

Neue Gedanken zur Entstehung des oberpermischen Kupferschiefers

K. Lehnert-Thiel

Anschrift:

Dr. K. Lehnert-Thiel
Montanistische Hochschule Leoben
A-8700 Leoben, Steiermark

Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud.

22. Bd.

S. 201—211

Wien, Dez. 1973

Zusammenfassung

Durch die Entdeckung des Kupferschiefers in Polen, Rußland, England und in jüngster Zeit in Ostgrönland, scheint die Metallherkunft nach den bisherigen Theorien unzureichend erklärt. Auf Grund der Wegener'schen Theorie wird geschlossen, daß im Oberperm das Kupferschiefermeer eine Einheit gebildet hat, welche erst durch die Kontinentalverschiebung zerrissen wurde. Die magmatischen und tektonischen Vorgänge, die das Initialstadium der Drift während der Zechsteintransgression begleitet haben mögen, könnten die für die Kupferschieferbildung nötigen Metallmengen geliefert haben. Das hypogene Basaltmagma wird für die Kupferförderung verantwortlich gemacht, während Blei und Zink aus der Sial-Kruste mobilisiert worden sein könnten. Die Metalle wurden an das Zechsteinmeer abgegeben und sind im euxinischen Milieu ausgefällt worden, haben jedoch nur in Gebieten mit günstigen Voraussetzungen wirtschaftliche Lagerstätten gebildet. Diese Hypothese wird als hypo-hydatogene Lagerstättenbildung auf Grund der Metallherkunft aus der Tiefe und der Umlagerung durch das Wasser bezeichnet.

Summary

It seems that by the discovery of Kupferschiefer in Poland, Russia, England and recently in Eastern Greenland the origin of metals can no longer be explained satisfactorily by the hitherto existing theories. According to the theory of Wegener it is concluded that the Sea of Kupferschiefer has formed a unity during the Upper Perm which was not dismembered before the continental shifting. Magmatic and tectonic processes which may have accompanied the initial stage of the drift during the Zechstein transgression could have been supplying the quantities of metal necessary for the formation of Kupferschiefer. The hypogenic basalt magma is held responsible for the mobilization of copper, while lead and zinc could have been mobilized from the Sial crust. The metals were passed on to the Zechstein Sea and have been precipitated in the euxinic facies, but have only formed economic deposits in places with favourable environments. According to the origin of the metals from out of the depth and from being surrounded by water this hypothesis is termed the hypo-hydatogeneous formation of deposits.

Résumé

Par la découverte du Kupferschiefer (cuivre schisteux) en Pologne, Russie, Angleterre et dernièrement aussi en Groenland de l'Est, l'origine de métaux ne semble plus être expliquée de manière satisfaisante par les théories déjà établies. Selon la théorie de Wegener on conclut que pendant le Perm supérieur la mer du Kupferschiefer avait formé une unité qui fut déchirée seulement par la dérive des continents. Les procédés magmatiques et tectoniques qui auraient pu accompagner le premier stade de la dérive pendant la transgression du Zechstein pourraient avoir fourni les quantités de métal nécessaires à la formation de Kupferschiefer. Le magma basaltique hypogène serait responsable de l'extraction du

civre pendant que plomb et zinc pourraient avoir été mobilisés de la croûte Sial. Les métaux ont été transférés à la mer de Zechstein et précipité dans le milieu euxinique, pourtant ils n'ont formé des dépôts économiques qu'à des endroits avec des conditions favorables. Cette hypothèse est nommée formation de dépôts hypo-hydatogène à cause de l'origine des métaux de la profondeur et à cause de l'eau qui les entoure.

Die Entstehungstheorien über den Kupferschiefer spiegeln den jeweiligen Stand der Erkenntnisse über die damit verbundenen geologischen Probleme wider. Wohl hat die zweidimensionale Ausbildung dieser Lagerstätten sedimentäre Ansichten von Beginn an stark forciert, doch hat man bei der Beurteilung und anschließenden Schlußfolgerung nur auf relativ begrenzte Bereiche wie etwa der Mansfelder und der niederschlesischen Mulden Bezug nehmen können.

