und Hüttenleute sprechen von 0,5 bis 0,6 kg Silbergehalt in 100 kg Kupfer. Nun beruft sich Herr Prof. Lang zum Beweis, daß seine Theorie zutrifft, auf den hohen Silbergehalt von drei Kupferschieferbergwerken, Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau, von denen nur noch Mansfeld im Betriebe ist. Auch heute ist das Verhältnis dort noch so, daß 0,5 bis 0,6 kg Silber in 100 kg Kupfer oder 5 bis 6 kg Silber in der Tonne Kupfer enthalten sind. Spezielle Ermittlungen des Silbergehalts in einzelnen Teilen der Mansfelder Mulde sind früher nicht angestellt worden. In neuerer Zeit hat man sie gemacht. In den oberen (Eisleber) Revieren ist der Silbergehalt meistens etwas höher als in den unteren (Hettstedter) Revieren. Im übrigen ist die horizontale Verbreitung des Silbergehalts im Flöz fast regelmäßig, doch kommen hin und wieder besonders silberreiche Partien vor. So stieß man in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts mit der südlichen II. Tiefbausohlenstrecke des Ottoschächter Feldes auf eine sehr silberreiche Flözpartie, nachdem man ein ausgedehntes Feld durchfahren hatte, in welchem das Flöz fast taub war. Verwerfungen waren hier nicht vorhanden. Der von der Mansfeldschen Gewerkschaft betriebene Bergbau bei Sangerhausen mußte 1885 infolge der damaligen außerordentlich niedrigen Metallpreise, namentlich aber wegen seines geringen Silbergehaltes im Kupferschiefer eingestellt werden. Schon Freiesleben und Veltheim führen an, daß das Sangerhausener Schwarzkupfer nicht saigerwürdig gewesen ist.

Vor mehreren Jahren hatte ich Gelegenheit, die alten Bottendorfer Werke und ihre Geschichte kennen zu lernen, die mir bis dahin noch unbekannt gewesen waren. Ich war erstaunt, durch die alten Akten das bestätigt zu finden, was Erdmenger in einem Gutachten aus dem Jahre 1858 anführt, nämlich, daß in Bottendorf ein Silbergehalt im Kupferschiefer vorhanden war, der dem Mansfelder fast gleichkommt. Meiner Ansicht nach ist die Richtigkeit dieser Angaben nicht anzuzweifeln, denn sie beruhen auf den Resultaten jahrelanger Betriebsperioden, auf dem wirklichen Ausbringen des Betriebes, nicht auf einzelnen Analysen. Der Bottendorfer Bergbau wurde 1781 eingestellt und seitdem nicht wieder aufgenommen. Von mir veranlaßte Untersuchungen von Proben aus den alten Bottendorfer Halden ergaben das überraschende Resultat, daß das Kupfer überhaupt kein Silber enthielt. Der Silbergehalt ist wahrscheinlich durch die Verwitterung in Silbersulfat übergegangen und dieses von dem Meteorwasser vollständig weggeführt worden. Von 1873 bis 1875 hat man dort einen Versuchsschacht abgeteuft, der aber wieder eingestellt wurde, als man nahe vor Erreichung des Zieles stand. Ich habe vor vier Jahren die Wiederaufnahme der Arbeiten dringend befürwortet. Das Bottendorfer Vorkommen zeigt unregelmäßige Lagerung des Kupferschieferflözes, hohe Verwerfungen, eine tiefe Grabenversenkung, innerhalb derselben Abtreppungen des Flözes. Regelmäßige Flözpartien sind nur in geringer Ausdehnung vorhanden. Der Bottendorfer Bergbau hatte auch mit Wasserschwierigkeiten zu kämpfen, die den Betrieb 1781 zum Ersaufen brachten. Man hatte damals unvollkommene Einrichtungen zum Heben des Wassers. Zunächst wurde die Kraft durch eine Wasserkunst von der Unstrut her geliefert, aber durch die Feldgestänge ging viel Kraft verloren und die Anlage versagte mit zunehmender Tiefe der Baue. Dann baute man eine Roßkunst ein, wie vielfach früher üblich. Hierzu brauchte man sehr viel Pferde, die bei dem Betriebe halbtot geprügelt wurden und wenig leisteten. An und für sich war die zu hebende Wassermenge durchaus nicht groß nach heutiger Anschauung, und die Schwierigkeiten würden durch moderne Einrichtungen bald behoben sein.

In Ilmenau sind auch die Lagerungsverhältnisse außerordentlich unregelmäßig, das Flöz steil aufgerichtet und überkippt, darüber sind ausführliche Nachrichten vorhanden. Über Bottendorf ist so gut wie nichts in der Literatur zu finden, abgesehen von den wenigen Bemerkungen in den Erläuterungen zur

geologischen Spezialkarte. Über Ilmenau dagegen finden wir eine ziemlich reichhaltige Literatur. Goethe hat sich als Weimarer Minister für den Bergbau interessiert und sich außerordentliche Mühe gegeben, den im Jahre 1739 eingestellten Bergbau wieder aufleben zu lassen.

Interessant ist es zu hören, wie er sich auch um die Einzelheiten dieses Bergbaus gekümmert hat. Goethe hat 1790 eine Reise nach Schlesien unternommen, ist auch in Oberschlesien gewesen und hat in das Fremdenbuch der Friedrichsgrube bei Tarnowitz den bekannten Vers „Fern von gebildeten Menschen usw.“ eingeschrieben. Er schrieb an Joh. C. W. Voigt in einem Briefe vom 12. September 1790, der den im Jahre 1784 wieder aufgenommenen Bergbau bei Ilmenau betrifft: „In Tarnowitz habe ich mich über Ilmenau getröstet. Sie haben, zwar nicht aus so großer Tiefe, eine weit größere Wassermasse zu heben und hoffen doch. Zwei Feuermaschinen arbeiten, und es wird noch eine angelegt, dabei noch ein Pferdegöpel, der aus vier Schächten Wasser hebt. Interessant genug ist der schlesische Bergbau.“ Er hat nach seiner Rückkehr für den Bergbau bei Ilmenau Anregungen gegeben, die noch heutigen Tages wertvoll sind, so am 15. Oktober 1790: „Verschiedene auf meiner letzten Reise durch Schlesien angestellten mineralogischen und chemischen Beobachtungen haben mich auf den Gedanken gebracht, ob man nicht die Kupferschiefer ebensogut, ja wohl noch bequemer als andere Erze durch Pochen und Schlämmen behandeln und das darin befindliche Metall als Schlich ins Enge bringen, die ganze Rohsteinarbeit ersparen und die gewonnenen Schliche gleich zur Amalgamation bringen könnte. Ich teile diesen Gedanken zur weiteren Prüfung mit und wünsche, daß wenigstens sogleich ein Versuch im kleinen gemacht würde.“ Sie sehen, wie Goethe sich tatsächlich für die technischen Einzelheiten interessiert hat. Nebenbei bemerkt mache ich auch auf den originellen Ausdruck „ins Enge bringen“ statt „Konzentrieren“ aufmerksam. Im Jahre 1796 ist der Ilmenauer Bergbau ersoffen.

Die Amalgamation ist etwa um dieselbe Zeit aufgekommen. Im Jahre 1790 hat man in Freiberg angefangen, sie anzuwenden. In Mansfeld hat sich ausschließlich der alte Saigerprozeß bis 1820 erhalten, daneben hat man dann auch mit Amalgamation Versuche angestellt, bis die Entsilberung des Spursteines erst durch das Augustinsche, dann das Ziervogelsche Verfahren erfolgte. Im Jahre 1856 bildete sich in Thüringen eine Sächsisch-Thüringische Kupfer-Bergbaugesellschaft, die mit einem für die damalige Zeit sehr bedeutenden Aktienkapital von 2 Mill. Taler = 6 Mill. Mark arbeitete und auch den Ilmenauer Bergbau wieder auf tun wollte. Er hatte von 1796 bis 1856 geruht. Aber diese Gesellschaft hat Kapital und Kraft in bedauerlicher Weise auf fünf Betriebspunkte zersplittert, nämlich Eisenach, Altenstein, Saalfeld, Neustadt und Ilmenau. In Ilmenau wurde die Sache sehr unzuweckmäßig angefaßt, indem man einen neuen Schacht an einer Stelle abteufte, die nach den älteren Nachrichten durchaus nicht aussichtsreich war. Der Schacht hat nur taubes Flöz angetroffen. Dann wurden auch die Kupferpreise, die in der Mitte der fünfziger Jahre hoch gewesen waren, wieder schlechter. Ende der fünfziger Jahre war das Kapital in der Hauptsache verbraucht, so daß schließlich das Unternehmen aufgegeben wurde. Seitdem sind keine Schritte mehr unternommen. Das ist natürlich sehr bedauerlich.

Auf die drei Vorkommen in Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau stützt Herr Professor Lang seine Theorie, und in der Tat ist es sehr auffallend, daß westlich und nordwestlich einer Linie, welche diese drei Vorkommen verbindet, alle Kupferschiefervorkommen am Süd- und Westrande des Harzes, am Kyffhäuser und am Rande des Thüringer Waldes sowie bei Richelsdorf, auf denen z. T. gar nicht unbedeutender Bergbau umgegangen ist, einen wesentlich niedrigeren Silbergehalt haben als Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau. Östlich und südöstlich dieser Linie liegen die alten Bergbaue bei Kamsdorf, Pößneck,

Neustadt a. d. Orla und Gera. Über Kamsdorf existiert Literatur, namentlich eine wertvolle Arbeit des Herrn Geh. Rat Beyschlag aus dem Jahre 1888 im Jahrbuch der Geologischen Landesanstalt. Über Pößneck, Neustadt a. d. Orla und Gera habe ich trotz eifrigen Nachforschens in der Literatur nichts weiter finden können als zwei Aufsätze „Über den früheren Bergbau in der Umgegend von Gera“ von R. Eisel im 11. und 12. Jahresbericht 1868 und 1869 der Gesellschaft von Freunden der Naturwissenschaften in Gera. Diese Mitteilungen sind geologisch und historisch sehr interessant, aber in technischer Hinsicht bringen sie zu wenig. Namentlich vermißt man Angaben über die Metallproduktion. Zeitweise scheint der Bergbau bei Gera gar nicht unbedeutend gewesen zu sein. Übrigens hat das Kupferschieferflöz und überhaupt die Zechsteinformation von Saalfeld ab in der Fortsetzung nach Osten einen von Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau ganz abweichenden Charakter, der sich durch das Auftreten ausgedehnter Korallenriffe, Dolomitbildung, Vorkommen von Spateisenstein, Bildung mehrerer Flöze, Auftreten von Kupfererz und silberhaltiges Fahlerz führenden Gängen und Zurücktreten des Bitumengehaltes ausprägt.

Abgesehen von diesen bergbaulichen Aufschlüssen sind aber auch in dem Gebiet zwischen Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau und östlich und südöstlich einer diese drei Vorkommen verbindenden Linie eine Anzahl Bohrlöcher bis zum Kupferschieferflöz niedergebracht worden. Im ganzen sind mir die Resultate von 36 Bohrlöchern bekannt, die sich aber sehr ungleichmäßig auf dieses mehrere tausend Quadratkilometer große Gebiet verteilen. Wie Herr Professor Lang schon ganz richtig gesagt hat, darf man diese Resultate nur mit großer Vorsicht verwerten. Hierbei ist namentlich zu berücksichtigen, daß aus einigen dieser Bohrlöcher die Bohrkerne aus dem Kupferschieferflöz in zertrümmertem Zustande gewonnen wurden, eine Probenahme aus den einzelnen Lagen des Flözes infolgedessen unmöglich war. Ferner ist bei der Anfertigung der Proben aus den einzelnen Flözlagen der Bohrkerne der übrigen Bohrlöcher nicht immer gleichmäßig verfahren worden. Man kann deshalb aus den sehr voneinander abweichenden Resultaten dieser 36 Bohrlöcher keinen sicheren Schluß auf die Verteilung des Silbergehaltes im Kupferschieferflöz in diesem Gebiete ziehen.

Immerhin dürften die Resultate einiger Bohrlöcher, welche die Staatsbergverwaltung hat niederbringen lassen und deren Mitteilung mir gütigst gestattet worden ist, Ihr Interesse erregen. In dem bekannten Bohrloch bei Schladebach unweit Merseburg, also im östlichen Teil des Thüringer Beckens, wurde das Kupferschieferflöz von 326,51 bis 327,41 m Tiefe erbohrt. Von zwei entnommenen Proben enthielt die eine 1,5 kg Cu und 20 g Ag, die andere 0,4 kg Cu und 10 g Ag in der Tonne Schiefer, das sind 1,333 bzw. 2,50 kg Ag in 100 kg Cu.

In einem Bohrloch bei Frankleben im Geiseltal etwa 10 km weiter westlich wurde das Flöz von 1075,45 bis 1075,65 m Tiefe erbohrt. Von zwei Proben ergab die eine kein Cu, Ag eben sichtbar aber nicht wägbare, die andere 0,71 kg Cu und kein Ag in der Tonne Schiefer.

Ferner wurde bei Oberklobikau unweit Schafstedt noch 10 km weiter westlich das Flöz von 891,3 bis 891,82 m Tiefe erbohrt. Von zwei Proben ergab die eine kein Cu, Ag eben sichtbar aber nicht wägbare, die andere 0,27 kg Cu, aber kein Ag in der Tonne Schiefer.

Endlich wurde bei Heringen unweit Nordhausen, also im westlichen Teil des Thüringer Beckens, das Flöz bei 786,75 m Tiefe erbohrt. Eine von hier entnommene Probe enthielt 6,84 kg Cu und 0,00056 kg Ag in der Tonne Schiefer, das sind 0,0082 kg Ag in 100 kg Cu.

Herr Professor Lang vermutet, daß der von ihm angenommene hohe Silbergehalt des Kupferschieferflözes in dem dem Erzgebirge zunächst liegenden östlichen Teil des thüringischen Beckens in einer Zone auftritt, welche etwa

100 km lang und 60 km breit ist. Um festzustellen, ob die Wirklichkeit dieser Annahme entspricht, würde sich nicht das Niederbringen neuer Bohrlöcher empfehlen. Die Untersuchung des Kupferschieferflözes durch Bohrlöcher wird immer unsichere Resultate ergeben, weil reiche und arme Zonen des Flözes miteinander abwechseln, und weil man mit einem Bohrkerne von höchstens 8 bis 10 cm Durchmesser immer nur einen winzig kleinen Teil der großen Flözfläche aufschließen kann. Sichere Aufschlüsse würde nur das Abteufen von Schächten und von diesen aus das Auffahren von streichenden und einfallenden Strecken im Flöz ergeben. Hierbei würde man einerseits sich an die alten Grubenbaue bei Kamsdorf, Pößneck, Neustadt a. d. Orla und Gera anzuschließen, aber auch andererseits entfernt von diesem bereits gekennzeichneten Gebiete Versuchsbaue zu etablieren haben.

