
FAKTEN ■ ANALYSEN ■ WIRTSCHAFTLICHE HINTERGRUNDINFORMATIONEN

Renaissance des deutschen Kupferschieferbergbaus?

Maren Liedtke und Jürgen Vasters

1 Einleitung

Die weltweit gestiegenen Metallpreise haben seit einigen Jahren auch in Deutschland zu einem erneuten Interesse an den verbliebenen und möglicherweise nun wieder wirtschaftlich gewinnbaren Metallerzvorkommen im Erzgebirge, im Harz, in der Lausitz und anderswo geführt. Für alle interessierten Firmen ist dabei die wirtschaftliche und politische Stabilität der Bundesrepublik Deutschland ein wichtiger Investitionsfaktor.

Besonders der Kupferschiefer ist dabei in den Fokus geraten und dies, obwohl sich Experten nicht über dessen wahre Bauwürdigkeit einig sind. Aufsuchungserlaubnisse sind von den zuständigen Ober- und Landesbergämtern bisher drei Firmen bzw. Tochterfirmen mit ausländischen Gesellschaftern erteilt worden.

Im Juni 2007 wurde der Minera S.A. (Holding mit Sitz in Panama) die Aufsuchungserlaubnis für das Feld Spremberg-Graustein-Schleife in der Lausitz erteilt. Die für die Erkundung von Kupfererz neugegründete Firma KSL Kupferschiefer Lausitz GmbH, eine 100%ige Tochtergesellschaft von Minera S.A., wurde mit den Aufsuchungsarbeiten beauftragt.

An der sächsisch-polnischen Landesgrenze, südöstlich des Erlaubnisfeldes der Minera S.A., wurde der polnischen KGHM CUPRUM sp. zo.o. vom sächsischen Oberbergamt die Bergbauberechtigung zur Durchführung von Erkundungsarbeiten erteilt.

Für das Feld Richelsdorf in Hessen, das in etwa der mittlerweile erloschenen Bergbauberechtigung „Richelsdorf“ entspricht, wurde ebenfalls eine Aufsuchungserlaubnis beantragt.

In diesem Beitrag sind Daten zum Kupferschiefer aufbereitet und komprimiert dargestellt worden. Weitergehende Literatur existiert in großem Umfang. Einige wichtige Quellen sind dem Text zu entnehmen, und auch die zuständigen geologischen Dienste der Länder stehen für Rückfragen zur Verfügung.

Obwohl das Preiswachstum für Kupfer sich abzuflachen scheint bzw. sogar schon wieder ein leichter Preisrückgang zu verzeichnen ist, hat der Verkäufermarkt für Kupfer mit dem einhergehenden hohen Preisniveau weiterhin Bestand. Dies zeigt, dass die technische Verfügbarkeit von Kupfer, im Gegensatz zur geologischen, derzeit noch immer eingeschränkt ist und mit dem Rohstoffbedarf schwer Schritt halten kann.

Die Rohstoffindustrie hat mittlerweile erkannt, dass es sich bei der gegenwärtigen Rohstoffhaushalt nicht um ein Strohfeuer handelt, sondern um einen schon fünf Jahre anhaltenden Aufschwung auf den Rohstoffmärkten, der vor allem durch Chinas Rohstoffhunger genährt wird. Die Antwort der Bergbauunternehmen besteht in der Verstärkung der Explorations- und Investitionsaktivitäten, wobei neben Südamerika und Asien auch der afrikanische Kontinent und sogar wieder Europa ins Blickfeld geraten.

Der in Mitteleuropa auf einer Fläche von mehr als 600.000 km² verbreitete Kupferschiefer enthält überall erhöhte Buntmetallgehalte (Pohl 1992). Bergbaulich interessante Anreicherungen werden derzeit allerdings nur noch in Polen abgebaut. Die gegenwärtig sehr hohen Kupferpreise könnten jedoch dazu führen, dass auch die im deutschen Teil liegenden Kupfervorkommen bauwürdig werden und somit eine Wiederaufnahme der in den 80er Jahre eingestellten Explorationstätigkeiten gerechtfertigt ist.