Als die „klassische Entstehungstheorie“ wäre die hauptsächlich von FULDA (1929) und SCHNEIDERHÖHN (1923) vertretene Idee zu bezeichnen, nach welcher die Schwermetalle aus den liegenden Rotliegendeschuttwannen herausgelöst und bei der Zechsteintransgression durch das Meer aufgenommen wurden und anschließend durch Schwefelwasserstoff, der durch bakterielle Umsetzung entstand, in gewissen sauerstofffreien Buchten zur Ausfällung gelangten.

Für eine Zufuhr der Metallgehalte durch Verwitterungslösungen aus den ehemaligen varistischen Massiven sprechen sich RICHTER (1941), MESSNER (1955) und OELSNER (1959) aus. Es wurden Berechnungen aufgestellt, die Metallmengen, Lösungskapazität und Sedimentationsgeschwindigkeit in Einklang brachten, um diese Anschauung zu untermauern.

Besondere Strukturen wie die sog. „Rücken“ in der Mansfelder Mulde haben BEYSCHLAG (1900) und KRUSCH (1919), veranlaßt, der Lagerstätte eine hydrothermal-epigenetische Deutung zugrunde zu legen. Van SCHUOTEN (1937) hat diese Theorie durch Detailstudien unter dem Erzmikroskop ergänzt.

KAUTZSCH (1954, 1958) hält die zuvor genannten Bildungsmöglichkeiten für vereinbar und vermutet ferner eine hydrothermale Stoffzufuhr, besonders bei der Bildung der „Rücken“.

Die während des 2. Weltkrieges begonnenen Aufschlußarbeiten auf permischen Kupferschiefer in Niederschlesien und Polen rückten zusammen mit den Erkenntnissen über den „marl slate“, welcher etwa zur gleichen Zeit in NW-England bei Durham untersucht wurde, die Frage der Genesis in ein neues Licht. War man bislang mit vererzten Flächen von ca. 20 000 km² konfrontiert worden, so schnellte auf einmal die Zahl auf ein mehr als das Zehnfache hinauf. Selbst bei vorsichtigen Substanzschätzungen der polnischen Kupferschieferfazies gelangt EKIERT (1960) bei 2,5 kg Cu pro m² auf ca. 500 Mill. t Cu. Da erfahrungsgemäß der Blei- und Zink-Gehalt höher als der des Kupfers ist, so scheinen Buntmetallmengen von 2 Milliarden t nicht ausgeschlossen. Für das Thüringer Becken hat RICHTER (1941) 50 000 000 t Cu, 250 000 000 t Zn und

150 000 000 t Pb angenommen. Dazu kommen noch die nicht näher bekannten Metallmengen, welche in den Permablagerungen Rußlands vorhanden sind (FERSMAN, 1953), sowie die Mengen, die im marl slate Englands nachgewiesen wurden (DUNHAM u. HURST, 1963). Die Konzentrationen im britischen Kupferschiefer sind freilich von einer ökonomischen Bedeutung weit entfernt (die Gehalte bewegen sich in Hundertsteln von Prozenten), wie auch die nachgewiesene Erstreckung mit 400 km² eher gering ist.

Wichtiger ist jedoch das prinzipielle Vorhandensein dieser Zechsteinfazies in England. Daß diese auch in der norddeutschen Tiefebene in ähnlicher Ausbildung vorhanden ist, haben die Tiefbohrungen bei Hamburg und Osnabrück gezeigt. DEANS (1950) hat daraus geschlossen, daß das Zechsteinmeer mit seiner euxinischen Fazies nicht wie früher angenommen wurde, begrenzte Ausdehnung in gewissen Becken hatte, sondern daß seine Erstreckung weit über die früher angenommenen westlichen und nördlichen Grenzen hinausreichte.

All diese Überlegungen führten zu einer Revision der bestehenden Entstehungstheorien. Es waren vor allem die großen Mengen an Schwermetallen, die eine Abkunft derselben aus den varistischen Gebirgsstöcken, sei es durch Konzentration in Rotliegendeschuttwannen oder durch Zufluß von Verwitterungslösungen, unwahrscheinlich machten. Vergleichsweise hat der afrikanische Kupfergürtel von Rhodesien und Katanga einen Gesamtvorrat von 30 000 000 t Cu. Um nun dem Zechsteinmeer die zuvor angeführten Metallmengen zuführen zu können, wären an die 20 „Kupfergürtel“ im varistischen Gebirge notwendig gewesen.