Es ist sehr zu bedauern, daß man über den Metallgehalt des Kupferschieferflözes in dem thüringischen Becken außerhalb der Mansfelder Mulde und der Randpartien, auf denen Bergbau umgegangen ist, also in den tieferen Teilen desselben, fast gar nichts weiß. Nebenbei bemerkt weiß man darüber in dem nördlichen Magdeburg-Halberstädter Becken abgesehen von kleinen Randpartien bei Wiederstedt, Strenznaundorf, Könnern, Cöthen und Alvensleben noch viel weniger und gar nichts über den großen östlichen Flözzug von Flechtingen bis in die Gegend von Görlitz auf ca. 300 km Länge. Hier ist das Kupferschieferflöz noch eine vollständige terra incognita. Eine planmäßige Durchforschung des Kupferschieferflözes in allen diesen Gebieten ist meines Erachtens dringend nötig, weil es die wichtigste Kupferquelle für Deutschland ist. Der Kupferbedarf Deutschlands betrug vor dem Kriege weit über 200000 t im Jahr, hiervon konnten nur $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{9}$ durch die Produktion aus einheimischen Erzen gedeckt werden, die zum allergrößten Teil aus Mansfeld kam. Wenn auch nach dem Kriege infolge der Verwendung von Ersatzmetallen der Kupferbedarf wesentlich zurückgegangen sein wird, so sind wir doch auch jetzt noch zu seiner Deckung in sehr hohem Grade auf das Ausland, namentlich auf Nordamerika mit seiner riesenhaften Produktion angewiesen, also vom Ausland abhängig. Wir müssen uns bestreben, diese Abhängigkeit möglichst herabzumindern, und dazu bietet das weitverbreitete Kupferschieferflöz nach meiner Ansicht die beste Gelegenheit.

Herr Geh. Rat Beyschlag sagt in dem Werk „Deutschlands Kalibergbau“ von 1907 auf Seite 4: „Darüber (über dem Zechsteinkonglomerat) breitet sich wie ein schwarzes Leichentuch, fast durch das gesamte Becken reichend, die kaum 1 m starke Kupferschieferschicht, eins der merkwürdigsten Gebilde aller geologischen Zeiten.“ Dieses höchst merkwürdige geologische Gebilde dürfte der Wissenschaft noch Gelegenheit zu interessanten und bedeutungsvollen Forschungen geben. Wir müssen aber auch praktisch dafür sorgen, daß das schwarze Leichentuch seine Metallschätze nicht für alle Zeiten vergraben hält. Sie müssen gehoben werden und Deutschland wirtschaftlich wieder aufrichten helfen. Dazu gehört aber dieselbe Ausdauer, wie sie unsere Vorfahren in früheren Jahrhunderten bewiesen haben. Man muß bewundern, in welche Tiefen sie mit ihren unvollkommenen Einrichtungen vorgedrungen sind und mit welcher Ausdauer sie ihre langen Stollen aufgefahren haben.

Bei der Wiederaufnahme des Ilmenauer Bergbaues in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts durch die Sächsisch-Thüringische Kupfer-Bergbaugesellschaft begnügte man sich damit, Untersuchungsstrecken 26 und 28 Lachter lang aufzufahren. Das ist viel zu wenig, solche Strecken müssen 10- und 20mal so lang und noch länger werden. Dann wird der Erfolg nicht ausbleiben.

Geh. Oberbergrat Dr. F. Beyschlag, Berlin: Meine Herren, ich bin Ihnen dankbar, daß Sie mir gestatten, mich mit Herrn Prof. Lang über einige Haupt-

punkte auseinanderzusetzen. Allerdings ist es ganz unmöglich, daß wir die Fragen, die den Kupferschiefer betreffen, heute hier etwa erschöpfend behandeln könnten; es ist sogar unmöglich, in dieser kurzen Zeit auf alle die Fragen, die Herr Prof. Lang angeschnitten hat, meinerseits näher einzugehen, namentlich wenn zwei Menschen auf so verschiedenem Standpunkt stehen wie wir beide.

Von vornherein muß ich sagen, daß ich durch die Ausführungen des Herrn Prof. Lang nicht von meinem Standpunkt abgekommen bin. Immerhin aber möchte ich der Hoffnung Ausdruck geben, daß es gelingen wird, in Zukunft unsere Standpunkte wesentlich zu nähern, vielleicht sogar zu vereinigen.

Diese Hoffnung und dieser Wunsch sind es vor allen Dingen, die mich das Wort nehmen lassen.

Ich darf wohl gleich beim Schluß der Ausführungen des Herrn Prof. Lang anfangen. Er hat uns beweisen wollen, daß die Erze des Kupferschiefers vom Sächsischen Erzgebirge gekommen seien, getragen von Lösungen, die als Oberflächenwasser in das Kupferschiefermeer sich ergossen. Letzteres bedeckte das Gebiet Mansfelds, Thüringens und des Bottendorfer Höhenzuges. Aus der verschiedenen Entfernung dieser drei Punkte von der Quelle der Erzlösung hat Herr Lang die Verschiedenheit der Gehalte an Kupfer und Silber ableiten wollen. Das hat mich nicht davon überzeugt, daß der Herd wirklich das Erzgebirge ist. Denn, meine Herren, betrachten wir die Einzelheiten der verschiedenen Bergreviere der Mansfelder Mulde, so sind meiner festen Überzeugung nach hier schon die Unterschiede viel größer innerhalb dieser Mulde selbst als zwischen den drei verschiedenen Punkten Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau. Und gehen wir von einem der Mansfeld unmittelbar benachbarten Bergreviere zum nächsten, so finden wir auch hier kolossale Differenzen, die viel größer sind als diejenigen der drei vorgenannten Bezirke untereinander. Ich glaube auch, daß ein solcher Beweis der Abhängigkeit der Metallgehalte von der auf dem Erzgebirge angenommenen Quelle nicht zahlenmäßig erbracht werden kann, denn dazu müßte man ganz außerordentlich große Durchschnittszahlen haben. Es müßte z. B. auch berücksichtigt werden, ob die in Rechnung gezogenen Metallmengen ausschließlich aus regulär lagernden Flözteilen stammen, oder ob Rücken dabei eingerechnet sind.

Bei Ilmenau z. B. ist gefunden worden, daß gerade die hohen Silber- und Kupfergehalte ausschließlich auf die Flexur- und Störungszone beschränkt und hier allein vorgekommen sind, und daß, sobald man über das Knie der Flexur hinauskam, nicht nur der Silbergehalt zu Ende ging, sondern auch der Kupfergehalt auf ein Minimum beschränkt war. Das ist es, was den Silber- und Kupferbergbau dort zum Erliegen gebracht hat. Da man nur in der Störungszone die reichen Erze hatte, war der Versuch, nachdem diese abgebaut waren, durch einen außerordentlich langen und tiefen Stollen die flach und regelmäßig lagernden Kupferschieferschichten aufzuschließen, ganz vergeblich. Hier war die Erzföhrung zu Ende. Also, so zu rechnen, wie Herr Prof. Lang es tut, ist meiner Ansicht nach nicht zulässig und folgerichtig.

Ich habe eine völlig andere Vorstellung von der Gegend, wo die Quellen liegen, die das Kupfer und Silber geliefert haben. Das kupferarme Erzgebirge würde ganz andere Erze geliefert haben, nämlich Blei, Silber und Zink. Meine Vorstellung geht deshalb dahin und stützt sich dabei auf Erfahrungen, die wir über weite Gebiete, ja über ganz Europa machen konnten, daß Kupfer und Silber aus dem Rotliegenden, aus den permischen Eruptivherden stammen. Das ist die Kupferquelle, die in der ganzen Welt, jedenfalls aber in Europa verbreitet ist. Es finden sich für diese Lehre auch außerordentlich viel Anhaltspunkte in unserm engeren Vaterlande. Da sind zunächst die zahlreichen Konzentrationen von Kupfererzen in den rotliegenden Eruptivmassen des Nahegebiets.

Da ist ferner Imsbach in der Pfalz, wo das Kupfer im Porphyr des Donnersberges vorkommt. Wenn auch vielfach in kleinen Mengen, so ist doch fast überall, wo in Deutschland Eruptivgesteine des Rotliegenden vorkommen, Kupfer vorhanden. Sie können auch noch weitergehen. Auch der Verrucano der Schweiz führt südlich vom Walensee Kupfer. Vor allem aber finden Sie im Uralgebirge einen außerordentlich verbreiteten Kupfergehalt, gebunden an die dortigen permischen Eruptivgesteine. Die permischen Eruptiva halte ich daher für die Quelle, aus der wir das Kupfer in unserm Kupferschiefer abzuleiten haben. Und ich möchte zum Beweis der Richtigkeit auch noch darauf hinweisen, daß überall da, wo solche Kupfergehalte nachweisbar vorhanden sind, auch ein räumlicher Zusammenhang zwischen den wesentlichen Kupfergehalten des Kupferschiefers und jenen Verbreitungen der permischen Eruptivmassen vorhanden ist.

Gerade auch die Mansfelder Mulde ist ein Beispiel, das zeigt, wie die Verbreitung der Porphyre mit der Erzführung des Kupferschiefers zusammenhängt, denn hier sind die gewaltigen Porphyrgüsse der Halleschen Gegend verbreitet. Die Mannigfaltigkeit der Porphyrgerölle im dortigen Rotliegenden beweist außerdem, daß wir nur einen Teil der dortigen Porphyre zu Tage anstehend kennen. Auch basischere Eruptivgesteine sind dort verbreitet, wie der Melaphyr von Leimbach, nördlich Mansfeld, zeigt.

Mit dieser Vorstellung stimmt gut überein, daß, wo schließlich die permischen Eruptivgesteine sich weiter von den Ablagerungen der Zechsteinformation entfernen, wo also keine Kupferquelle mehr vorhanden war, auch der Kupfergehalt der Zechsteinschichten verschwindet. So finden wir bei Osnabrück oder am Niederrhein oder bei Kissingen überhaupt keinen Kupfergehalt mehr oder doch so wenig, daß er analytisch kaum feststellbar ist. Wenn schließlich noch ganz kleine Silbergehalte vorkommen können, so ist das ja kein Gegenbeweis. Aber mit der Entfernung von den Eruptivgesteinsherden nimmt sicher allgemein der nutzbare Erzgehalt ab.

Anderseits dürfen Sie das nicht schematisch auffassen und verlangen, daß man überall das Kupfer des Schiefers unmittelbar aus einem bestimmten Gestein ableiten könne. Das ist natürlich nicht der Fall. Wie im einzelnen der Kupfergehalt aus dieser primären Quelle in den Schiefer hineingekommen und dort konzentriert worden ist, darüber kann ich Ihnen allerdings heute keine erschöpfende Rechenschaft geben; ich kann nur auf ein paar Gesichtspunkte hinweisen, durch deren Berücksichtigung man hoffen kann, einmal diese Frage zu lösen.

In dieser Beziehung steht im Vordergrund der Betrachtung, daß die Kupferverbindungen im Kupferschiefer durchweg in der Form von Zementationserzen vorhanden sind, also in der Form von Kupferglanz, Buntkupfer und Kupferkies. Wir wissen aber, daß diese drei (Kupferkies zum Teil) in der ganzen Welt nicht primäre, sondern nachträglich angereicherte Zementationserze sind. Das ist ein Gesetz, an dem wir nicht vorbeigehen können. Selbstverständlich bedingt das Vorhandensein der Zementation eine Oxydationszone am Ausgehenden über dem Grundwasser und eine jetzt der Abtragung anheimgefallene Zone, aus der die Zementationszone die Anreicherung ihres Metallgehalts entnommen hat.

Und dann noch eine weitere Bemerkung: Herr Prof. Lang meint zwar, es sei die Zeit der Beobachtung für das Kupferschieferproblem jetzt vorüber und es wäre nur noch notwendig, zusammenzufassen und zu deuten. Das glaube ich nicht! Ich weiß ein Gebiet, zu dessen Verbesserung wir noch ganz wesentlich beitragen müssen und beitragen werden, und zwar ist dies das mikroskopische Studium der Erze, namentlich mit dem neuen Hilfsmittel des metallographischen Mikroskops. Eine solche Untersuchung des Mansfelder Schiefers zeigt, daß Kupferkies, Buntkupfer und Kupferglanz bestimmt sekundär eingewandert sind und nicht primär vorhanden waren. Das ist kein Zweifel, denn Sie sehen die

Erzanhäufungen nicht nur auf den Schichtflächen wie bei einem Sediment, sondern auch schräg und quer zur Schichtung und netzförmig das Gestein mit allen Zeichen der Verdrängung durchziehend. Das beweist natürlich eine spätere Einwanderung.

Meine Herren, ich bin weit davon entfernt zu glauben, daß wir bereits heute des Rätsels Lösung nach allen Richtungen gefunden haben, ich bin auch weit davon entfernt zu behaupten, daß nicht noch neue Gesichtspunkte für die Beurteilung unserer Frage vielleicht einmal in ganz anderen Gebieten gefunden werden, aber ich möchte davor warnen, daß wir generalisieren. Es ist nicht unbedingt nötig, anzunehmen, daß alle Erze und Metallverbindungen im Kupferschiefer nun gleichzeitig und in der gleichen Weise gebildet worden sind. Es scheint mir auch nicht notwendig, daß Silber und Kupfer, Molybdän und Vanadin, Kobalt und Nickel genau zu gleicher Zeit aus der gleichen Quelle entstanden sein sollen. Ich könnte mir sogar vorstellen, daß namentlich der Schwefelkies, vielleicht auch etwas weniger an Kupfer bereits bei der Sedimentierung des Gesteins ausgeschieden wurden und daß das andere dann später hineingetragen worden wäre. Auch könnte ich mir vorstellen, daß einzelne Erze, z. B. Uranpecherz, Nickel, Silber und Kupfer, aus verschiedenen tiefen Magmaherden stammen.

Wenn ich nun versuche, mir eine Vorstellung davon zu machen, wie überhaupt die Bildung des Kupferschiefers vor sich gegangen ist, so ist mir immer — seitdem ich im Jahre 1897 die Verhältnisse des Schwarzen Meeres kennen gelernt habe — dieses als das Paradigma erschienen zur Erklärung der Kupferschieferbildung. Ja, die dortigen Verhältnisse schienen mir in dem Grade anwendbar, daß ich jahrelang meinen Schülern in den Vorlesungen das Schwarze Meer als Vorbild der Kupferschieferbildung vorgetragen habe. Hier ist durch die Untersuchungen nachgewiesen, daß in der Tiefe des Meeres sich eine an Schwefelwasserstoff reiche Zone befindet. Darüber liegt eine Zone, die frei ist von Schwefelwasserstoff und in der demnach kleine Lebewesen oder auch Fische existieren können. Kommen sie hinunter in die Tiefe, so werden sie durch Schwefelwasserstoff abgetötet. So wird sich naturgemäß ein Sediment bilden, das reich an Bitumen sein muß. Wenn man sich vorstellen würde, daß in ein solches Bodengestein auch noch durch Flüsse oder Quellen Eisen- und Kupferlösungen hineinkommen und durch den Schwefelwasserstoff ausgefällt würden, so wäre das eine mögliche Erklärung für den Bitumen- und Erzgehalt des Bodenabsatzes, der dann dem Kupferschiefer ähnlich sein würde. Wenn man sich auf diese Vorstellung der syngenetischen Entstehung einstellt, so scheint mir das noch die beste Erklärung zu sein. Ich stehe jedoch nicht auf diesem Standpunkt; ich will heute zwar dahingestellt sein lassen, wie der ursprüngliche Kupferschiefer ausgesehen hat. Aber es steht für mich fest, daß er ein bituminöses Gestein war, in dem vor allem vielleicht Eisensulfid primär ausgeschieden war. Dieser darin enthaltene Schwefelkies ist vielleicht auch etwas kupferhaltig gewesen. So denke ich mir den ursprünglichen Kupferschiefer ähnlich wie alle marinen Alaunschiefer abgelagert und begründe das damit, daß in weiten Gebieten Deutschlands, wo kein Kupferbergbau ist, der Kupferschiefer ungefähr so aussieht. Wenn dann aus der Quelle der permischen Eruptivherde in späteren Zeiten Lösungen aufsteigen und in das als Meeres-Sediment gebildete Schieferflöz eindringen, dann könnte ich mir vorstellen, daß sich solche kupferhaltigen Lösungen am Bitumen reduzieren und daß die eindringenden Sulfide das Gestein verdrängen und als Kupfererz zur Ausfällung bringen.