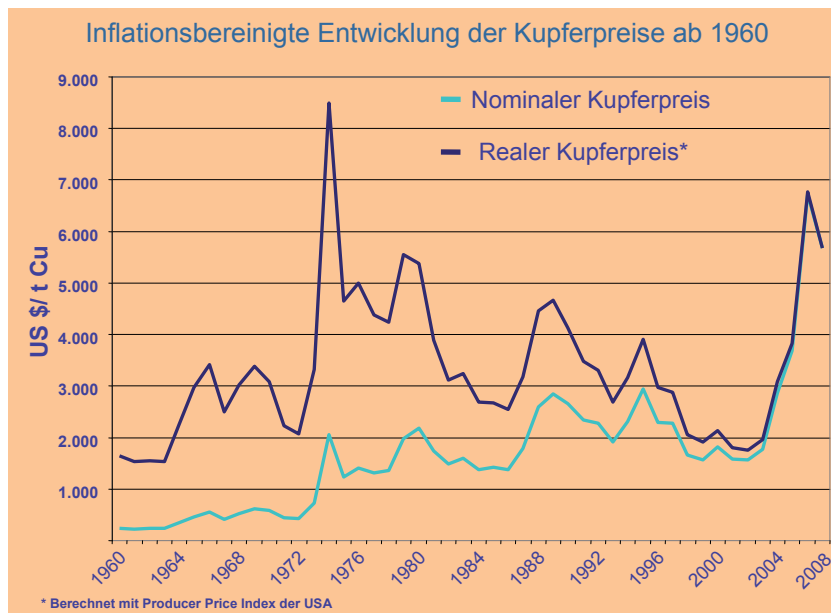


Abbildung 1: Langfristige Entwicklung der Kupferpreise

2 Definition und Lithologie des Kupferschiefers

Kupferschiefer ist die stratigraphische Bezeichnung eines meist nur wenige Dezimeter mächtigen Tonmergels an der Basis des transgressiven Zechstein, der bereichsweise Metall-Anreicherungen insbesondere von Kupfer, Blei, Zink und Silber sowie Kobalt, Nickel, Vanadium u. a. enthält. Er wurde unter anoxischen marinen Bedingungen nahezu im gesamten Zechsteinbecken zwischen England und Ostpolen abgelagert. Lithologisch ist der Kupferschiefer eine feinkörnige, feingeschichtete, grauschwarze, bituminöse Tonmergel- bis Mergelstein-Folge. Unterscheidbar sind eine geringmächtige Beckenfazies, eine mächtige, karbonatreiche Randfazies und eine Schwellenfazies. An Beckenrändern, in Schwellenzonen oder über tief reichenden Störungen können oxidierte, durch Hämatit (Fe_2O_3) rot gefärbte Zonen innerhalb des Kupferschiefers auftreten, deren Bezeichnung als „Rote Fäule“ auf einen alten Bergmannsbegriff zurückgeht. Unterlagert wird der Kupferschiefer meist von konglomeratischen oder sandigen Sedimenten (Zechsteinkonglomerat/Grauliegend/Weißliegend) sowie Vulkaniten des Rotliegend und lokal auch direkt vom variszischen Grundgebirge. Das Hangende des Kupferschiefers bilden die Karbonatgesteine des Zechsteinkalk (Ca1, Werra-Zyklus).

Die Erzführung an der Zechsteinbasis tritt größtenteils im Bereich des Kupferschiefers auf. Lokal weisen die hangenden Zechsteinkalke und die liegenden klastischen Sedimente („Sanderz“) ebenfalls hohe Metallgehalte auf, wodurch die Mächtigkeit der Vererzungszone, gegenüber

der des Kupferschiefers selbst, stark zunimmt. Ökonomisch interessant sind Metallkonzentrationen ab etwa $>2\%$ Cu auf 2 m Mächtigkeit.