EKIERT (1960) rechnet nach, daß das Kupferschiefermeer, für welches er bestimmte Maße annimmt, weder selbst, noch durch Süßwasserzuflüsse, die damals des tropischen Klimas wegen beachtlich waren, diese Metallmengen jemals in den vorhandenen Wassermengen gelöst gewesen sein konnten, da die Wassermenge nicht dazu ausreichte. Auf Grund dieser Berechnungen nimmt er eine Stoffquelle an, die die Lösungen schon in konzentrierter Form in das Zechsteinmeer brachte, nämlich hydrothermale Kupferlösungen.

Diese Auffassung, die als extrusiv-hydrothermal zu bezeichnen ist, nimmt also eine Lieferquelle in hypogener Teufe an EKIERT (1960), DUNHAM (1964).

EKIERT verweist in diesem Zusammenhang auf Melaphyre und Porphyre mit abnormem Kupfergehalt, welche während des mittleren Rotliegenden in Polen und Niederschlesien gefördert wurden und deren Magmenzentrum nach Differentiation und Abkühlung in hypogener Teufe während der Bodenunruhen des Zechsteins ihre hydrothermalen Restlösungen an das transgredierende Meer abgegeben haben könnten.

Wir kennen einige Lagerstätten, welchen diese Entstehung zugeschrieben wird. Es wird hier an die Kieslager von Meggen und Rammelsberg gedacht, deren Ausdehnung jedoch sehr beschränkt ist, wenngleich der Metallgehalt der Lagerstätte wesentlich höher liegt. Obschon auch keine Zufuhrspalten für diese Lagerstätten bekannt sind, ist ein konzentriertes Absetzen der Metallsulfide im näheren Bereich dieser Spalte verständlich,

da vor allem die Abkühlung und Vermischung der hydrothermalen Metalllösungen mit dem Meerwasser die Ausfällung herbeiführt. Es ist nun schwer verständlich, warum dies bei der Kupferschieferbildung nicht analog verlaufen sein sollte, sondern eine gleichbleibend schwache Konzentration über riesige Gebiete von mehreren hunderttausend Quadratkilometern schaffte. Eine einleuchtende Erklärung wäre m. E. nur dadurch zu geben, daß die hydrothermale Lieferquelle nicht in unmittelbarer Nähe der heute bekannten Absatzgebiete tätig war, sondern in größerer Entfernung ihren Metallgehalt an das Meerwasser abgab und so eine gleichmäßige Konzentration und Verteilung über größere Gebiete verursachte.

Durch die Entdeckung eines permischen Kupferschiefers an der ostgrönländischen Küste (LEHNERT-THIEL, 1969) werden allen diesen Problemen um die Genese des Kupferschiefers neue Grenzen gesetzt. Wir müssen zur Kenntnis nehmen, daß die Ausdehnung dieser eigentümlichen Fazies wesentlich größere Gebiete umfaßt, als dies vor 30 Jahren angenommen wurde. Sie reicht von Rußland im Osten bis an die Ostküste von Grönland im Westen, wobei ihr besonderes Kennzeichen ein plötzliches, man könnte fast sagen weltweites Umschlagen in ein reduzierendes, euxinisches Milieu bei gleichzeitiger Schwermetallausfällung ist.

Wir konstatieren eine Zechsteintransgression über Rotliegendensedimenten mit Basiskonglomeraten, auf welchen Basalkalke folgen, die regional differenziert sein mögen. Gleich für das gesamte Perm ist hingegen das Einsetzen von schwarzen, bituminösen Mergelschiefen in der Sedimentationsfolge, wobei die Mächtigkeiten sowie Metallgehalt und Ausbildung in gewissen Grenzen schwanken können. Im Hangenden folgen in Europa bevorzugt evaporitische Serien, während in Grönland die Fazies mehr terrestrisch wird.