Gibt man aber dieser Vorstellung Raum, so gewinnt eine Erscheinung ganz besondere Bedeutung, das ist die Erzführung der Konglomeratzone, die unmittelbar unter dem Kupferschiefer liegend, vielfach an die Rücken gebunden, im Weißliegenden oder im Gräuliegenden auftritt. Diese graue bituminöse Bleichungs-

zone ist durchtränkt worden von den aufsteigenden Lösungen und Sulfiden. Ihr Maximum erreichte diese Erzbildung in der Tresse unmittelbar unter dem Flöz, auch sie wurde später durch Zementationsvorgänge noch angereichert wie der Kupferschiefer selbst.

Ich bin weit davon entfernt zu behaupten, daß diese Vorstellung in allen Punkten heute bereits abgeschlossen richtig ist, ich will Ihnen vielmehr nur eine Vorstellung davon geben, wie ich mir die Bildungsvorgänge in den Grundzügen denke. Eins scheint mir vor allen Dingen notwendig zu beachten, wenn wir zu einer befriedigenden Lösung des Ganzen kommen wollen: daß wir das ganze Problem, das ich vom Standpunkt des Lagerstättenforschers betrachte, nicht auf Mansfeld beschränken, sondern daß wir fragen, wie gestaltet es sich, wenn wir es über das gesamte Gebiet der deutschen Zechsteinformation verfolgen? Da begegnet uns aber eine Menge von Erscheinungen, die gar nicht anders zu deuten sind wie als Wirkungen epigenetischer Vorgänge. Ich habe früher einmal den Begriff einer deutschen Kupfererzprovinz erläutert. Dabei stellte ich mir vor, daß man sich bei der Entstehung des Kupferschiefers nicht beschränken dürfe auf die Mansfelder Gegend, sondern daß man die Kupfererzbildung der Zechsteinformation über alle Faziesgebiete verfolgen müsse. Dann erkennt man, daß nicht das Flöz, wohl aber die kupfererzführenden Rücken das überall gleichmäßig vorhandene Element sind. Wie sehen denn die Rücken in Mansfeld, in Kamsdorf oder in Stadtberge aus? Überall gleich, — während das Kupferschieferflöz überall verschieden auftritt.

In Kamsdorf führen die Rücken Buntkupfererz, Kupferglanz und Fahlerz in Mächtigkeit bis zu $\frac{1}{2}$ m und mehr. In Stadtberge setzen sie mit reicher Erzführung tief in die Kulmkieselschiefer nieder. Solche Erzführung können wir nicht mehr ableiten aus dem Kupferschieferflöz. Das sind Massen, die um so mehr ins Gewicht fallen, als das Flöz nicht gleichzeitig verarmt, sondern in der Nachbarschaft der Rücken angereichert erscheint. Aber wir dürfen uns nicht auf die Kamsdorer und die Ilmenauer Erzführung beschränken, sondern müssen hinüberschauen nach Schlesien. Und da sehen wir infolge des Fazieswechsels keinen eigentlichen Kupferschiefer mehr, sondern nur eine ganze Gruppe ähnlicher Mergelschiefer, die sich fünf-, sechs-, auch achtmal übereinander wiederholen und dabei alle Kupfererze führen. Genau das gleiche Bild einer vielfach wiederholten Kupfererzführung — und zwar einer oxydischen wie einer sulfidischen Zementations-Kupfererzführung — finden wir in Talitter und an anderen Orten am Ostrande des Rheinischen Schiefergebirges. Überall die gleiche Erscheinung der Kupfererzbildung, wo Störungszonen (Rücken) bitumenreiche Gesteinspartien des Zechsteins oder seines Hangenden und Liegenden durchsetzen. Überall die gleiche Erscheinung. Eins leitet zum andern über, vom echten Flöz zu den Kupferletten am Spessarttrande und den Frankenberg Kornähren des Edergebiets. Kurz, die ganze Fülle der mannigfaltigen Erscheinungsformen muß zusammengefaßt und berücksichtigt werden. Sie alle lassen sich beziehen auf den gemeinsamen Herd der permischen Eruptivgesteine. Die Mansfelder Lagerstätte ist weit davon entfernt, der alleinige Repräsentant dieser Lagerstättengruppe zu sein, sie ist nur ein Typus unter vielen, die alle epigenetisch gebildet sein müssen.

Und schließlich noch ein Wort über die Bedeutung älterer Literatur. Ich bin weit davon entfernt, die Zuverlässigkeit unserer alten Autoren irgendwie in Frage zu ziehen oder im geringsten anzuzweifeln. v. Veltheim, Freiesleben, Vogt, Feucht und viele andere sind mir Leute, vor deren gewissenhafter Naturbeobachtung und Berichterstattung ich die allergrößte Hochachtung habe; sie haben uns Aufzeichnungen wertvollster Art hinterlassen. Wir müssen aber wissen, was diese Schriftsteller mit ihren Mitteilungen bezweckt haben, auf

welche Beobachtungspunkte sie sich bezogen haben, und das ist uns leider nicht immer mehr möglich festzustellen. Ganz besonders wesentlich ist, daß man bei Mitteilungen über Metallgehalte weiß, ob es sich um Durchschnittsproben oder um Einzelproben gehandelt hat; solche Mitteilungen sind deshalb mit größter Vorsicht anzusehen. Darum kann ich nicht recht verstehen, warum Herr Prof. Lang die Zahlen aus neuerer Zeit, die jener fleißige und gewissenhafte Mansfelder Beamte über den Kupfergehalt in den abgebauten Flözflächen und Rücken mit unendlicher Sorgfalt zusammengetragen hat, nicht für mindestens ebenso beachtenswert hält wie die älteren Angaben, über deren Bedeutung und Zweck man zweifelhaft sein kann. Die Kritik muß jedenfalls gleichartig und bei alten wie bei neuen Zahlen vorsichtig sein!

Geheimrat Dr. J. Walther: Die Ausführungen des Herrn Vortragenden und die von Herrn F. Beyschlag dagegen erhobenen Einwendungen können in ihrer wissenschaftlichen Tragweite nur von dem ganz gewürdigt werden, der die Geschichte unseres Problems überschaut, daher möchte ich eine kurze Übersicht derselben geben:

Im Jahre 1815 veröffentlichte J. K. Freiesleben¹⁾ den dritten Teil seines klassischen Werkes, in dem er die Naturgeschichte des Kupferschiefers erläuterte und die Entstehung seines Erzgehaltes aus der Lösung des darüber stehenden Wassers erklärt; die Fische sind nach ihm eines natürlichen Todes gestorben, und die Rücken haben den Erzgehalt des Gesteins nur nachträglich verlagert und verändert.

In Ergänzung dazu betont v. Veltheim²⁾ auf Grund seiner langjährigen Erfahrungen im Mansfelder Bergbau, daß die Rücken in den meisten Fällen keine Veränderung des Kupfergehaltes bedingen.

Damit stimmt auch Plümicke³⁾ überein. Auch F. Beyschlag hat sich in seiner Abhandlung⁴⁾ über die Erzlagerstätten von Kamsdorf 1888 dahin ausgesprochen, daß der Kupfergehalt dieser tertiären Spalten aus dem erzführenden Zechstein stammen müsse.

Dieselbe Ansicht wurde von Posepny⁵⁾ im Jahre 1895 vertreten. Der vielgereiste Bergmann erklärt, „daß er zwar die deutschen Kupferschieferlagerstätten nicht genauer untersucht habe“, kommt aber auf Grund seiner Erfahrungen beim Bergbau von Hermannseifen in Böhmen zu der Auffassung, daß das Erz den bituminösen Letten nachträglich durch Spalten von unten zugeführt und hierbei sogar unter Verdrängung von Gips (!?) ausgeschieden worden sei. Nachdem dann bei unserer Tagung in Eisleben Herr Direktor Geipel⁶⁾ auf Grund eines umfassenden Beobachtungsmaterials gezeigt hat, daß eine Imprägnation des Kupferschieferflözes aus den Rückenspalten unmöglich sei, darf wohl diese Annahme als endgültig widerlegt betrachtet werden.

Die Freieslebensehe Auffassung, daß der Erzgehalt aus dem Wasser des Kupferschiefermeeres chemisch niedergeschlagen worden sei, ist dann besonders

1) J. K. Freiesleben, Geogn. Beitrag zur Kenntnis des Kupferschiefergebirges. Freyberg, I 1807 — III 1815. S. 156, 281.

2) v. Veltheim, Über das Vorkommen der metallischen Fossilien in der alten Kalkformation. Karstens Archiv für Bergbau und Hüttenwesen. Bd. XV. 1827. S. 138.

3) Plümicke, Darstellung der Lagerungsverhältnisse des Kupferschieferflözes. v. Dichen und Karsten, Archiv für Mineral., Geologie, Bergbau und Hüttenkunde. Bd. XVIII. 1844. S. 152.

4) F. Beyschlag, Die Erzlagerstätten der Umgebung von Kamsdorf in Thüringen. Jahrb. d. Pr. Geol. Landesanstalt Berlin. 1888. S. 370.

5) F. Posepny, Über die Genesis der Erzlagerstätten. Jahrbuch der k. k. Bergakademie Leoben. Bd. XLIII. 1895.

6) Geipel, Über die Rücken im Mansfeldschen Revier und ihren Einfluß auf die Erzführung des Kupferschiefers. Dieses Jahrbuch I. S. 21.

von v. Groddeck¹⁾ vertreten worden, und auch Bergeat²⁾ und Pompecki³⁾ haben sich ihm angeschlossen.

F. Beyschlag und P. Krusch⁴⁾ haben im Jahre 1904 in ihrer Lagerstättenlehre zwar ihre Stellung zu dem Problem nicht entschieden formuliert, halten aber doch eine Zuführung auf Spalten von unten für wahrscheinlich.

Seitdem hat der Streit um die Einführung des Erzgehaltes durch Vadose von oben oder durch Eruptose von unten nicht geruht, und man hat mit den Schlagworten syngenetisch oder epigenetisch das Wesen der sich entgegenstehenden Theorien kennzeichnen zu können geglaubt. Eine solche schematische Gegenüberstellung trifft aber nicht den Kernpunkt der Frage. Schon bei unserer Tagung in Eisleben habe ich die stratigraphische Aufeinanderfolge der Bildungsvorgänge des Erzgehaltes in folgender Weise zu gliedern versucht:

Oberes Karbon . . .	Kupfererzbildung im Kontakthofe der Granite und Gabbrostöcke des Oberharzes,
Unteres Rotliegendes	Abtragung der varistischen Falten bis auf die erzführenden Massen (Gänge und Erzlager des Rammelsberges),
Oberes Rotliegendes	Anreicherung der durch Verwitterung hierbei gelösten Kupfererze im Schutt der rotliegenden Wüstengebirge, welche den Kupferschiefer umgaben,
Unterer Zechstein	Auslaugung dieser Erzmengen durch starke Stickregen; Zuführung nach dem See, Verdampfung des fischreichen Wassers, Konzentration der Lösung, Niederschlag im bituminösen Faulschlamm.

Ich halte auch heute noch daran fest, daß die in dem damals abgetragenen Luftsattel des Rammelsberges vorhandenen Mengen von Kupferkies als Hauptquellen des Kupfergehalts vollkommen ausreichen. Wenn Herr R. Lang außerdem ähnliche schwache (uranhaltige) Metallösungen aus dem sächsischen Erzgebirge annimmt, so habe ich die Möglichkeit solcher Zuflüsse selbst betont, halte aber die daran geknüpften Verallgemeinerungen des Vortragenden nicht für richtig. Wer die verlassenen Kupferfundorte längs des Thüringer Waldes und des Voigtlandes kennt, wer die Originalberichte eines J. C. W. Voigt über das Schicksal des Ilmenauer Bergbaues gelesen hat, der wird eine Wiederaufnahme derselben nicht empfehlen können.

Herr F. Beyschlag⁵⁾ hat nun soeben ausgeführt, daß der Erzgehalt erst nach der Bildung des Kupferschiefers durch Mineralquellen aus den liegenden unterpermischen Magmagessteinen in den bituminösen Mergel hineingeführt worden sei. Aber da wir in unserem Halleschen Porphyrr nirgends primäres magmatisches Kupfer kennen und längs des erzreichen Reviers zwischen Eisleben und Hettstedt, ebenso wie am Hornburger Sattel und der Hettstedter Brücke permische Eruptivgesteine fehlen, scheint mir eine solche Annahme zu hypothetisch.

Der Kupferschiefer als aufgelagertes Sediment ist ein Leitgestein, d. h. eine in der ganzen Erdgeschichte so einzigartige, nie wiederkehrende lithologische

1) v. Groddeck, Erzlagerstätten. S. 95.

2) Bergeat, Die Erzlagerstätten. Leipzig 1904. I. S. 412.

3) Pompecki, Das Meer der Kupferschiefer. Branca-Festschrift. Leipzig 1914. S. 444.

4) F. Beyschlag und P. Krusch, Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine. Bd. II. S. 611 u. 616.

5) Inzwischen hat Herr F. Beyschlag in einer zusammenfassenden Abhandlung (Die Erzführung der Kupferschiefer Zeitschr. f. prakt. Geologie. Halle 1921. S. 1) diese Darstellung in folgender Weise ergänzt: Der gesamte Erzgehalt sowohl des Kupferschiefers wie des Weißliegenden und der Rückenspalten ist eine einheitliche, gleichzeitige und gleichartige Bildung und stammt aus den rotliegenden Porphyren.

Da die Rücken tertiären Alters sind, müßte also der Kupfer- und Silbergehalt in den permischen Magmagessteinen während der ganzen Zechstein-, Trias-, Jura- und Kreidezeit unverändert geblieben und erst nach der Spaltenbildung im Tertiär aufgestiegen sein.