Im überwiegenden Verbreitungsgebiet des Kupferschiefers liegt die Konzentration der Kupfermenge deutlich unter 1% Cu. Bergbaulich interessante Erzanreicherungen konzentrieren sich auf den Südrand des Zechsteinbeckens, sie folgen überwiegend dem Grenzbereich Saxothuringikum/Rhenoharzynikum. Diese erzführende Zone mit den Kupferanreicherungen von Richelsdorf (Hessen), des südöstlichen Harzvorlandes, von Südbrandenburg, der Niederlausitz und Niederschlesien wird als mitteleuropäischer Kupfergürtel bezeichnet. In diesem Gürtel sind die lokal stärkeren Kupferanreicherungen an Suturlinien und Lineamente gebunden. Insbesondere in Kreuzungsbereichen von variszischen Störungen mit NNE-SSW bis NNW-SSE streichenden Bruchzonen können die Kupfergehalte z. T. stark ansteigen und auf über 20 kg Cu/m^2 konzentriert sein (Rentzsch et al. 1997, Wedepohl & Rentzsch 2006, Stedingk & Rentzsch 2003). Wirtschaftlich interessante Kupfergehalte treten meist in der Nachbarschaft zur „Roten Fäule“ (Hämatit-Fazies) auf. In dem Bereich der „Roten Fäule“ selbst fehlen die Buntmetallsulfide weitgehend. „Rote Fäule“ und Erzführung verlaufen diskordant zur Schichtung.

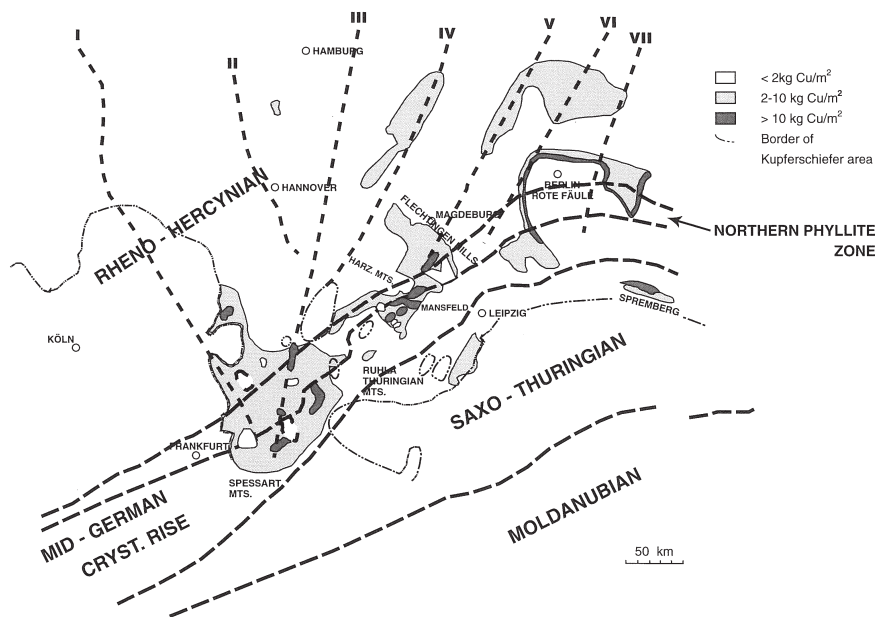


Abbildung 2: Verteilung der Kupfergehalte innerhalb der variszischen Zonen (WEDEPOHL & RENTZSCH 2006). I bis VII sind tektonische Lineamente: I Ems-Altenbüren, II Steinhude, III Hessisches, IV Arendsee, V Rheinsberg (Ost-Harz), VI Liebenwalde, VII Schwedt-Stettin. 10 kg Cu/m² entsprechen bei einer angenommenen Mächtigkeit der Vererzung von 40 cm etwa 1 % Cu-Metall, bei 2 m Mächtigkeit etwa 0,2 % Cu-Metall.

3 Die Metallogenese vom Typ Kupferschiefer

Über die Vererzungsgenese gibt es verschiedene Theorien (s. a. RENTZSCH 1991). Für die Anreicherung der Buntmetalle wird heute meist ein mehrstufiger Prozess nach Ablagerung des Kupferschiefers verantwortlich gemacht (z. B. Borg 1991, KOPP et al. 2008, RAPPILBER et al. 2008, RENTZSCH et al. 1997, SCHMIDT et al. 1986, STEDINGK 2002, STEDINGK & RENTZSCH 2003, WEDEPOHL & RENTZSCH 2006).