Der grönländische Kupferschiefer weicht in Ausbildung und Metallgehalt von den mitteldeutschen etwas ab, ist jedoch stratigraphisch als analoge Bildung anzusehen. Allererstes Merkmal ist, daß der Zechstein nicht auf einem Sockel des varistischen Grundgebirges zu liegen kommt, sondern auf Schuttwannen postkaledonischer Sedimente aufruht. Den Stoffbestand beziehen diese präoberpermischen Ablagerungen aus den westlich gelegenen präkambrischen Sedimenten sowie aus einem Metamorphikum, welches während der kaledonischen Orogenese gebildet wurde.

Nun sei hier bemerkt, daß die präkambrischen Sedimente im wesentlichen Quarzite, quarzitisches Schiefer, gefärbte Schiefer, Kalksteine und Dolomite generell frei von Buntmetallvererzungen sind. Während der kaledonischen Orogenese wurde bei der Migmatitisierung und Granitisierung kein neuer Stoffbestand zugeführt, vor allem fehlte eine Differentiation der Magmen, die erzhältige Restlösungen an die Dachschichten abgeben haben könnten.

Es konnten also weder während der Bildung der liegenden Schuttwannen, noch während der Transgression des Zechsteinmeeres ausreichende Metallmengen durch Abtragung oder durch Zufluß von Verwitterungslösungen herangeschafft werden, um den Kupferschiefer auszubil-

den. Die Möglichkeit, daß das weiter westlich gelegene Archaikum (Kanadische Schild), welches heute fast gänzlich vom Innlandeis bedeckt ist, als Metallieferant gedient haben könnte, dürfte nicht groß sein, da KEMPTER (1961) auf Grund des Stoffbestandes und des Quarz-Feldspat-Verhältnisses der mächtigen Karbon- und Rotliegendkonglomerate auf einen kurzen Transportweg schließt, sodaß nur das Kaledon als Einzugsgebiet in Frage kommt.

Eine weitere Tatsache, die eine Aufnahme der Metallmengen durch das Zechsteinmeer aus Zementationslagerstätten des Rotliegenden ausschaltet, ist die stratigraphische Position des Kupferschiefers. Dieser liegt nämlich nicht wie in der Mansfelder Mulde direkt auf dem Rotliegenden bzw. Weißliegenden, sondern gelangte erst nach geraumer Zeit, nämlich nach Bildung eines bis zu 100 m mächtigen Basiskalkes zur Ablagerung. Die Zechsteintransgression scheint daher in Ostgrönland — wenn man die Ausfällung der Sulfiderze als gemeinsame Zeitmarke annimmt — schon etwas früher, eben um diese Basiskalkbildung früher erfolgt zu sein als in Mitteldeutschland. Aus der Analogie zum osteuropäischen Zechstein mit eben seinen Basiskalken (KÖLBEL, 1958), kann gefolgert werden, daß die Position des Kupferschiefers der Mansfelder Mulde direkt am Rotliegenden eher zufällig erfolgte und nicht durch dieses (Rotliegende) bedingt wurde.

Es liegt also der Schluß nahe, daß nach Beginn der Zechsteintransgression, die sich in regional differenziertem Fortschritt befand, ein alle Teilgebiete umfassender Faziesumschwung erfolgte, der die Sulfidfällung einleitete. Es wird kaum möglich sein, diesen plötzlichen und allumfassenden Faziesumschwung auf eine natürliche, ökologische Weise zu erklären. Viel eher dürfte sich hier eine Erklärung in großtektonischen Vorgängen des Oberperms und deren Auswirkungen (Freiwerden von Schwefel) finden.

Wenn wir Grönland in seiner heutigen Position betrachten, so erkennen wir, daß es jenseits des mittelatlantischen Rückens liegt, welcher im Raume Islands nordwärts streicht. Zwischen dem Grönland von heute und Europa hebt sich ein Wulst der Sima-Mantelschichten, auf welchem die sialischen Krusten von Europa im Osten und Grönland mit Amerika im Westen „schwimmen“.