Erscheinung, daß man seine Entstehung nur unter Berücksichtigung aller paläoklimatischen Umstände befriedigend erklären kann. Wir müssen dabei im Auge behalten, daß er in einer Übergangszeit zwischen dem festländischen Unterperm und dem marinen Zechstein entstand, daß sein Fossilgehalt aus Landpflanzen, luftatmenden Sauriern, Süßwasserfischen (*Palaeoniscus*) und vereinzelt Meerestieren (*Menaspis*, *Pygopterus* u. a.) gemischt ist und daß das Kupferschieferbecken viel kleiner war als die kurz darauf vom Zechsteinmeer überflutete Fläche.

Das Weltmeer, als das gemeinsame Sammelbecken aller Mineralquellen und vadosen Gewässer, hat zwar zu allen Zeiten die jeweils durch Verwitterung und Auflösung von magmatischen Erzmassen oder Erzgängen entstandenen schwachen Metallösungen gesammelt, und so entstanden in seinem Boden (neben dem durch Verwesung organischer Substanz leicht gebildeten Schwefeleisen, das in tonigen Gesteinen so oft als Versteinerungsmittel die organischen Kalkreste ersetzt hat) gelegentlich auch geringe Ausscheidungen von Kupferkies oder Bleiglanz. Aber eine so starke Speicherung derselben, wie sie der Kupferschiefer zeigt, konnte in einem normalen Meeresschlamm selbst bei starkem Vorwiegen von reduzierenden Bitumen nicht erfolgen.

Viel günstiger liegen die Verhältnisse am Boden eines flachen abflußlosen Beckens, das unter dem verdunstenden Einfluß des Wüstenklimas schrumpft. Die Erznieerschiefer von Goldlauter, die Bleierzknotten des rheinischen Buntsandsteins, der Metallgehalt im Zechsteinsalz, Muschelkalk und Keuperletten läßt sich leicht auf solchem Wege erklären.

Aber keines dieser erzführenden Schichtgesteine läßt sich mit dem Erzreichtum des Kupferschiefers vergleichen, und so werden wir zu der Annahme gedrängt, daß erst durch das Zusammentreffen verschiedener, in demselben Sinne wirkender paläoklimatischer Umstände eine so konzentrierte Metalllösung angereichert und ausgefällt werden konnte.

Weder die (völlig hypothetische und durch keine Tatsache gestützte) Annahme submariner Mineralquellen, noch der Vergleich mit dem Erzgehalt von (ehemals rings geschlossenen unterirdischen) Grenzspalten oder der Hinweis auf den schwachen Kupfergehalt permischer Eruptivgesteine vermag die Speicherung des in geschichtetem Sediment als „Speise“ fein verteilten silberhaltigen Kupfers befriedigend zu erklären

Prof. Dr. Föhr, Köthen: Der inhaltreiche Vortrag von Prof. Lang kommt auf Grund von reichem Material zu der Annahme, daß der Metallinhalt des Kupferschiefers nicht epigenetisch sondern syngenetisch entstanden sei, und daß die Erze vom Erzgebirge stammen.

Ich bin trotz der Beweisführungen des Vortragenden nicht zu dieser Überzeugung gekommen, mir scheint das „Erzgebirge“ viel zu weit hergeholt zu sein. So stimmt z. B. die Begründung, daß die Elemente Uran, Vanadium und Molybdän im Harze fehlen, nicht. Molybdän kam auf der Grube Albertine bei Harzgerode, wenn auch als Seltenheit, als Wulfenit (Bleimolybdat) und auch als Molybdänocker vor, Pechblende Uranoxyd soll als Seltenheit in den oberen Teufen der Grube Hoffnung Gottes bei Harzgerode vorgekommen sein. Möglicherweise würde eine Durcharbeitung der Harzgeröder Sammlung noch Unterlagen ergeben. Vanadium soll in Spuren in verschiedenen Eisenerzen des Unterharzes nachzuweisen sein. Diese Frage bedarf also zum mindesten einer eingehenden Untersuchung. Zum mindesten sind die Eisensauen der früheren Silberhütte im Selketale auf diese Elemente genau zu untersuchen. Ferner: woher kommt es, wenn der Metallinhalt des Mansfelder Kupferschiefers aus dem Erzgebirge stammt, daß Wolfram, das doch dort eine wesentlich wichtigere Rolle spielt

als das Molybdän, im Kupferschiefer und den daraus hergestellten Hüttenprodukten und Zwischenprodukten meines Wissens nicht vorkommt. Daraus könnte man doch mit demselben Rechte, wie der Herr Vortragende aus dem Vorkommen von Molybdän, Uran und Vanadium auf das Erzgebirge als Ausgangspunkt schließt, die Folgerung ziehen, der Metallinhalt stammt weder vom Erzgebirge noch vom Harz, denn es fehlt ihm Wolfram. Ebenso findet sich Zinn im Erzgebirge und, wenn auch ganz untergeordnet, im Unterharze, in den Kupferschiefern ist es meines Wissens gleich dem Wolfram nicht bekannt.

Ebensowenig scheinen mir die Schlüsse, die Professor Lang aus den Silber- und Kupfergehalten und aus dem Verhältnisse zueinander zieht, bindend zu sein. Ganz abgesehen davon, daß die Produktionszahlen von Silber und Kupfer Durchschnittszahlen sind, die unter das bekannte Gesetz von den großen Zahlen fallen, so sind die Unterschiede im Gehalte auf den einzelnen Förderpunkten in nächster Nähe beieinander oft viel größer als die Differenzen, mit denen Herr Professor Lang operiert. Dabei spielt auch die Vervollkommung der Hüttenprozesse, die ein immer höher steigendes Ausbringen des Silbergehaltes zur Folge hatte, eine wichtige Rolle.

Wir haben auch nordwestlich vom Harze z. B. bei dem Wohlsdorfer-Köthener Vorkommen des Kupferschiefers zum Teil höhere Silbergehalte als durchschnittlich im Mansfelder Kupferschiefer.

Dagegen spricht alles dafür, daß der Erzbringer das benachbarte Magma war, speziell sind es die Porphyre und Melaphyre. Ich hatte darauf schon bei der Sitzung des Verbandes in Eisleben hingewiesen. Die Porphyre sind überall, nicht nur in Europa, die Bringer des Kupfers.

Der größte Teil der Weltproduktion an Kupfer stammt in Nordamerika und Canada aus dem Porphyry, wo es allerdings in der Hauptsache als metallisches Kupfer aus dem Porphyry gewonnen wird.

Viel wichtiger ist aber, daß fast alle unsere mitteldeutschen Porphyre, auch die der Umgebung von Halle, einen geringen Kupfergehalt zeigen, wenn wir die Gesteine nach den Sandbergschen Methoden aufschließen und untersuchen. Ja selbst wenn wir geringe Mengen von ca. 1 g von frischem unangegriffenem Gestein mit Flußsäure aufschließen und in verdünnter ganz schwachsaurer Lösung längere Zeit mit Schwefelwasserstoff behandeln, so erhalten wir eine deutliche Trübung, ja meist einen schwachen Niederschlag von Sulfiden, die in der Hauptsache aus Schwefelkupfer bestehen. Ja manche Porphyre und Melaphyre zeigen bei sehr umfangreichen vorsichtigen Konzentrationsarbeiten wenigstens noch Spuren von Silber, allerdings lange nicht in dem Maße wie die Diabase. Im allgemeinen sind es nach meinen Untersuchungen die Hornblenden und Augite dieser Gesteine, die einen verhältnismäßig hohen Gehalt an Metallen bringen, deshalb müßte sich in erster Linie die Untersuchung mit Hornblende führenden Porphyren und Melaphyren beschäftigen.

Jedenfalls ist hier noch ein weites Gebiet für weitere Untersuchungen.

Ich halte demnach für die Quelle der Gangerze des Harzes und der Kupferschiefer das Magma, und zwar für den Harz den Diabas und für Mansfeld den Porphyry.

Bergwerksdirektor Dr. Gillitzer, Eisleben: Herr Professor Lang ist der Ansicht, daß der Metallgehalt des Kupferschiefers von primären Lagerstätten stamme, die im sächsischen Erzgebirge gelegen sind, und knüpft hieran die für uns Praktiker bedeutsame Schlußfolgerung, daß womöglich die reichsten Erzareale südlich von unserem Mansfelder Vorkommen noch unerschlossen vorlägen.

Mir kann diese Deutung nicht recht einleuchten, wenn man die Permformation nach daselbst vorkommenden Kupfererzlagern etwas allgemeiner ins Auge faßt: in der Permzeit kommen Kupferlagerstätten vor in Rußland zwischen Wolga und

Ural, in Schlesien bei Goldberg, in Böhmen, in Unterfranken (Bohrloch von Mellrichstadt), im westlichen Mitteldeutschland bei Frankenberg, Stadtberge, Thalitter, in der Nahegegend bei Kirn-Birkenfeld und in der Rheinpfalz, weiter in Texas in weitausgedehntem Gebiete, in Neuschottland, also in Gegenden, die mit den erzgebirgischen Primär-Lagerstätten zweifellos in keinem Zusammenhange stehen; vielmehr ist die Verbreitung von Kupfermetall der Permformation derart eigen, daß man die Kupferführung nahezu als Charakteristikum bzw. Erkennungsmerkmal des Perms ansprechen könnte, man findet in der Geologie für das Perm auch zuweilen die Bezeichnung „Kupferformation“. Geht man von dieser Tatsache aus, so muß man sich sagen, daß doch gerade im Perm ganz bestimmte Ursachen vorgelegen haben müssen, die eben diese Kupfererzbildung bewirkten; solche ganz besondere Ursachen sind auch im Perm zu erkennen, und ich möchte gerade auf das andere Hauptcharakteristikum der Permzeit hinweisen, das sind die Ausbrüche von Porphyren und Melaphyren. Eben in diesen Eruptivgesteinen ist der primäre Kupfergehalt für die wohl hauptsächlich als sedimentär zu deutenden Erzvorkommen des Mansfelder Kupferschiefers gegeben. Daß diese Kupferführung, von der man in den Lagerstättenkunden bisher auffallend wenig finden kann, in der Permformation tatsächlich primär vorkommt, ist aus der verbreiteten Kupferführung der mächtigen permischen Melaphyrstöcke des Nahegebietes von Kirn-Birkenfeld zu beweisen, wo während der Kriegezeit auf diese Erzvorkommen umfangreiche Schürfarbeiten im Gange waren.

Da nun in fast allen permischen Schichten Eruptivgesteine mit Kupfermagmen, die vielfach wohl in sehr fein verteilter bzw. imprägnierter Form vorkommen, nachzuweisen sind, da weiter permischer Porphyr und Melaphyr auch in Mitteldeutschland gefunden wird (so z. B. Kickelhahn bei Ilmenau, bei Halle, östlich von Leipzig usw.), da endlich im Liegenden unseres Mansfelder Kupferschiefers aufbereitete Porphyrollstücke als Konglomerat vielerorts aufgeschlossen sind, liegt keine andere Erklärungsmöglichkeit näher als die Annahme, daß auch der Kupfergehalt unseres Mansfelder Schiefers nichts anderes darstellt als das Aufbereitungsprodukt von permischen Porphyr- oder Melaphyrmassen¹⁾, die an ganz verschiedenen Stellen unserer Gegend emporgedrungen waren und die je nach Quantität und Qualität des primären Erzgehaltes auch lokal mehr oder weniger Kupfer- oder Silberführung in der sekundär gebildeten Kupferschieferlagerstätte bewirkten. Entstammte der Erzgehalt des Kupferschiefers dem sächsischen Erzgebirge, so wäre auch das Fehlen von Wolfram, jenes charakteristischen Elements der erzgebirgischen Lagerstätten, im Mansfelder Schiefer schwer zu erklären.

Abgesehen von den eben dargelegten lagerstättlichen Erwägungen möchte ich noch kurz einige tektonische Bedenken gegen die Hypothese vorbringen, daß die Metallzufuhr vom sächsischen Erzgebirge aus erfolgt sein soll. Die Rekonstruktion der Erdoberfläche unmittelbar vor Beginn der Zechsteinsedimentation im Süden des mitteldeutschen Zechsteins zeigt folgendes Bild: der Rücken des Erzgebirges selbst streicht im variszischen Sinne von SW nach NO; gegen Sachsen und Thüringen sind verschiedene größere Parallelfalten in der gleichen Streichrichtung vorgelagert, so daß im Süden der eigentliche Erzgebirgszug zu verzeichnen ist, nördlich daranschließend das sächsische Mittel- oder Granulitgebirge und unmittelbar nördlich von diesem ein zum Teil von jüngerem Schwemmland bedeckter Sattelzug, der noch in den Liebschützer Bergen bei Strehla a. E. zu erkennen ist (vgl. Credner, „Über das erzgebirgische Faltenystem“, Vortrag geh. auf dem Deutsch. Bergmannstag, Dresden 1883, sowie Süss, „Antlitz der Erde“,

1) Hierzu vergleiche man indessen die tatsächlichen Ermittlungen von F. v. Wolff über den Kupfergehalt der rotliegenden Eruptivgesteine Mitteldeutschlands, dieses Jahrbuch III, S. 115. Der Herausgeber.

2. Band). Wenn nun auch der nördlichste Flankenzug sehr stark abradiert ist und zum Teil auch in der Rotliegendenzeit erheblich angefressen worden war und deshalb unter der jüngeren Bedeckung nicht mehr so in die Augen fällt, so war doch zur Präpermzeit das Gebirgsbild ein viel imponierenderes als zur Jetztzeit, die drei Züge bildeten damals wohl ein mächtiges Gebirgsmassiv. Einige präkarbonische Querspalten legten zwar bis in den mittleren Granulitzug eine Bresche, worin sich die Oberkarbon- und Rotliegende-Bucht von Zwickau und Chemnitz einnisten konnte, eine Kommunikation in der Zechsteinzeit bis zum erzgebirgischen Hauptzug läßt sich jedoch auch durch diese Bucht nicht nachweisen, da Zechsteinsedimente bei Zwickau und südlich davon nicht vorhanden sind und wohl auch nie vorhanden waren.

Bei dieser orographischen Konstellation während der Zechsteinperiode muß die Erklärung als etwas gezwungen erscheinen, daß vom südlichsten Kamm des eigentlichen Erzgebirges die Metalllösungen über den eine freiere Kommunikation nach Norden zu versperrenden Granulitzug hinweg verfrachtet worden sein sollen, teilweise in Gegenden, die vom Erzgebirgskamm 150 bis 200 km entfernt liegen, noch dazu, wenn man bedenkt, daß die Sedimentation des Kupferschiefers allem Anschein nach in einem sehr seichten und ruhigen Seebecken vor sich gegangen sein muß, in dem ein stärkeres Strömen von Flüssigkeiten auf weite Entfernungen hin kaum angenommen werden dürfte.