In einem primären Schritt kam es zur Ablagerung des Kupferschiefers im anoxischen, H₂S-reichen Bereich und zur syngenetischen Ausfällung von Pyrit und Spuren von Buntmetallsulfiden durch bakterielle Sulfatreduktion. Diese **syngenetischen** Metallanreicherungen sind gering.

Die Haupt-Erzanreicherungen an der Zechsteinbasis erfolgten durch mehrphasige Metallzufuhr und Metallmobilisationen durch aufsteigende Fluide vermutlich während oder nach der **Diagenese**, jedenfalls nach Sedimentation des Kupferschiefers. Durch den Aufstieg von Formationswässern, die vermutlich durch Auslaugung aus tiefer liegenden Sedimenten, Magmatiten und Vulkaniten Metalle mitführten und ihrer lateralen Lösungsmigration im Kupferschiefer kam es zwischen den oxidierten Rotliegend-Sedimenten und dem reduzierten, an organischem Kohlenstoff reichen Kupferschiefer zur Ausfällung von Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende und

Eisen-Sulfiden. Diese sind um die Lösungsaufstiegszentren zonierte. In einem weiteren Schritt kam es zum Aufstieg buntmetall- und sauerstoffführender salzreicher Tiefenwässer an einzelnen, regionalen Bruchzonen und relativen Hebungsgebieten sowie ihrer Zirkulation und seitlichen Ausbreitung an der Zechsteinbasis. Dies führte zur Oxidation des frühdiagenetisch mineralisierten Kupferschiefers und somit zur Bildung der „Roten Fäule“. Durch Mobilisation buntmetallangereicherter Lösungen an der Redoxgrenze kam es zur Bildung von Cu-Ag-Reicherzassoziationen. „Rote Fäule“ und Kupfervererzung durchsetzen diskordant die liegenden klastischen Sedimente sowie den Kupferschiefer und reichen z. T. bis in den Zechsteinkalk (Ca1) hinein. Während z. B. RENTZSCH et al. (1997), STEDINGK (2002), STEDINGK & RENTZSCH (2003) und WEDEPOHL & RENTZSCH (2006) von einer früh- bis spätdiagenetischen Lösungsmigration der Fluide im noch unverfestigten Kupferschiefer ausgehen, nehmen KOPP et al. (2008) an, dass dieser Prozess epigenetisch stattfand.

Als **epigenetische** Bildung werden die hydrothermalen Gangmineralisationen („Rücken“), lokale Umlagerungen und Erzanreicherungen im Kupferschiefer angesehen.

In Deutschland sind in der erzführenden Zone an der Zechsteinbasis im Wesentlichen die Sulfidminerale Chalkosin (Kupferglanz, Cu₂S), Bornit (Buntkupferkies, Cu₅FeS₄), Chalkopyrit (Kupferkies, CuFeS₂), Tennantit (Arsenfahlerz, Cu₁₂As₄S₁₃), Galenit (Bleiglanz, PbS), Sphalerit (Zinkblende, ZnS), Pyrit und Markasit (Schwe-

felkies, FeS_2) sowie Digenit (Cu_9S_5), Covellin (Kupferindig, CuS), Stromeyerit (AgCuS), Akanthit (Ag_2S) und gediegen Silber (Ag) vertreten (RENTZSCH et al. 1997).

Im Kupferschiefer können zehn typische Erzmineralassoziationen unterschieden werden, die eine regionale Zonalität sowohl in vertikaler als auch lateraler Richtung aus dem Bereich der oxidierten „Rote Fäule“-Gebiete heraus zu den reduzierten Bereichen im Beckeninnern aufweisen: 1. Hämatit-Typ („Rote Fäule“), 2. Covellin-Idait-Typ, 3. Chalkosin-Typ, 4. Bornit-Chalkosin-Typ, 5. Bornit-Typ, 6. Bornit-Chalkopyrit-Typ, 7. Chalkopyrit-Pyrit-Typ, 8. Galenit-Sphalerit-Chalkopyrit-Typ, 9. Galenit-Sphalerit-Typ und 10. Pyrit-Typ (Beckeninnere) (RENTZSCH & KNITZSCHKE 1968, RENTZSCH et al. 1997). Die Zonalität zeigt die Abhängigkeit der Löslichkeitsprodukte der Metallsulfide vom Redoxpotential und dem pH-Wert.