Die Wegener'sche Kontinentalverschiebungstheorie besagt, daß der im alten Paläozoikum vorhandene Urkontinent aus Sial auf dem mantelbildenden Sima auseinanderzudriften begann und zwar unter anderen Bewegungen Amerika mit Grönland in Richtung West. Die Loslösung dürfte während des Oberperms eingeleitet worden sein, da FRIEND (1967) für die Trias (vor 200 Mill. Jahren) bereits eine Erweiterung des Nordatlantiks von 10 auf 20 Längengrade annimmt.

Es ist vorstellbar, daß das Auseinanderrücken der Blöcke zu einer Schwächung der Sial-Kruste geführt hat, welche Schwächezone dann von Rissen und Zerrspalten durchsetzt wurde, wie sie uns heute noch aus Island bekannt sind (RUNCORN, 1962). Diesem Aufbrechen der Sial-Kruste dürfte ein Aufdringen des Sima-Mantelmagmas gefolgt sein,

sodaß es zu einer recht engen Durchmischung und Aufschmelzung im großen Stil des Krustenmaterials durch das hypogene Basaltmagma kam.

Aus einer Aufstellung von RANKAMA u. SAHAMA (1950) geht hervor, daß wohl Kupfer an simatische Gesteine gebunden ist, während Blei und Zink in sialischen Magmen zu finden sind. Dies heißt somit, daß erst durch Aufschmelzung von sialischem Krustenmaterial das Magma nicht nur seine Zusammensetzung von basisch zu intermediär und sauer verändert, sondern gleichzeitig den in der Kruste allenthalben vorhandenen Metallgehalt aufnimmt.

W. E. PETRASCHECK (1968) führt diese Sammlerwirkung auf den im primären Basaltmagma ursprünglich vorhandenen Schwefel zurück. Wir kennen zahlreiche Beispiele von Lagerstätten, welche auf so ein Mischmagma zurückgeführt werden, unter anderem auch die Kupfervorkommen entlang der Geosuture der pazifischen Küste, welche den sialischen Kontinentalrand vom simatisch-basaltischen Ozeanboden trennt.

Auf Grund der Position der heute bekannten Kupferschiefervorkommen in Europa und des nun neuentdeckten Vorkommens in Ostgrönland westlich des mittelatlantischen Rückens ist zu folgern, daß das damalige Zechsteinmeer eine Einheit gebildet hat, welche erst durch die Auseinanderdrift, die zu diesem Zeitpunkt begann, getrennt wurde. Die oben erwähnten Begleiterscheinungen dürften erst plutonisch, dann subvulkanisch und schließlich effusiv geworden sein, jedenfalls scheinen diese Vorgänge unter oder im Becken des Zechsteinmeeres erfolgt zu sein. Es liegt nun nahe, daß die während der Um- und Aufschmelzung der Sial-Krustenteile durch hypogenes Basaltmagma aufgenommenen Metallgehalte an das Zechsteinmeer abgegeben wurden. Diese Aufnahme könnte einerseits durch hydrothermale, juvenile Wässer, durch Abgeben magmatischer Dämpfe andererseits, oder durch den Kontakt des Wassers mit erzführendem Magma selbst erfolgt sein. Jedenfalls dürfte das Zechsteinmeer einen enormen Gehalt an Kupfer sowie anderen Bunt-, Schwer- und Spurenmetallen gehabt haben, der in verschiedenster Form vorgelegen sein konnte: als gelöstes Sulfid, Bisulfid, Sulfat, Karbonat oder Chlorid (Cl im basaltischen Magma!).

Die Ausfällung erfolgte offenbar prinzipiell in allen Meeresteilen mit reduzierendem Milieu, jedoch scheinen sich einige Gebiete besonders gut geeignet zu haben.

1. Die größte Rolle dürfte die Absenkungsgeschwindigkeit des Beckens gespielt haben, die ja in erster Linie die Schichtmächtigkeit beeinflusst. Je geringer diese war und je ruhiger sie erfolgte, desto günstiger waren die Voraussetzungen für die Bildung des Kupferschiefers, da pro Zeiteinheit mehr Metall auf geringe vertikale Mächtigkeit konzentriert wurde.
2. Eine nicht unerhebliche Funktion dürften die Meeresströmungen innegehabt haben, denn diese dürften es gewesen sein, die „frisches“, kupferhältiges Wasser in die Absatzgebiete brachten. Es könnten daher Gebiete mit direktem Zustrom aus dem Liefergebiet mehr Metall geliefert bekommen haben als solche im Strömungsschatten.