Dr. B. v. Freyberg, Halle: Wenn die Frage aufgeworfen wird, ob der Kupfergehalt des Kupferschiefers aus dem Harz oder aus dem Erzgebirge herzuleiten ist, so kann deren Beantwortung nur auf Grund der paläogeographischen Verhältnisse bei Beginn der Zechsteintransgression erfolgen. Die oberrotliegende Landoberfläche war keineswegs, wie man aus der Darstellung von Herrn Professor Lang herauslesen muß, eine abgetragene Rumpffläche. Quer durch Thüringen zogen sich noch in SW-NO-Richtung die varistischen Faltenketten und lieferten Schuttmassen für die zwischen ihnen liegenden terrestrischen Sammelmulden, bis sie selbst von den Sedimenten des mittleren und oberen Zechsteins größtenteils überdeckt wurden. Ein Festland, auf dem sich so grobklastische Sedimente ablagern, wie wir sie im Oberrotliegenden vor uns sehen, ist weit entfernt vom Zustand einer Rumpfebene. Daß entlang den varistischen Sattelachsen tatsächlich nicht unbedeutende Erhebungen vorhanden gewesen sind, das geht aus der oft bedeutenden Diskordanz hervor, mit der ihnen der Zechstein auflagert. Alle diese Erscheinungen sind in der beistehenden Tabelle kurz zusammengefaßt.¹⁾ Es ist daraus zu ersehen, daß auch der Oberharz, soweit er zur mitteldeutschen Hauptfalte gehörte, von der Transgression im unteren Zechstein verschont geblieben ist. Damals schon unterlagen die Kupfererzlagerstätten des Oberharzes der Verwitterung, und es ist kein Grund vorhanden für die Annahme, daß die Verwitterungsprodukte nicht in das Zechsteinmeer gelangt sind. Der Oberharz muß nach wie vor als Haupterzlieferant für den Kupferschiefer gelten. Dabei kann der Einwand, es handle sich hier nicht um Inseln, sondern um Untiefen, nicht beweiskräftig sein. Eine vom Sediment freibleibende Untiefe übt in unserem Falle die gleiche Wirkung aus. Es kann aber kein Zweifel darüber bestehen, daß am Oberharz auch Inseln bestanden haben, denn es fehlt nicht nur der gesamte untere Zechstein, es fehlen auch chemische Sedimente des mittleren Zechsteins. Der ältere Anhydrit wäre auch auf Untiefen zur Ablagerung gekommen. Daß er am Harz nicht etwa sekundär ausgelaugt wurde, sondern von vornherein fehlt, beweist die Bohrung von Fuhrbach. So muß also die von

¹⁾ Ausführlicher behandelt in: Die Zechsteintransgression in Thüringen und die Eindampfung der Zechsteinsalze. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1921, Heft 2.

Herrn Geheimrat Walther zuerst geäußerte Ansicht, daß der Kupfergehalt vom Oberharz abzuleiten ist, als zu Recht bestehend anerkannt werden.

	Mitteldeutsche Hauptfalte	Ruhlaer Sattel-Unterharzfalte	Schwarzburger Sattel
Rotliegendes	fehlt	fehlt	fehlt
Unterer Zechstein in Randfacies	Richelsdorfer Gebiet, Albungen, Duderstadt (Bohrung)	Schmalkalden, Wutha, Eisleben-Leimbach	Meeder, Steinheid, Königsee
Bryozoenriffe	Römerstein	Schmalkalden, Liebenstein, Wutha	Königsee, Porstendorf
Zechsteinkonglomerat fehlt	Richelsdorfer Gebiet, Fuhrbach (Bohrung), Scharzfeld	Schmalkalden, Wutha, Kyffhäuser, Breitungeng	Meeder, Steinheid, Porstendorf } (Boh- Bürgel } rungen)
Kupferschiefer fehlt	Duderstadt, Fuhrbach, Scharzfeld	Schmalkalden, Wutha	Meeder, Steinheid, Porstendorf, Bürgel
Zechsteinkalk fehlt	Fuhrbach, Scharzfeld	Schmalkalden, Wutha	Steinheid, Bürgel
Mittler Zechstein fehlt	Fuhrbach, Scharzfeld	Schmalkalden	Steinheid
Der gesamte Zechstein fehlt	?	Schmalkalden	Steinheid

Prof. Dr. E. Erdmann: Für die Diskussion des heute gehörten Vortrages handelt es sich um zwei ganz verschiedene Fragen:

1. Ist der Kupferschiefer samt seinem Erzgehalt ein Sediment des Meeres? und
2. Stammt sein Metallgehalt letzten Endes aus dem Erzgebirge oder aus welcher Quelle sonst?

Die erste dieser beiden Fragen haben wir bereits auf der Mitgliederversammlung des Halleschen Verbandes in Eisleben am 29. Juni 1918 eingehend diskutiert. Wir kamen zu dem einmütigen, auch von dem damaligen Vortragenden, Bergwerksdirektor Geipel, vertretenen Schluß, daß die gesamte Erzführung des Kupferschiefers gleichzeitig mit dem bituminösen Mergelschiefer aus dem Meere ausgeschieden worden ist, unbeschadet einer späteren Verschiebung des vorhandenen Kupfergehaltes als Folge des Entstehens der Rückenspalten.

In Ergänzung meiner damaligen Ausführungen¹⁾ vom Standpunkt des Chemikers möchte ich folgendes bemerken:

Jeder stichhaltige Erklärungsversuch früherer geologischer Vorgänge muß sich auf beobachtete Tatsachen der Jetztzeit stützen; nur die genaue Kenntnis und Würdigung rezenter Bildungen chemischer, biologischer und physikalischer Art wird einen einigermaßen sicheren Rückschluß auf die Vergangenheit ermöglichen. Unsere Kenntnis der Meeresablagerungen beruht hauptsächlich auf den wissenschaftlichen Tiefseeforschungen und Expeditionen, die in dem letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts von seiten der Gelehrtenwelt verschiedener Nationen ausgeführt worden sind. Ich weise als besonders wichtig hin auf die englische Challenger-Expedition 1873—1876²⁾, die Arbeiten der deutschen Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere³⁾, die österreichische Pola-Expedition nach dem östlichen Mittelmeer

1) Dieses Jahrbuch I, 27.

2) Siehe besonders Dittmar, The voyage of H. M. S. Challenger, Physics and Chemistry Vol. I (1884).

3) Bericht der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere in Kiel 1878—1881. Berlin 1881. Siehe namentlich Ad. Engler, „Über die Pilzvegetationen des weißen oder toten Grundes der Kieler Bucht“, 4. Bericht der Kommission VII. bis IX. Jahrg., Seite 185 (2. Hälfte).

1890—1891¹⁾ und die russische Tschernomoretz-Expedition im Sommer 1890 zur Erforschung des Schwarzen Meeres.²⁾

Aus diesen Tiefseeforschungen weiß man, wie der Herr Vortragende richtig hervorgehoben hat, daß Meerwasser schwach alkalisch reagiert, weil infolge der Oxydation stickstoffhaltiger organischer Substanzen außer Kohlendioxyd Ammoniak entsteht. Namentlich im Grundschlamm des Meeres ist ein bedeutender Gehalt an Ammoniak nachgewiesen³⁾, so daß die freie Kohlensäure dadurch gebunden und durch das Ammoniumcarbonat ein Mergel niedergeschlagen wird, wie er auch die Hauptmasse des Kupferschiefers bildet.

Die gleichzeitige Bildung von Sulfiden auf dem Meeresgrund ist hingegen ein Ausnahmefall, der nur dann eintritt, wenn das Meerwasser bei Abwesenheit von freiem Sauerstoff mit stickstoffhaltigen organischen Substanzen und Metallverbindungen in Berührung kommt. In diesem Falle wird der gebundene Sauerstoff der Sulfate des Meerwassers zur Oxydation der organischen Stoffe benutzt. Dadurch werden dann die Sulfate zu Sulfiden reduziert. Soviel man weiß, ist diese Reduktion immer mit biologischen Prozessen verknüpft und von diesen abhängig. So findet die sehr häufig im Schlamm von Kloaken, Mooren und Sümpfen zu beobachtende Bildung von Calciumsulfid statt, wenn organische Substanzen in gipshaltigem Wasser bei Luftabschluß in Gärung geraten. Die Reduktion schließt sich als ein sekundärer Prozeß an die Gärung der Cellulose, der Eiweißstoffe oder andere Gärungsprozesse an. Ist in einem gärenden Schlamm Gips und Eisenoxyd gleichzeitig vorhanden, so wird zuerst durch die starke Reduktionswirkung der Gärung der Gips in Calciumsulfid übergeführt und dann durch Umsetzung mit dem Eisenoxyd Schwefeleisen gebildet.⁴⁾ Ebenso werden andere etwa vorhandene Metallsalze in Sulfide verwandelt oder durch Schwefelwasserstoff, den die Kohlensäure aus Calciumsulfid frei macht, direkt gefällt. Demgegenüber kommt der geringe Schwefelgehalt des Eiweißes wenig in Betracht. Nicht die Eiweißstoffe der organischen Substanz liefern die großen Mengen des in den tieferen Meeresschichten unter gewissen Bedingungen auftretenden Schwefelwasserstoffs, sondern die Sulfate des Meerwassers.

Dagegen wäre eine Abscheidung von Metallsulfiden aus Metallsalzlösungen, die nach Ansicht der Epigenetiker von unten aufsteigend in Berührung mit verfestigtem, als geologische Schicht abgelagertem Bitumen treten, chemisch nicht ohne weiteres verständlich. Abgesehen von der mir unlösbar erscheinenden Schwierigkeit der Vorstellung, wie denn ein fester bituminöser Schiefer auf große Strecken und Flächen von wässerigen Lösungen durchdrungen sein soll, könnte die Bildung von Metallsulfiden, da biologische Prozesse hier ausge-

1) Natterer, See-Berichte der Kommission für Erforschung des östlichen Mittelmeeres, Denkschrift der math.-naturw. Klasse der Kaiserl. Akad. der Wissensch. Wien, Bd. 59—61 (1892—1894). — Derselbe, Monatsh. f. Chem. 13 (1892), 895 und „Zur Chemie des Meeres“, Habilitationsschrift 1892.

2) Woeikow, Petermanns Mitteilungen Bd. 37 (1891), 33; Andrussow, Bull. de l'Académie impériale des Sciences de St. Petersburg (Serie III) 1894, S. 437, 422; Derselbe, Preliminary account of deep-sea soundings in the Black Sea, St. Petersburg 1890. Die Originalmitteilungen der Teilnehmer an der Expedition, z. B. die Vorträge von Baron Wrangell (15. 10. 1890) und Spindler (1. 12. 1890) in den Sitzungen der Kaiserl. russ. Geograph. Gesellschaft sind in den Denkschriften dieser Gesellschaft (1891—1894) in russischer Sprache veröffentlicht. Vgl. auch Compt. rend. 111 (1890), 430 sowie Natterer, Akad. d. Wissensch. Wien Bd. 61, 46 und Dittmar, The voyage of H. M. S. Challenger. A Summary of the scientific results, First part, S. 106c.

3) J. Walther und P. Schirlitz, Studien zur Geologie des Golfes von Neapel. Z. d. deutsch. geol. Ges. Berlin, 1886, S. 333. — Natterer, Akad. d. Wissensch. Wien, Bd. 59 (1892), 93; 60 (1893), 55; 61 (1894), 37.

4) Vergleiche die Versuche von Hoppe-Seyler, Zeitschr. physiol. Chem. 10 (1886), 432 ff. Siehe auch Walther und Schirlitz, a. a. O. S. 337.

geschlossen sind, doch wohl nur auf die Annahme gestützt werden, daß der bituminöse Schiefer bereits ein Sulfid, z. B. Schwefeleisen, in genügender Menge enthielt, welches mit anderen Metallsalzen in Wechselwirkung treten konnte. Wenn man aber Schwefeleisen als syngenetische Bildung annehmen will, warum denn nicht auch die gleichzeitige primäre Bildung des Schwefelkupfers und der anderen Sulfide, die nachgewiesenermaßen ebenso im Kupferschiefer wie auch im Meerwasser enthalten sind?¹⁾

1) Das Meerwasservorkommen der das Kupfererz im bituminösen Schiefer begleitenden Stoffe bildet einen starken Beweis der syngenetischen Bildung des sedimentierten Kupferschiefers. Daher sei nachstehend die bezügliche Literatur aufgeführt. Von den im Kupferschiefer vorhandenen Elementen sind im Meerwasser bzw. in der Asche von Seepflanzen oder Seetieren außer dem weiter unten besonders behandelten Kupfer die folgenden nach gewiesen:

1. Silber wurde zuerst von Malaguti in einer Koralle, *Pocillopora*, aufgefunden, später von verschiedenen Chemikern auch direkt aus Meerwasser abgeschieden, siehe Forchhammer, Philos. Trans. R. Soc. London 155 (1865), 211. 100 l Meerwasser enthalten im Durchschnitt 1 mg Silber.

2. Eisen ist von Usiglio, Annales Chim. Phys. (3) 27 (1849), 92 direkt im Meerwasser nachgewiesen worden. Mittelmeerwasser enthält auf 100 g Gesamtsalz 0,005 Eisen. In großer Menge ist es in der Asche von Meerespflanzen und in den Kalksalzen von Seetieren vorhanden, vgl. Forchhammer a. a. O. Seite 212.

3. Zink findet sich in beträchtlicher Menge in der Asche von Seepflanzen. Die Asche von *Zostera marina* enthält 0,035% Zinkoxyd, Forchhammer a. a. O. Seite 212.

4. Mangan begleitet das Eisen im Meerwasser und kann direkt bestimmt werden. Die Asche von *Zostera marina* enthält davon etwa 4%, so daß sie beim Übergießen mit Salzsäure nach Forchhammer (a. a. O.) unter Chlorentwicklung aufbraust.

5. Blei ist in der Koralle *Pocillopora alicornis* in größerer Menge noch als Kupfer vorhanden, achtmal soviel als Silber. Auch im Seetang (*Fucus vesiculosus*) wurde es nachgewiesen, Forchhammer a. a. O.

6. Kobalt fand Forchhammer in der Asche von *Zostera marina* und

7. Nickel in der Asche von Seepflanzen.

8. Arsen wurde im Meerwasser durch Daubré entdeckt, vgl. Dittmar, Report on the scientific results of the voyage of H. M. S. Challenger. Physics and Chemistry Vol. I (1884), Seite 2.

9. Gold enthält das Meerwasser in minimaler Menge (Sonstadt, Chem. News 26 (1872), 159). Die Bestimmungen schwanken zwischen 32 und 64 mg Gold in der Tonne (vgl. Wiesler, Zeitschr. angew. Chem. 19 (1906), 1795).

10. Molybdän ist bisher zwar nicht im Meerwasser nachgewiesen, wohl aber in Mineralwässern, so durch Mazade (Compt. rend. 32 (1851), 685) im Mineralwasser von Neyrac (Ardèche). Die Annahme, daß es auch im Meerwasser sich vorfindet, ist hiernach wohl begründet.

11. Aluminium ist, wie Forchhammer (a. a. O. Seite 213 und 211) nachwies, im Meerwasser nicht nur in suspendiertem Zustande, als Ton, sondern auch in gelöstem Zustande in nicht unbeträchtlicher Menge vorhanden.