4 Bergmännische Gewinnung des Kupferschiefers

Seit dem Mittelalter wird der Kupferschiefer bergmännisch gewonnen. Allerdings ist der Abbau in den Revieren Deutschlands seit langem eingestellt. Die letzte Kupfererzförderung wurde 1990 mit der Einstellung der Bergbautätigkeiten in der Sangerhäuser Mulde beendet. In Polen werden die Buntmetalle der Zechsteinbasis heute noch im Lubin Distrikt in Niederschlesien abgebaut.

4.1 Bedeutende Kupfererz-Vorkommen an der Zechsteinbasis

Mansfeld-Sangerhausen (Sachsen-Anhalt)

Die Kupferschieferreviere Mansfeld und Sangerhausen liegen im südöstlichen Harzvorland in der Mansfelder Mulde und in der Sangerhäuser Mulde (Abb. 3). Sie sind durch den Hornburg-Sattel morphologisch voneinander getrennt. Das Sangerhäuser Revier wird im Norden, das Mansfelder Revier im Westen durch den Harz begrenzt. Die Nordgrenze des Mansfelder Reviers bildet die Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke. Im Südwesten und Südosten der Reviere liegen tieferreichende Störungszonen.

Der Abbau des Kupferschiefers erfolgte mindestens seit dem 13. Jahrhundert. Auf einer Fläche von insgesamt etwa 191 km^2 mit einem Streckennetz von über 1.000 km (Mansfeld 750 km, Sangerhausen 250 km) wurde eine Flözfläche von 181 km^2 abgebaut. 1969 wurde der Bergbau im Mansfelder Revier und 1990 im Sangerhäuser Revier eingestellt. Die Verwahrung der Grubenbaue war 1997 im Wesentlichen abgeschlossen (KNITZSCHKE & SPILKER 2003).



Abbildung 3: Übersichtskarte der Kupferschieferreviere Mansfeld und Sangerhausen (zur Verfügung gestellt von Stedingk und König verändert nach STEDINGK & RAPPLILBER 2000).

Das Kupferschieferflöz in diesen beiden Revieren ist im Durchschnitt etwa 35-40 cm mächtig. Seine Überdeckung durch jüngere Gesteine beträgt bis zu 1.000 Meter. Abgebaut wurde es bis zu einer Teufe von max. 995 m auf dem Ernst-Thälmann-Schacht (14. Sohle) und 950 m auf dem Bernard-Koenen-Schacht (12. Sohle). Entlang des Harzrandes, Hornburger Sattels und der Halle-Hettstedter Gebirgsbrücke streicht der Kupferschiefer über Tage aus und fällt von dort mit 3–8° vorherrschend in östliche bis südliche Richtung ein (KNITZSCHKE 1999). Durch eine Vielzahl von Bruchstörungen mit den Hauptstreichrichtungen NW-SE, W-E und teilweise NE-SW mit Versätzen von wenigen Zentimetern bis zu mehreren 100 Metern ist die Normalagerung des Kupferschiefers zerhackt. Im Kreuzungsbereich dieser Störungen mit dem auslaufenden NNE-SSW-streichenden Rheinsberg-Lineament (siehe Abb. 2) sind am Rand der vertaubten „Roten Fäule“ lokal bis zu 100 kg Cu/m² angereichert (RENTZSCH & FRANZKE 1997, STEDINGK & RENTZSCH 2003).