3. Süßwasserzuflüsse, welche durch Abtragung von kupferhaltigen Gesteinen einen gewissen Gehalt an gelöstem Kupfer besaßen, dürften nach Eintritt in den reduzierenden Bereich der Becken mit euxinischem Milieu ihren Metallgehalt ausgefällt haben und so Zonen mit erhöhtem Kupfergehalt gebildet haben.

Die Tatsache, daß Kupfer als erstes Metall zur Abscheidung kam und auf die liegenden Partien des Kupferschieferflözes beschränkt ist (RICHTER, 1941), kann nicht allein aus der größeren Affinität des Kupfers zum Schwefel erklärt werden (OELSNER, 1959). Dieses Phänomen wäre leichter durch eine anfängliche (initiale?) Förderung von mehr hypogenem, basaltischen Magma zu erklären, welches — wie schon erwähnt — mehr Kupfer enthält. Erst im fortgeschrittenen Stadium der Aufschmelzung der Sial-Kruste wird das in diesem enthaltene Blei und Zink frei und durch hydrothermale Lösungen nach Differentiation an das Zechsteinmeer abgegeben. Auf diese Weise wäre eine Blei-Zink-Dominanz in den hangenden Teilen des Kupferschieferflözes erklärbar.

Ein Problem, das schon seit jeher die Bearbeiter des Kupferschiefers beschäftigt hat, ist das der sogenannten „Roten Fäule“. In diesen Bereichen tritt bei gleichzeitiger Rotfärbung eine Vertaubung des Kupferschieferflözes ein, wogegen an den Randzonen hohe Kupfergehalte ohne Pb und Zn über die gesamte Flözmächtigkeit zu verzeichnen sind. Erst mit zunehmender Entfernung von diesem Kupfersaum tritt das gewohnte Verteilungsbild mit unten Kupfer und im Hangenden Blei und Zink ein. GILLITZER (1936) hat die „Rote Fäule“ mit sauerstoffreichen Zuflüssen in Zusammenhang gebracht, in deren Bereich die Metallfällung unterblieb, während erst nach Abbau des Sauerstoffs die Sulfidfällung erfolgen konnte. Schwer oder gar nicht erklärbar blieb jedoch die Tatsache der durchgehenden Kupferführung bei gleichzeitigem Fehlen von Blei und Zink.

Dies kann durch folgende Überlegungen zu deuten sein:

Die Zuflüsse, welche zumindest für die Kupferschiefervorkommen in Deutschland und Polen aus den Varisziden kamen, führten wie ja schon immer vermutet wurde, gelöstes Kupfer, jedoch kaum Pb-Zn mit sich. Dieser Kupfergehalt wurde sofort nach Verlassen der Sauerstoffzone ausgefällt und hat so einen kontinuierlichen Kupfersaum um die Rote Fäule gelegt. Dazu kamen etwaige Kupfergehalte und geringe Pb-Zn-Gehalte, die aus dem Meerwasser stammten. Meerwärts kam es natürlich zu einem Abnehmen der hohen Kupfergehalte und zu einer Normalisierung der Ausfällungsbedingungen, die durch die Magmenabfolge vorgezeichnet war.

Die Bildung des Kupferschiefers läßt sich also nicht mit einem Akt und einer Stoffquelle erklären. Es mögen neben kupferhaltigen Süßwasserzuflüssen auch verlagerte Red-Bed-Vorkommen an der Bildung beteiligt gewesen sein, der überwiegende Anteil des Stoffbestandes aber muß in einer Zufuhr aus einer ungleich größeren Lieferquelle erklärt werden und zwar dem hypogenen Magma, welches bei der Kontinentalverschiebung mobilisiert wurde.

Die Bildung der Lagerstätte erfolgte selbst durch Ausfällung der gelösten Metalle im euxinischen Milieu, also durch die Mithilfe des Wassers. Auf Grund dieser beiden Vorgänge sei diese Lagerstättenhypothese als hypo-hydatogen bezeichnet.