Zinn und Wolfram, die im Kupferschiefer fehlen, sind auch im Meerwasser nicht gefunden worden.

Von denjenigen Elementen, die aus ihren Verbindungen durch Schwefelwasserstoff oder Schwefelammonium nicht gefällt werden, aber gleichwohl Bestandteile sowohl des Kupferschiefers wie des Meerwassers bilden, sind außer dem bekanntlich in großer Menge vorhandenen

12. Calcium und 13. Magnesium noch zu nennen:

14. Silicium (Forchhammer a. a. O. Seite 208), ferner Strontium, Lithium und Ammoniak.

15. Strontium entdeckte Forchhammer (a. a. O. Seite 213) im Seewasser, Dieulafait, Annales Chim. Phys. (5) 18, 373 (1879), im Schlamm der Salzgärten und im Mansfelder Kupferschiefer. Ein Zehntel Gramm des letzteren genügt zum spektroskopischen Nachweis des Strontiums. Aller Wahrscheinlichkeit nach wird es in dem bituminösen Mergel als Carbonat vorhanden sein.

16. Lithium, von Berzelius im Mineralwasser von Eger-Franzensbad aufgefunden, fehlt nach Kirchhoff und Bunsen selten in kochsalzhaltigen Quellen und ist in nicht unbeträchtlichen Mengen in jedem Meerwasser vorhanden, vgl. Dieulafait, Compt. rend. 88, 656; 89, 453. Dieser Forscher wies das Lithium ferner im Meeresschlamm der Watten und ebenso im Mansfelder Kupferschiefer als charakteristischen, spektralanaly-

Allerdings sind besondere Verhältnisse für die Bildung von Sulfiden auf dem Meeresgrund erforderlich; indessen sind die hierzu nötigen Bedingungen durch die Tiefsee- und sonstige Meeresforschung in verschiedenen Fällen aufgefunden und festgestellt worden. Am augenfälligsten fand man sie in den Tiefen des Schwarzen Meeres; aber auch in dem Grundschlamm der Bucht von St. Jean d'Acre (Akka) an der syrischen Küste¹⁾, ferner in abgeschlossenen Meeresbuchten, wie der Kieler Bucht, und in seichten verkehrsreichen Meeresteilen, namentlich Häfen kommt es zur Abscheidung von schwarzem Schwefeleisen. Die erforderliche Bedingung, Zusammentreffen organischer Reste mit Sulfaten und Metallsalzen bei völligem Abschluß des Luftsauerstoffs, wird im Schwarzen Meere dadurch geschaffen, daß in der Tiefe eine spezifisch schwere Salzwasserschicht vorhanden ist, die überlagert wird von einem salzärmeren Oberflächenwasser, dem die einmündenden Flüsse ständig Süßwasser zuführen. Unter solchen Umständen findet keine Mischung des sauerstoffhaltigen Wassers der oberen Schichten mit den unteren Schichten statt, so daß letztere von der Luft abgeschlossen bleiben. Nur oben herrscht reiches Leben von Organismen; die Pflanzen und Tiere sinken nach dem Tode in die Tiefe und zersetzen sich im gärenden Schlamm. Durch die ständige Zufuhr organischer Substanzen und die Vermittlung von Mikroorganismen kann die Reduktion der Sulfate zu Schwefelmetall und Schwefelwasserstoff auch im Meerwasser selbst eintreten. Im Schwarzen Meer beginnt das Wasser in einer Tiefe von 137 m nach Schwefelwasserstoff zu riechen und 360 m tief wird der Gehalt an diesem giftigen Gase so groß, daß alles höhere organische Leben erstickt.

Ähnliche Verhältnisse liegen nach der Schilderung von Ad. Engler²⁾ an gewissen seichten Stellen der Kieler Bucht vor, dem „weißen Grund“ oder „toten Grund“, so genannt, weil an diesen Stellen keine lebenden Fische angetroffen werden. Hier ist der Grundschlamm von dichtem weißen Pilz überzogen. *Beggiatoa alba* und *B. mirabilis* sind es, die sich dort ansiedeln, wo sich Schwefelwasserstoff entwickelt. In den höheren Schichten verschwindet der Schwefelwasserstoff, weil er von sauerstoffhaltigem Wasser oxydiert wird. Am Boden aber ist dies nicht der Fall, und der eisenhaltige Meeressand wird dort unter der weißen Pilzdecke der *Beggiatoen* durch Bildung von Schwefeleisen geschwärzt. — Auch im Fangoschlamm des Golfes von Neapel ist Schwefeleisen festgestellt worden.³⁾

An diese wissenschaftlich feststehenden Beobachtungen aus der Jetztzeit muß jede chemisch brauchbare Vorstellung über die Bildung des Kupferschiefers anknüpfen. Die Hypothese von der Kupferzuführung aus der Tiefe durch aufsteigende Lösungen ist durch keinerlei exakten Beweis gestützt und um so weniger haltbar, als nach von Wolfs⁴⁾ Versuchen die rotliegenden Eruptivgesteine, die das Liegende des Kupferschiefers in der Mansfelder Gegend bilden, keinen irgendwie höheren Kupfergehalt besitzen. Hingegen ist Kupfer, worauf mit scharfer Betonung wiederholt hingewiesen werden muß, ein normaler Bestandteil des Meerwassers.

tisch schon in einem Milligramm des Schiefers zu entdeckenden Bestandteil nach. In welcher Form das Lithium im Kupferschiefer enthalten ist, ob als Carbonat, Phosphat oder in Verbindung mit Kieselsäure, ist nicht näher bekannt.

Von dem Gehalt des Seewassers an 17. kohlen saurem Ammonium war schon oben die Rede. Im Kupferschiefer läßt sich ebenfalls Ammoniaksalz nachweisen. Dieulaufait (*Annales Chim. Phys.* (5) 18, 373) fand in 100 g des Schiefers 0,816 mg Ammoniak.

Aus den gegebenen Literaturnachweisen springt die weitgehende Analogie in der qualitativen Zusammensetzung des Kupferschiefers und des Meerwassers wohl jedem objektiv Urteilenden in die Augen.

1) Natterer a. a. O., Bd. 60 (1893), 62.

2) a. a. O.

3) J. Walther und P. Schirlitz, a. a. O. S. 332.

4) Siehe die folgende Abhandlung dieser Lieferung, S. 135.

Dieulafait¹⁾ fand die letzten Mutterlaugen der Salzgärten des Mittelmeeres so reich an Kupfer, daß er dies Metall schon in 10 ccm durch Fällung mit Schwefelwasserstoff nachweisen konnte, spektroskopisch auch schon in 1 ccm.²⁾ Er fand es ferner als Schwefelkupfer in dem schwarzen Schlamm, der sich in isolierten Becken bildet, die Meerwasser enthalten, auch in dem Schlamm der Watten, die noch mit dem Meer in Verbindung stehen; ebenso wies J. W. Dougal³⁾ in der Asche von Sielschlamm 0,64 % Kupfer neben 0,11 % Blei und Silber, 0,03 % Zink nach.

Auch das Zechsteinmeer hat ohne jeden Zweifel Kupfer enthalten. Biltz und Marcus⁴⁾ berechnen den Gehalt des ursprünglichen, nicht konzentrierten Zechsteinmeeres aus dem Kupfergehalt des Zechsteinsalzes zu mindestens 17 mg Kupfer im Kubikmeter. Für ein 1000 m tiefes Meer ergibt sich hieraus 17 g Kupfer auf 1 qm Bodenfläche. Im Kupferschiefer kommen auf den Quadratmeter durchschnittlich etwa 8,5 kg, also die 500fache Menge. Kupferhaltiges Wasser muß demnach lange Zeit hindurch zugeströmt sein. Vom chemischen Standpunkt sehe ich keine Ungereimtheit in der von mir bisher vertretenen Anschauung, daß es Meerwasser war, welches das Kupfer zuführte. Dies setzt voraus, daß das Kupferschiefermeer zu der Zeit, als sich schon reichliche Mengen von Schwefelwasserstoff in seinem Grundschlamm entwickelten, noch mit dem offenen Meer in Verbindung stand. Auch das Schwarze Meer erhält ja jetzt durch die untere Strömung des Bosporus einen reichlichen Zufluß von salzigem Wasser aus dem Marmarameere.

Aber dies ist hauptsächlich eine geologische Frage, und wenn geologische Gründe, u. a. die fossile Fauna des Kupferschiefers, dafür sprechen, daß er sich in einem abgeschlossenen Binnenseebecken absetzte, so muß dem Rechnung getragen werden.

Dann bleibt nur übrig, daß dem Kupferschiefersee das Metall durch Flußwasser zugeführt ist, selbstverständlich in äußerst verdünnter Lösung. Am einfachsten und natürlichsten wird man dann nach Analogie des Schwarzen Meeres in den unteren Schichten spezifisch schweres sauerstoffreies Salzwasser annehmen, darüber salzärmeres Oberflächenwasser mit einer Fauna, die sich der Süßwasserfauna nähert. Die gekrümmte Lage der im Kupferschiefer eingebetteten fossilen Fische mag sehr wohl auf Vergiftung hindeuten, aber nicht durch die äußerst verdünnte Kupferlösung, sondern, wie schon von anderer Seite ausgesprochen worden ist, durch den von unten aufsteigenden Schwefelwasserstoff.

Das von den Flüssen zugeführte Wasser konnte sich durch Strömung auf der Oberfläche des ganzen Seebeckens verteilen, gerade so, wie jetzt das Wasser der Donau, des Dnjepr, des Don usw., aber das durch Verdunstung oder durch Winterkälte spezifisch schwerer werdende Oberflächenwasser konnte nicht in große Tiefen sinken, da der nach unten zu wachsende Salzgehalt dies verhinderte. Die „Konvektionsströmungen“ nach unten zu gehen beim Schwarzen Meer nur bis zu einer Tiefe von etwa 55 m.⁵⁾ Nur durch Diffusion, also sehr langsam, können in solchem Falle die Metallionen in größere Tiefen gelangen, um von dem aufsteigenden Schwefelwasserstoff oder Schwefelammonium als Sulfide gefällt zu werden. Aus dieser Vorstellung erklärt sich die ursprünglich verhältnismäßig gleichartige Verteilung des Kupfers auf große Flächen. Dabei braucht keineswegs der Kupferschiefersee so tief angenommen zu werden wie das Schwarze Meer (durchschnittliche Tiefe etwa 1500 m), wogegen nach Walther geologische Gründe sprechen. Der „weiße Grund“ der Kieler Bucht und die

- 1) Dieulafait, *Annales chim. phys.* (5) 18 (1876), 359.
- 2) Dasselbst, S. 361.
- 3) *Chem. Zentralblatt* 1912 I, 449.
- 4) *Zeitschr. anorgan. Chem.* 64 (1909), 242.
- 5) Woeikow, *Petermanns Mitteilungen* 37 (1891), 33.

Watten sind Beispiele ganz seichter Meeresteile, in deren Grundschlamm sich Sulfide und Schwefelwasserstoff bilden. Bedingung aber ist: Eine untere Schicht von sehr geringer Zirkulation. Nur dort, wo auf dem Grunde die Zersetzung organischer Reste unter Luftabschluß erfolgte, konnte sich Schwefelwasserstoff entwickeln und das Kupfer gefällt werden. Die Schlußfolgerung Beyschlags, es müßten an der damaligen Meeresküste, in den Flußdeltas, die stärksten Kupferniederschläge erfolgt sein, in der Mitte des Beckens dagegen die schwächsten, ist eine irriige. Das strömende Flußwasser ist bis zum Grunde sauerstoffhaltig, daher jeder Sulfidbildung hinderlich. Für diese ist eben zweierlei erforderlich, einmal das Vorhandensein des Metalls und sodann Anwesenheit des Fällungsmittels, des Schwefelwasserstoffs. Letzterer aber kann sich nur in ruhender Schicht, bei völligem Luftabschluß bilden. Auch die These Langs, daß die Menge des niedergeschlagenen Metalls um so größer sein müsse, je mehr man sich der Quelle der Zuströmung, z. B. dem Erzgebirge, nähert, scheint mir aus der entwickelten Grundanschauung keineswegs mit Notwendigkeit zu folgen. Die Möglichkeit eines solchen Einflusses sei zugegeben, aber die Abscheidung des Metallniederschlags war jedenfalls keine plötzliche, vollzog sich vielmehr sehr langsam; und ob gegenüber der Schnelligkeit der Verteilung des Oberflächenwassers durch Strömungen die Richtung der Zuführung des Kupfers und Silbers wesentlich in Betracht kommt, erscheint fraglich. Der Beweis der Langschen Hypothese aus den praktischen Ergebnissen des Bergbaues ist für mich auch nicht überzeugend erbracht. Dazu sind die bekannten Abbauorte zu wenig zahlreich.

Theoretisch ist die Voraussetzung gewiß richtig, daß die Metalle durch Schwefelwasserstoff in einer bestimmten Reihenfolge gefällt werden, so zwar, daß aus einer silber- und kupfersalzhaltigen Lösung zunächst das Silber vollständig ausgeschieden werden kann, dann erst das Kupfer; Kupfersulfid setzt sich mit Silbersalz um zu Schwefelsilber und Kupfersalz, und wenn man die Metalle in eine Reihe ordnet, so daß das Salz eines Metalls das Sulfid des nächsten zersetzt, so ergibt sich die Aufeinanderfolge: Silber, Kupfer, Blei, Cadmium, Eisen, Nickel, Kobalt, Mangan. Aber für die obige Umsetzung ist eine kräftige Bewegung der Flüssigkeit, in der die Fällung erfolgt, notwendig, so daß die Sulfide und die Metallteilchen in ständiger Berührung sind. Die Bedingungen der Kupferschieferbildung sind nun nach meiner oben geschilderten Auffassung ganz andere gewesen. Die Sulfidfällung und Sedimentierung hat in den tieferen Gewässern in ruhenden Schichten stattgefunden, in denen es keine oder nur eine äußerst schwache Zirkulation gab.

Meine Ansicht möchte ich demnach dahin zusammenfassen, daß ich die Langsche Auffassung, soweit sie den Kupferschiefer als syngenetische Sedimentbildung bezeichnet, vollkommen teile; soweit sie aber den Metallgehalt des Kupferschiefers letzten Endes vom Erzgebirge herleitet und in dieser Richtung höhere Silbergehalte vermutet, hat sie m. E. auch in chemischer Beziehung schwache Punkte.

Immerhin halte ich jede Hypothese für berechtigt, die die Forschung anregt und kann der auf Grund eingehender Literaturstudien gemachten Voraussetzung Langs nur wünschen, daß eine nicht zu ferne Zukunft bei günstigeren wirtschaftlichen Bedingungen, als sie zurzeit vorhanden sind, das Risiko der mit gewaltigen Kosten verbundenen, umfassenderen bergmännischen Prüfung der tatsächlichen Verhältnisse der Kupferschieferablagerung nicht mehr zu groß erscheinen lassen möchte.

Prof. Dr. R. Lang: Gestatten Sie, daß ich zuerst auf die mir wertvollen Ausführungen des Herrn Geheimrat Beyschlag näher eingehe.