Beim Abbau wurden die Erzsorten Kupferschiefererz, Hangenderz mit den Erzarten Fäule und Dachklotz („Gute Berge“) sowie das unmittelbar Liegende („Sanderz“) unterschieden. Haupterz und Gegenstand des Bergbaus war das Kupferschieferflöz. Hangenderz und Liegendes wurden nur lokal begrenzt abgebaut (KNITZSCHKE & SPILKER 2003). Die wichtigsten Erzminerale im Kupferschiefer von Mansfeld-Sangerhausen sind Bornit, Chalkopyrit, Chalkosin, Covellin, Tennan-

tit, gediegen Silber, Galenit, Sphalerit, Pyrit und Markasit. Diese sind in Mineralassoziationen um die vertaubten „Rote Fäule“-Zonen angeordnet. Gewonnen wurden die Hauptmetallelemente: Kupfer, Blei, Zink, Silber, mit gewonnene Nebenmetalle waren: Vanadium, Molybdän, Kobalt, Nickel, Selen, Rhenium, Cadmium, Thallium, Germanium und Gold (STEDINGK & RAPPILBER 2000).

Im Gebiet der 191 km² großen abgebauten Lagerstättenfläche waren ursprünglich 3,75 Mio. t Cu (im Durchschnitt also 19,6 kg Cu/m²), 0,75 Mio. t Pb, 0,65 Mio. t Zn sowie 20.300 t Ag enthalten. Während der Bergbauperiode wurden etwa 109 Mio. t Roherz mit 2,6 Mio. t Cu- und 14.000 t Ag-Inhalt gefördert. Restvorräte befinden sich innerhalb des Sangerhäuser Reviers (Baufelder Bernard-Koenen- und Thomas-Münzer Schacht, Tieferscholle Osterhausen, Feld Heldrungen) und liegen bei etwa 35,4 Mio. t Roherz mit Metallgehalten von 860.000 t Cu, 105.000 t Pb, 100.000 t Zn und 4.700 t Ag (KNITZSCHKE 1995, STEDINGK & RENTZSCH 2003).

In den Flachhalden (bestehend aus etwa 90 % Zechsteinkalk und 10 % Kupferschieferarmerz, sog. „Ausschläge“) sowie den Spitzkegelhalden in den beiden Revieren lagern etwa 135 Mio. t Haldenmaterial. Es gibt Überlegungen zur Nutzung und Aufbereitung der darin noch enthaltenen Wertstoffe (RAPPILBER et al. 2008).

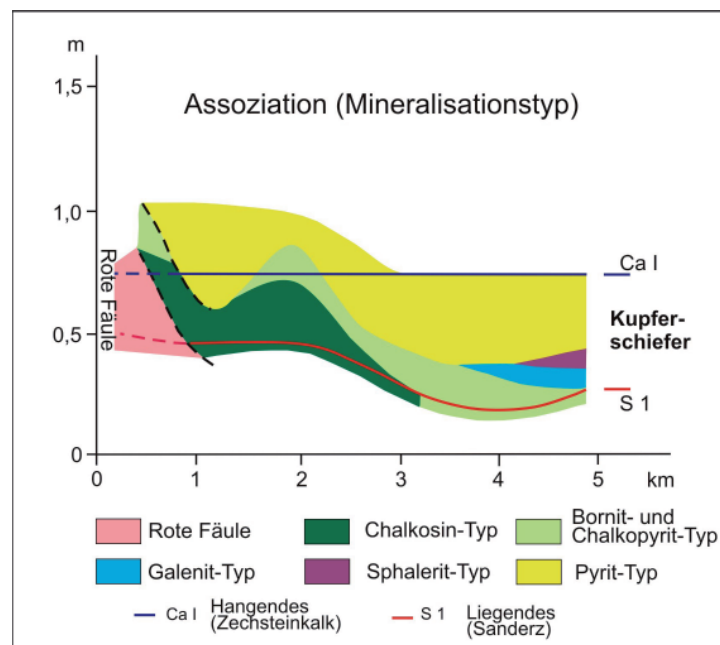


Abbildung 4: Schematische Abfolge der Mineralisationstypen. In Nachbarschaft der „Rote Fäule“ treten die Kupfer-Reicherze auf, mit zunehmender Entfernung dann blei-, zink- und pyritreiche Erze (STEDINGK & RAPPILBER 2000).