LITERATURVERZEICHNIS

- BEYSCHLAG, F.: Beitrag zur Genesis des Kupferschiefers. Z. prakt. Geol. **8**, 115—117 (1900).
- BRINKMANN, R.: Abriß der Geologie II. Band, Historische Geologie. Stuttgart: Ferdinand Enke, 345 p., 1965.
- DEANS, T.: The Kupferschiefer and associated mineralization in the Permian of Silesia, Germany and England. Rpt. 18th Int. Geol. Congress **7**, 340—351 (1950).
- DUNHAM, K. C.: Neptunist conception in Ore Genesis. Econ. Geol. **59**, 1—21 (1964).
- DUNHAM, K. C., and D. M. HURST: Chemistry and petrography of the Marl Slate of S. E. Durham, England. Econ. Geol. **58**, 912—940 (1963).
- EISENHUT, K. H., and E. KAUTZSCH: Handbuch für den Kupferschieferbergbau. Leipzig: Fachbuchverlag, 335 p., 1954.
- EKIERT, F.: Herkunft des Kupfers in Sedimenten des unteren Zechsteins. Freiburger Forschungsh. C **79**, 190—201 (1960).
- FERSMAN, A. E.: Izbrannyje trudy. T. II Moskwa, 1953. n. v.
- FRIEND, P. F.: The growth of the North-Atlantic Ocean by spreading of its floor. Polar Rec. **13**, No. 86, 579—588 (1967). In: Chronique des Mines, No. 373, 163 (1968).
- FULDA, E.: Zum Problem des Kupferschiefers. Jb. d. Preuß. Geol. Landesanst. Berlin f. d. Jahr 1928, **49**, 995—1002 (1929).
- GILLITZER, G.: Die Geologie der Erzanreicherungen im mitteldeutschen Kupferschiefer. Jb. d. Hall. Verb. f. d. Erforschung d. mitteldeutschen Bodenschätze **15**, 9—28 (1936).
- KAUTZSCH, E.: Die sedimentären Lagerstätten des Unteren Zechsteins. Freiburger Forschungsh. C **44**, 14—21 (1958).
- KEMPTER, E.: Die jungpaläozoischen Sedimente von Süd Scoresby Land (Ostgrönland, 71½° n. Br.). Medd. Grönland, Bd. 164/1, 123 (1961).
- KRUSCH, P.: Die Verteilung der Metallgehalte (Kupfer, Silber, Molybdän und Vanadin) im Richelsdorfer Kupferschiefer, ein Beitrag zur Genesis des Flözes. Z. prakt. Geol. **27**, 76—84 (1919).
- LEHNERT-THIEL, K.: Mitteilungen über einen permischen Kupferschiefer Ostgrönlands, 72° n. Br., im Druck (1969).
- MESSNER, E.: Kupferschiefer, Sanderz und Kobaltrücken im Richelsdorfer Gebirge. Hessisches Lagerstättenarchiv **3**, 125 (1955).
- OELSNER, O.: Bemerkungen zur Herkunft der Metalle im Kupferschiefer. Freiburger Forschungsh. C **58**, 106—113 (1959).
- PETRASCHECK, W. E.: Zur Frage des Ursprungs der Erze. Sitzungsbericht math.-naturw. Klasse Österr. Akad. Wiss. **5**, 101—105 (1968).

- RANKAMA, K., and T. G. SAHAMA: *Geochemistry*. Chicago: University of Chicago Press, 912 p., 5th Edt., 1964.
- RICHTER, G.: Geologische Gesetzmäßigkeiten im Metallgehalt des Kupferschiefers. *Archiv f. Lagerstättenforschung* **73**, 61 (1941).
- RUNCORN, S. K.: *Continental Drift*. — *International Geophysics Series* V. 3, New York and London: Academic Press, 338 p., 1962.
- SCHNEIDERHÖHN, H.: Chalkographische Untersuchungen des Mansfelder Kupferschiefers. *Neues Jb. f. Min. usw., Beilage* Bd. 47, 1—38 (1921).
- SCHUOTEN, C.: *Metasomatische Probleme*. Amsterdam: Scheltema u. Holkemas Boekh., 148 p., 1937.