Es bedeutete für mich eine große Überraschung, daß Herr Geheimrat Beyschlag den Anschauungen der Syngenetiker sehr erheblich näher gerückt ist.

Um das Ausmaß dieser Annäherung darzulegen, sei auf die Angaben hingewiesen, die Herr Beyschlag in seiner zusammen mit Krusch und Vogt verfaßten Lagerstättenlehre 1913 gemacht hat. Dort gibt er an, „daß der Erzgehalt des Kupferschieferflözes jünger ist als der Mergelschiefer, daß es sich also um eine nachträgliche Imprägnation handelt. Die Zirkulation der primären Lösungen erfolgte auf den Rückenspalten und an der Grenze zwischen Zechsteinkonglomerat bzw. Weißliegendem und Kupferschieferflöz“.

„Dem Charakter nach gehören die Erze zu denjenigen, welche wir in der Regel in der Zementationszone der Kupfererzlagerstätten finden. Krusch nimmt als primäres Erz Kupferkies und kupferhaltigen Schwefelkies an.“ „Durch Zementationsprozesse entstanden erst später aus den kupferärmeren Kiesen die kupferreicheren.

Die nachträglichen Konzentrationsprozesse, die eine Verschiebung des ursprünglichen Kupfergehaltes erzeugten und durch von oben in die Tiefe sichernde Lösungen bewirkt wurden, erschweren das Erkennen der genetischen Verhältnisse der primären, durch aufsteigende Lösungen gebildeten Erze.“

Vergleicht man diese Angaben mit den heute gemachten, so tritt klar eine für den Syngenetiker prinzipiell bedeutungsvolle Auffassungsänderung in die Erscheinung. Herr Geheimrat Beyschlag gibt nunmehr die Möglichkeit zu, daß der Mergelschiefer schon zu seiner Bildungszeit Schwefelkies und sogar auch einen gewissen Kupfergehalt gehabt hat. Er schließt also nicht mehr eine syngenetische Einwanderung von Erz in den Kupferschiefer aus, während er früher alles als epigenetische Bildungen auffaßte.

Der prinzipielle Schritt von der Deutung des Erzgehaltes des Kupferschiefers als epigenetischer Bildung zu derjenigen als syngenetischer Bildung ist also, wie ich zu meiner Freude feststellen kann, von Herrn Geheimrat Beyschlag nunmehr gemacht. Denn es leuchtet ein, daß der Weg, der von der Annahme eines geringen syngenetischen Kupfergehaltes zu der Annahme eines etwas höheren syngenetischen Kupfergehaltes führt, wie die reinen Syngenetiker verlangen, nur eine graduelle Auffassungsänderung aber keine grundsätzliche mehr bedeuten kann. In der Tat ist nicht einzusehen, weshalb Kupfererze nur epigenetische Bildungen sein sollen.

Nachdem Herr Beyschlag die syngenetische Bildungsmöglichkeit von kupferführendem Kupferschiefer zugegeben hat, bedarf es nur des Nachweises, daß von unten her nachträglich kein Kupfer emporgedrungen sein kann, um die rein syngenetische Ablagerung der ganzen Kupfermengen im Kupferschiefer zu erweisen. Herr Beyschlag bezeichnet als Erzbringer die permischen Eruptivgesteine, insbesondere die weitverbreiteten Porphyre, aber auch die Melaphyre, die an manchen Stellen Mitteldeutschlands vorkommen.

Wären die Porphyre tatsächlich die Massen, aus denen Wässer das Kupfer nach oben getragen hätten, so ist nicht zu verstehen, weshalb Herr Geheimrat Beyschlag Ilmenau als ungünstig in bezug auf die Erzführung hinstellt, das rings von permischen Eruptivgesteinen umgeben ist. Im Gegenteil müßte nach seinen Darlegungen hier besonders viel Erz zu finden sein. Wenn Herr Beyschlag erklärt, daß bei Ilmenau in der Flexur kein Erz sich finde, so steht er damit in Gegensatz zu der ausführlichen günstigen Darstellung der dortigen Verhältnisse durch Voigt, den letzten Kenner des Ilmenauer Bergbaus. Wenn weiter Herr Beyschlag die Erzlösung als von unten aufgedrungen betrachtet, weshalb soll dann, trotz alledem, der Erzgehalt bei Ilmenau nur ein oberflächlicher sein? In diesen Angaben ist ein unlösbarer Widerspruch enthalten. Warum hat, wenn schon permische Eruptiva das Erz geliefert haben sollen, überhaupt nicht der

Kupferschiefer in weiten Teilen des Thüringer Waldes einen ausgezeichneten Kupfergehalt, wo doch allenthalben Porphyre, Melaphyre und Diabase den Thüringer Wald bedecken? Weshalb ist im Bereich des Ilfelder Porphyrs am Harz der Bergbau im Kupferschiefer, weil zu geringhaltig, aufgegeben? Nach Beyschlag müßten diese Stellen alle besonders günstig sein. Schon aus dieser kurzen Stichprobe erschen wir, daß der Erzgehalt im Kupferschiefer sich nach anderen Gesetzen regelt. Der Kupfergehalt desselben kann keinesfalls aus dem Porphyre stammen.

Für den Quarzporphyre muß ich überhaupt die Annahme eines Kupfergehaltes ablehnen. Nie ist durch Analysen oder durch Vorkommen von Kupfermineralien im Quarzporphyre eine Kupferführung desselben nachgewiesen, abgesehen von dem ungeklärten Vorkommen bei Zwickau. Sonst sind an keiner Stelle in Mitteldeutschland trotz weitester Verbreitung des Porphyrs in ihm auch nur Spuren von Kupferausscheidungen gefunden. Auch sonst ist von nirgendwoher ähnliches aus sauren Porphyrgesteinen bekannt. Überhaupt geht aus vergleichenden Untersuchungen hervor, daß die ausgesprochen sauren Eruptivgesteine offenbar keine Kupferbringer sind, daß vielmehr der Kupfergehalt an mehr basische Gesteine gebunden ist.

Aus diesem Grunde stimme ich, wie ich schon in meinem Vortrage ausführte, mit Herrn Geheimrat Beyschlag völlig überein, daß Melaphyre und Diabase Kupferträger und daher für den Kupferschiefer bedeutungsvoll sind. Aber ich nehme eine Auslaugung der jenseits der einstigen Meeresküste gelegenen Melaphyre- und Diabasvorkommen, und insbesondere der präpermischen, an und beschränke mich nicht auf diese Lagerstätten, sondern ziehe auch alle Gangvorkommen, wie wir sie vom Erzgebirge massenhaft kennen, ein. Auch kann man wohl das Erzgebirge nicht als kupferarm bezeichnen, wie meine, nach Cottas Angaben angefertigte Karte der bedeutenderen Kupferlagerstätten — die zahllosen Erzgänge mit geringerem Kupfergehalt sind nicht aufgeführt — darlegen dürfte.

Es ist auch bemerkenswert, daß Herr Geheimrat Beyschlag für die Herkunft des Silbers keine Angaben gemacht hat.

Keine Analyse weist auf einen Silbergehalt permischer Eruptivgesteine hin. Wo früher, abgesehen vom Kupferschiefer, in Mitteldeutschland auf Silber gegraben wurde, so geschah das ausschließlich auf Gängen, und der bekannteste Bezirk dieser Art ist wiederum das Erzgebirge und seine weitere Umgebung, aus dessen Richtung ich ja die Herkunft der Metallösungen herleite, die im Mergelschiefer des Kupferschiefers als Sulfide abgeschieden wurden.

Endlich ist es geradezu unmöglich, das Nebeneinandervorkommen von so zahlreichen Metallen, wie Kupfer, Eisen, Zink, Mangan, Blei, Nickel, Kobalt, Silber, Arsen, Antimon, Molybdän, Vanadium, Gold, Uran, das in Deutschland nirgends auf Gängen zusammen beobachtet ist, als einheitliche Bildung aufsteigender Wässer zu erklären.

Herr Geheimrat Beyschlag weist auf die verschiedenen Gehalte des Kupferschiefers an Erzen innerhalb der Mansfelder Mulde hin und sucht sie zum Beweis gegen die Richtigkeit meiner Angaben von Bottendorf und Ilmenau heranzuziehen. Schließlich bezweifelt er die Sicherheit meiner Zahlenangaben. Dem sei entgegengehalten, daß die Zahlenwerte einerseits dem Werke Voigts, des letzten amtlichen Vertreters des Ilmenauer Bergbaues, und den Angaben des einstigen staatlichen Bergamts Bottendorf entnommen sind, also von amtlichen Stellen stammen, deren Zuverlässigkeit ebenso wie heute, so auch damals über allen Zweifel erhaben ist. Der einzige Zweck dieser Zahlen kann also nur die Feststellung der Wahrheit gewesen sein. Die Zahlen von Bottendorf sind zudem wiederholt von erster Seite: den früheren Direktoren der Mansfeldschen Gewerk-

schaft, den Herren Erdmenger und Schrader, an Hand der alten Akten des Oberbergamts usw. eingehend auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und für richtig befunden worden.

Ich habe ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es sich bei allen angegebenen Zahlen um langjährige Mittelwerte handelt. Einzelwerte aus dem Mansfelder Gebiet diesen Durchschnitten gegenüberzustellen, bildet keine geeignete Grundlage für Vergleiche. Bekannt ist ja, daß seit längerer Zeit der durchschnittliche Prozentgehalt der Schieferen an Kupfer und Silber und das Verhältnis zwischen Kupfer und Silber nur in engsten Grenzen schwankt. Nur diese Werte dürfen zum Vergleich herangezogen werden. Sie aber bestätigen meine Angaben.

Herr Geheimrat Beyschlag nimmt die Mansfeldsche Gewerkschaft in bezug auf die statistische Berechnung in Schutz. Ich habe aber keinesfalls die zahlenmäßigen Angaben jenes gewissenhaften Beamten bezweifelt, sondern nur ihre Benutzung und Deutung als unrichtig hingestellt.

Herr Geheimrat Beyschlag hat des weiteren auf die permische Kupferführung im allgemeinen hingewiesen. Daß sie für das Perm Mitteleuropas aus von mir oben angegebenen Gründen von Bedeutung ist, habe ich nie bezweifelt. Es wäre aber irrtümlich, wie das Herr Direktor Dr. Gillitzer tut, die letzte Entstehung der Kupfervorkommen der ganzen Welt dem Perm zuzuschreiben. Wir wissen doch, wie auch Herr Geheimrat Beyschlag betont, daß die Kupferführung in großen Mengen auch in allen möglichen anderen Schichten auftreten kann. Ich hatte keine Veranlassung, ein viel größeres Gebiet zu überschauen, wie das Herr Beyschlag verlangt, sehen wir doch, daß der Kupfergehalt nach Westen immer mehr abnimmt, weil dort ein anderes Einzugsgebiet des Kupferschiefermeeres in Betracht kommt. Die rheinische Masse lieferte keine Erze wie das Erzgebirge und die an dasselbe sich anschließenden Gebietsteile, und daher blieb das Kupferschiefermeer und damit das Kupferschiefersediment frei oder arm an ihnen, trotzdem in jenen Gebieten auch permische Ergußgesteine da und dort sich finden. Ebenso wenig brauchte aus gleichen Gründen auf den Kupferschiefer Schlesiens eingegangen zu werden.

Was die Trennung der Erze des Kupferschiefers anbelangt, so steht Herr Beyschlag mit seiner Auffassung, daß neben dem Kupferglanz und dem Buntkupfererz auch der Kupferkies ein ausschließliches Zementationserz sei, offenbar allein. Aus dem eingangs gebrachten Zitat geht hervor, daß nicht einmal Krusch ihm beipflichtet, der den Kupferkies als primäres Erz ansieht; dasselbe ist bei Voigt der Fall. Wenn schon Herr Beyschlag sagte, daß ein kupfer- und eisenhaltiger Erzniederschlag aus Meeresabsätzen entstehen kann, so ist es nicht verständlich, weshalb dann nicht Kupferkies als ärmstes Kupfererz primär sich sollte bilden können.

Am wichtigsten erscheint mir jedoch an der Entgegnung des Herrn Geheimrat Beyschlag, daß er auf gewisse Punkte meines Vortrages nicht eingegangen ist. Es hieße den Vortrag wiederholen, wollte ich mit Begründung wieder nennen, was alles gegen die Auffassung der Epigenese der Erze des Kupferschiefers spricht. Ich will mich daher nur mit der Aufzählung einiger Punkte begnügen, auf die ich eine Entgegnung vermisste und die meines Erachtens ausschlaggebend sind für die Richtigkeit meiner Ausführungen: die gleichartige Verbreitung des Erzgehaltes im Kupferschiefer, der Gehalt an seltenen Erzen, wie Molybdän und Uran, die nur im Erzgebirge in größerer Verbreitung vorkommen, dem Thüringer Wald und dem Harz aber so gut wie fehlen; die Ausscheidung der Erze nur im bituminösen Kupferschieferflöz und nicht auch in tiefer gelegenen bituminösen Schichten permischen oder karbonischen Alters; das Fehlen der sulfidischen Ausscheidungen in Karbonatgesteinen; der Mangel an zahlreichen Spalten, die in die Tiefe reichen und erzführend und entfärbt sind.

Wie Herrn Geheimrat Walther, Herrn Professor Erdmann, Herrn Bergrat Schrader und die andern Herren Redner die Ausführungen des Herrn Geheimrat Beyschlag über die epigenetische Bildung der Erze des Kupferschiefers nicht zu überzeugen vermochten, so haben sie auch mich in der Richtigkeit meiner Ansicht bestärkt, daß die Erze des Kupferschiefers rein syngenetische Absätze sind, die nur nachträgliche Veränderungen erlitten haben. Damit befinde ich mich auch in voller Übereinstimmung mit den Beratungsergebnissen, die die erste Versammlung des Halleschen Verbandes 1918 in Eisleben zeitigt hat.

Was die Angaben des Herrn Bergassessor Dr. Gillitzer anbelangt, so habe ich den ersten Teil seiner Ausführungen schon besprochen. Betreffs der tektonischen Verhältnisse muß darauf hingewiesen werden, daß seit der Zeit Credners und Sues' die Wissenschaft der Tektonik so gewaltige Fortschritte erzielt hat, daß deren Angaben als veraltet anzusehen sind. Ich verweise in dieser Hinsicht auf meinen Vortrag.

Die Mitteilung des Herrn Professor Dr. Föhr, daß Wolfram und Zinn im Kupferschiefer auffälligerweise fehlen, kann ich dahin beantworten, daß Wolframit und Zinnstein, die Erze dieser Metalle, selbst in geologischen Zeiten so gut wie völlig unlöslich sind und daher auf sekundärer Lagerstätte nur in Form von Seifen auftreten. Diese Erze konnten somit ins Kupferschiefermeer auf chemischem Wege nicht verfrachtet werden. Zur Heranführung auf mechanischem Wege aber fehlte die Voraussetzung, da bei der geringen Transportkraft des vom Lande ins Meer strömenden Wassers, das infolgedessen im wesentlichen nur tonige Massen als mechanisches Sediment lieferte, ein Transport von Wolframit und Zinnstein, zweier spezifisch sehr schwerer Mineralien, unmöglich war. Man darf daher auch im Kupferschiefer das Vorkommen von Wolfram und Zinn nicht erwarten, obgleich im Erzgebirge Erze der genannten Art verbreitet sind.