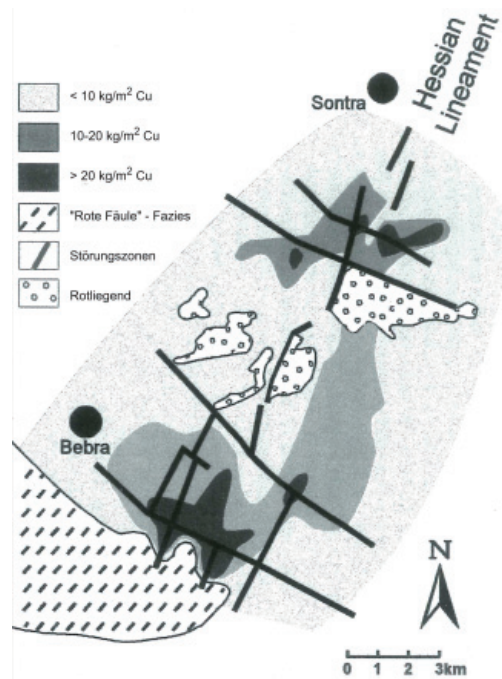


Abbildung 5: Verteilung des Cu-Gehaltes in Nord- und Südmulde des Richelsdorfer Reviers (aus RENTZSCH & FRANZKE 1997, leicht verändert).

Richelsdorfer Gebirge (Hessen)

Das hessische Kupfer-Revier des Richelsdorfer Gebirges befindet sich zwischen den Ortschaften Richelsdorf, Bebra und Sontra. Der dort bereits im Jahr 1955 endgültig eingestellte Kupfer-Bergbau geht bis in das 13. Jahrhundert zurück. Abgebaut wurden Kupfer-, Kobalt- und Nickel-Erze sowie Schwespat.

Das hessische Kupferschieferrevier wird in eine Nord- und Südmulde eingeteilt. Die Südmulde liegt südöstlich Bebra, die Nordmulde bei Sontra. Die angenommene Flözfläche hat in der Nordmulde eine Ausdehnung von ca. 10,5 km² und in der Südmulde von etwa 26,5 km² (SCHNORRER-KÖHLER 1983).

Der Kupferschiefer liegt in einem Teufenbereich von 60–600 m unter Geländeoberkante. Seine Mächtigkeit schwankt stark zwischen 15 und 200 cm (VAUGHAN et al. 1989). Der Vererzungshorizont erstreckt sich über das „Sanderz“ im obersten Grauliegend / Weißliegend, den Kupferschiefer und den untersten Teil des Zechsteinkalks, die sog. „Dachberge“ (SCHNORRER-KÖHLER 1983). Haupterzminerale sind Chalkosin, Bornit, Covellin und Digenit. Im Norden des Richelsdorfer Reviers kommen außerdem die als „Rücken“ bezeichneten Co-Ni-As-Ba-Gänge vor.

Die Mineralassoziationen zeigen auch im Richelsdorfer Revier die typische vertikale Zonierung in Abhängigkeit von der Lage zu „Rote Fäule“-Gebieten und der Mächtigkeit des Kupferschiefers in reduzierter Fazies: Die Kupfervererzung grenzt an die „Rote-Fäule“-Gebiete,

Blei und Zink sind in weiterer Distanz konzentriert. Die Kupfermineralisationen sind hauptsächlich im Grenzbe- reich graue Konglomerate/Kupferschiefer konzentriert. Bei geringeren Kupferschiefermächtigkeiten (< 50 cm), ist das Maximum der Kupferanreicherung verschoben und kann auch im überlagernden Zechsteinkalk liegen. Der Silbergehalt variiert in Abhängigkeit des Kupferanteils und liegt bei 10 g Ag/t pro 1 % Kupfer (JOWETT 1987, SCHMIDT et al. 1986).

In den Jahren 1982 bis 1987 untersuchte die St. Joe Ex- plorations GmbH im Joint Venture mit der Preussag AG Metall und später mit der Utah Explorations GmbH die Schichten der Zechsteinbasis im Raum Ronshausen – Ro- tenburg – Sontra sowie auch in Nordbayern auf Cu-Ag- Vererzungen. Ziel der Untersuchungen war der Nachweis einer Kupfer-Silber-Lagerstätte vom Typ Lubin (Polen, s. u.) mit mindestens 55 Mio. t Erz. Gemittelt über eine Bauhöhe von 2 m sollte die Lagerstätte nicht weniger als 2 % Cu und 1 oz Ag/t enthalten. Der Erzkörper müsste unter diesen Voraussetzungen eine Ausdehnung von etwa 12-15 km² besitzen (SCHUMACHER & SCHMIDT 1985).