Auch die Annahme des Herrn Professor Föhr, daß es sich bei den kupferführenden Gesteinen am Oberen See um Porphyry handle, kann ich nicht teilen. Zwar kommen in diesen Gebieten auch Porphyre vor, aber die Träger des Kupfergehaltes sind dort — wie auch sonst —, im Gegensatz zum sauern Porphyry, gerade basische Gesteine, und zwar Melaphyre und Diabase. Aus diesem Grunde kann auch dem von Herrn Professor Föhr hieraus gezogenen Schluß, daß wie in Amerika, so auch in Mitteldeutschland die Porphyre die ursprünglichen Träger des Kupfergehaltes sein müßten, nicht zugestimmt werden.

Schließlich steht der chemisch nicht völlig durchgeführten Analyse eines Porphyrs, bei der aus einer Fällung auf Kupfer geschlossen wurde, ohne daß noch eine Trennung durchgeführt war, keine entscheidende Beweiskraft zu. Im Gegensatz zu diesen Angaben ist in den Porphyren am Harze und bei Halle von keiner anderen Seite Kupfer nachgewiesen worden.¹⁾

Herr Dr. von Freyberg nimmt an, daß sich am Ende der Rotliegendzeit noch „varistische Faltenketten“ in Mitteldeutschland hingezogen haben. Er entfernt sich mit dieser Annahme weit von der allgemeinen Anschauung bester Kenner der Geologie Mitteldeutschlands, die dahin geht, daß vor Einbruch des Zechsteinmeers das Land angenähert eine Rumpfebene gewesen ist. Alle Beobachtungen sprechen dafür, wie ich dies schon in meinem Vortrage näher ausgeführt habe. Zweifellos war das Kupferschiefermeer nach seiner Überflutung der mitteldeutschen Gebiete so tief, daß es die Unebenheiten des Untergrundes allgemein überdeckte. Daß vereinzelt kleine Inseln emporgeragt haben können, ist von keiner Seite bestritten. Jedenfalls aber sind die von Herrn v. Freyberg

1) Inzwischen ist durch Herrn Professor von Wolff festgestellt worden, daß die von ihm untersuchten mitteldeutschen Porphyre keinen Kupfergehalt haben.

hervorgehobenen Stellen, wo von Zechsteinriffen besetzt, ebenfalls von Meer bedeckt gewesen. Die Riffe sind keineswegs, wie der Herr Redner meint, ein direkter Beweis für Landnähe, sondern vielmehr nur ein solcher für Überflutung durch das Meer. Für das vom alten Festland entfernter liegende Gebiet kommt im Bereich des Harzes überhaupt nur die Umgebung von Lauterberg in Frage, auf die ich schon hingewiesen habe. Auch hier ist nicht sicher erwiesen, ob es sich um Festland oder nur um eine Untiefe handelt. Wäre aber das Gebiet zur Kupferschieferzeit als festes Land vorhanden gewesen, so würde demnach hier eine der anzunehmenden Inseln vorliegen. Eine solche Insel aber könnte die Sedimentation keinesfalls irgendwie wesentlich beeinflusst haben, da auch zwischen Inseln hindurch die Verfrachtung von Erzlösungen und der chemische Niederschlag ungehindert erfolgen konnte.

Daß Inseln des Kupferschiefermeeres, wenn sie überhaupt vorhanden waren, schon wegen ihrer geringen Ausdehnung und aus anderen Gründen, die ich oben besprochen habe, als Ursprungsort für die Kupferführung des Kupferschiefers nicht in Anspruch genommen werden dürfen, dürfte einleuchtend sein. Die Angabe Herrn v. Freybergs: „Eine von Sediment frei bleibende Untiefe übt in unserem Falle die gleichen Wirkungen aus“ wie eine Insel, gibt zu denken. Danach hält auch Herr v. Freyberg die Insel von Lauterberg nicht für erwiesen, sondern eine Untiefe für möglich. Daß aber eine Untiefe die ungeheuren Kupfer- und Silbermengen, die im Kupferschiefer angehäuft sind, geliefert haben könnte, ist völlig unmöglich. Auch aus diesem Grunde kann also dieses Gelände für die Erzführung des Kupferschiefers nicht in Anspruch genommen werden.

Sehr wichtig erscheint mir, daß auch Herr Professor Dr. Erdmann die Bildung reichlicher Mengen von Schwefelwasserstoff bzw. Schwefelammonium in dem an Organismenresten geschwängerten Wasser des Kupferschiefers voraussetzt. Daß hierbei unter Reduktionswirkung der organischen Substanz auch aus Schwefelsäureverbindungen Schwefelverbindungen entstehen, ergibt dieselbe Richtung der Veränderung der Metallverbindungen, wie ich in dem vorstehenden Vortrage dargestellt habe.

Die Trennung der Süßwasseroberschicht und der stark salzhaltigen Unterschicht des Meerwassers, die, nach Beobachtungen in rezenten Meeren, Buchten und Seen, auch für das Kupferschiefermeer gelten mag, halte ich für nicht so vollkommen, wie Herr Professor Erdmann annimmt. Zweifellos ist, wie der Herr Vortragende betont, die Möglichkeit der Durchmischung mit sauerstoffhaltigem Wasser auch in größerer Meerestiefe von dem Vorhandensein von Vertikalströmungen, von Konvektionserscheinungen, abhängig. Wo diese Vertikalströmungen fehlen, ist die Beschaffenheit des Meerwassers in größerer Tiefe von der atmosphärischen Luft und auch bis zu einem gewissen Grade von spezifisch leichtem, oberflächlich eingeschwemmtem und daher das Tiefwasser überlagerndem Süßwasser unabhängig. Diese Unabhängigkeit bezieht sich jedoch nur auf den flüssigen Teil. Alle festen Teilchen, wie Ton oder auch die abgestorbenen Tiere, werden allmählich in die Tiefe sinken. Die an Schwefelwasserstoff geschwängerte tote Tiefe, die allgemein angenommen wird, und die höchstens anaerobes bakterielles Leben noch aufweist, kann sich nur entwickeln, wenn organische Substanz von obenher zugeführt wird. Eine Beziehung zwischen den oberflächlichen Wasserschichten und den tiefer liegenden ist also sicher vorhanden. Will man mit manchen Autoren annehmen, daß die Metallsalze an organische Produkte oder an Tonsubstanz adsorptiv gebunden ins Meer gelangten oder mindestens im Meer sich an sie festsetzten, so wäre damit schon erklärt, daß dann zunächst der Küste höhere Metallgehalte in den Absätzen des Kupferschiefermeeres vorhanden sein müssen als in größerer Entfernung von der Küste. Aber mir scheint diese Erklärung nicht notwendig zu sein. Da vorausgesetzt

werden muß, daß große Mengen an organischer Substanz in die Tiefe absanken, so wurde dort zweifellos Schwefelwasserstoff bis zur Sättigung gebildet. Es ist aber höchstwahrscheinlich, daß die Produktion nicht gerade an der Sättigungsgrenze haltmachte, sondern weiterging, wie das auch von der Sumpfgasentwicklung bekannt ist. Es wird also das Oberflächenwasser einerseits durch Diffusion gelösten Gases von unten her gespeist worden sein, andererseits aber wird auch bei Übersättigung durch Ausscheidung gasförmigen Schwefelwasserstoffs in Form von Gasbläschen und durch langsames Aufperlen der Gasbläschen immer mehr Schwefelwasserstoff nach oben zugeführt worden sein. Gerade das Aufsteigen von Gasblasen ist auch ohne Konvektionsströmung möglich und in unserem Falle anzunehmen. Daß Schwefelwasserstoffgas oft im Meere bis an die Wasseroberfläche dringt, darauf habe ich schon in den vorstehenden Erörterungen hingewiesen; denn man kann ja den oft heftigen Geruch des Schwefelwasserstoffs des Meerwassers direkt wahrnehmen. Der Abschluß der beiden Wasserschichten im Meere, die man für die Kupferschieferzeit annimmt, ist also keine vollständige gewesen. Da auch die oberflächlichen Wasserschichten Schwefelwasserstoff enthielten, so fand sicher die Ausfällung z. T. schon in den oberen Schichten des Meeres statt und es läßt sich daher auch bei Fehlen von Konvektionsströmungen die Ausscheidung der gelösten Metalle aus dem Meerwasser in zonaler Verteilung, in den randlicheren Partien mehr, in den küsternen Gebieten unter Ausschluß eines küstennahen Saumes — in dem die Schwefelwasserstoffentwicklung und damit die Sulfidausscheidung zurücktritt —, ohne weiteres erklären.

Daß ein zonaler Wechsel im Erzgehalt je nach der Entfernung von der alten Küste im mitteldeutschen Kupferschiefer angenommen werden darf, ist in meinen Ausführungen eingehend dargelegt worden. Ich konnte kaum erwarten, daß die Diskussion für meine Auffassung einen neuen Beweis zutage fördern würde. Und doch hat Herr Ober-Berg- und Hüttdirektor a. D. Bergrat Schrader in seinen wichtigen Mitteilungen einen solchen gebracht. Schon der Gegensatz im relativen Silbergehalt der Sangerhäuser Reviere und dem der Mansfeld-Eisleber Gebiete muß auf die verschiedene Entfernung von der alten Küste zurückgeführt werden. Herr Bergrat Schrader aber konnte zeigen, daß selbst innerhalb des engen Gebiets der Mansfelder Mulde ein Unterschied in der Silberführung besteht, und zwar zeigen die Unteren (Hettstedter) Reviere einen etwas geringeren Silbergehalt als die Oberen (Eisleber) Reviere. Selbst innerhalb dieser geringen Entfernung wird also schon der Unterschied in der Silberführung erkennbar. Und zwar zeigt sich, daß in den der alten Küste entfernter liegenden Teilen der Silbergehalt geringer ist als in den derselben näher liegenden Flächen. Diese Tatsache stellt eine weitere Sicherung meiner Auffassung von der Verteilung des Absatzes der Erze im mitteldeutschen Kupferschiefer dar und ist hierfür von größter Bedeutung. Selbst in verhältnismäßig engen Grenzen dürfen wir also eine erkennbare Änderung des relativen Silbergehaltes im Kupferschieferflöz annehmen.

Es wäre unrichtig, wollte man glauben, die von mir aufgestellte Sedimentationstheorie der Zechsteinerze beschränke sich auf die drei Punkte Mansfeld, Bottendorf und Ilmenau. Wie ich darlegen konnte, kommen hinzu Kamsdorf einerseits, das ich oben angeführt habe, weiter die von Herrn Bergrat Schrader genannte Beziehung zwischen Eisleben und Hettstedt, dann weiter Sangerhausen, schließlich aber die große Reihe der westlich gelegenen Vorkommen von Kupferschiefer am Harz, sowie das Vorkommen von Richelsdorf. Nicht ein einziger der genannten Punkte macht eine Ausnahme von der Regel. Und zudem stimmt der Befund in der Natur mit den Sedimentationsverhältnissen überein, die wir nach theoretischen Überlegungen im Kupferschiefermeer

erwarten konnten. Nicht eine einzige Ausnahme ist zu beobachten. Man kann also nicht von Zufälligkeiten reden, vielmehr ist die Wahrscheinlichkeit, daß hier eine Gesetzmäßigkeit vorliegt, weil nirgends eine Ausnahme vorhanden ist, außerordentlich groß. Die Wahrscheinlichkeit der Gesetzmäßigkeit der Erzverteilung im mitteldeutschen Kupferschiefer wird danach zur Gewißheit.

Für die Bewertung des Kupferschiefers als sedimentärer Erzlagerstätte, als syngenetischer Ablagerung, ist schon von höchster Wichtigkeit, daß alle Herren Redner, abgesehen von Herrn Geheimrat Beyschlag, denselben als Sediment ansehen. Betrachtet man den Erzgehalt des Kupferschiefers als syngenetische Bildung, so ist darin schon die Anerkennung ausgedrückt, daß diese Erzlagerstätte nicht von Ort zu Ort beliebig wechselt, sondern daß die Verteilung des Erzgehaltes einem Gesetz unterworfen sein muß, daß die Lagerstätte über mehr oder weniger weite Erstreckung eine ziemlich gleichmäßige, nur langsam sich verändernde Beschaffenheit besitzen muß. Wie diese gesetzmäßige Veränderung beschaffen ist, habe ich im vorstehenden gezeigt.

Überschaue ich zum Schluß den Gang der Verhandlungen, so kann ich zu meiner Freude feststellen, daß die Auffassung der Syngeneese der Erze mit dem Mergelschiefer immer klarer als richtig sich erweist. Über meine Darstellung der sekundären Erzumwandlungen, die ich angegeben habe, sind von seiten der Syngenetiker überhaupt keine Einwände gemacht worden. Ich darf daher annehmen, daß ihr zugestimmt worden ist. Was die erhobenen Einwendungen gegen meine Anschauungen in bezug auf die Genese der Erze anbelangt, so glaube ich in diesem Schlußwort gezeigt zu haben, daß meine Auffassung auch jetzt noch vertreten werden kann, und daß somit die von mir über den mitteldeutschen Kupferschiefer gegebene Darstellung ihre Feuerprobe bestanden hat.

So möge denn der mitteldeutsche Kupferschiefer, dieses im Zentrum unseres Reiches in der Tiefe schlummernde wertvolle nationale Eigentum, das uns kein Feind zu rauben vermag, die Beachtung finden, die er verdient.

Der Kupfergehalt der rotliegenden Eruptivgesteine Mitteldeutschlands.

Von F. v. Wolff, Halle.¹⁾

Die Frage der Kupferschieferentstehung hat den Halleschen Verband schon zu wiederholten Malen eingehend beschäftigt. Es stehen sich zwei Ansichten noch immer schroff gegenüber.

Die einen nehmen mit Freiesleben eine syngenetische Entstehung gleichzeitig mit der Sedimentbildung an. Die Kupferlösungen entstammen entweder dem allen Meeren eigenen geringen Kupfergehalt, oder sie sind lokal dem Kupferschieferbecken zugeströmt. Die anderen halten an der von Posèpny und Beyschlag vertretenen Anschauung einer späteren epigenetischen Entstehung fest. Die Kupferlösungen sollen nach dieser Ansicht auf Verwerfungen, „Rücken“, aufgestiegen sein und entstammen dem Liegenden. Die Verwerfungen haben ein spät mesozoisches bzw. tertiäres Alter. Zu dieser späteren Zeit wäre also der Erzgehalt erworben.

Ich will heute auf die genetische Erklärung des Kupfergehalts nicht eingehen, sondern aus dem mannigfaltigen Fragenkomplex die eine Frage heraus-

1) Vortrag, gehalten am 19. März 1921 auf der Mitgliederversammlung in Halle.