Im Verlauf der Untersuchung wurden im Bereich des Erlaubnisfeldes Richelsdorf sowie in dem benachbarten Erlaubnisfeld Spessart/Rhön zwischen 1982 und 1987 60 Kernbohrungen mit einer Gesamtblöhlänge von rund 28.000 m niedergebracht. Die Größen der Aufsuchungs- erlaubnisfelder in Richelsdorf beliefen sich auf 1.600 km² und im Gebiet Spessart/Rhön auf 2.500 km².

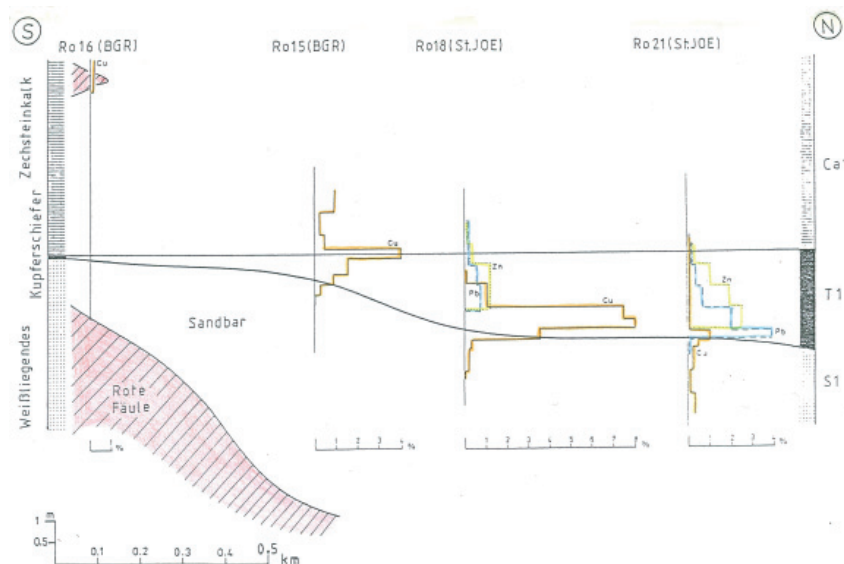


Abbildung 6: Änderung der Metallverteilung in der Südmulde in Abhängigkeit von der Entfernung zur Roten Fäule. Dargestellt anhand von vier Bohrungen (SCHMIDT et al. 1986).

Durch die damals erfolgten Explorationsarbeiten wurden im Feld Richelsdorf nur südlich der Ortschaft Ronshausen geologische Vorräte im Umfang von ca. 8 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 2,1 % Cu und 25 g Ag/t Erz – gemittelt über eine Abbauhöhe von 2 m – nachgewiesen (SCHUMACHER & SCHMIDT 1985). Von der durch Bohrungen ebenfalls untersuchten Richelsdorfer Nordmulde sowie aus der südlichen Erweiterung des Richelsdorfer Erlaubnisfeldes zwischen Bad Hersfeld und Fulda wurden keine nennenswerten Erzfunde publiziert. Das Richelsdorfer Vorkommen in der Südmulde stellt sich somit als isoliert liegende Vererzung dar.

Im Zielgebiet Spessart-Rhön hat die Exploration der St. Joe zum Nachweis einer mehr als 200 km² großen Kupferanomalie geführt. Diese Anomalie lässt sich in drei Gebiete mit erhöhten Cu-Ag-Gehalten unterteilen:

1. Nordrhön mit maximalen Cu-Gehalten von 1,08 % und 70 ppm Ag über 2 m Mindestmächtigkeit,
2. Südwestrhön mit maximalen Cu-Gehalten von 0,4 % und 73 ppm Ag über 2 m Mindestmächtigkeit,
3. Nordostspessart mit maximalen Cu-Gehalten von 0,73 % und 19 ppm Ag über 2 m Mindestmächtigkeit.

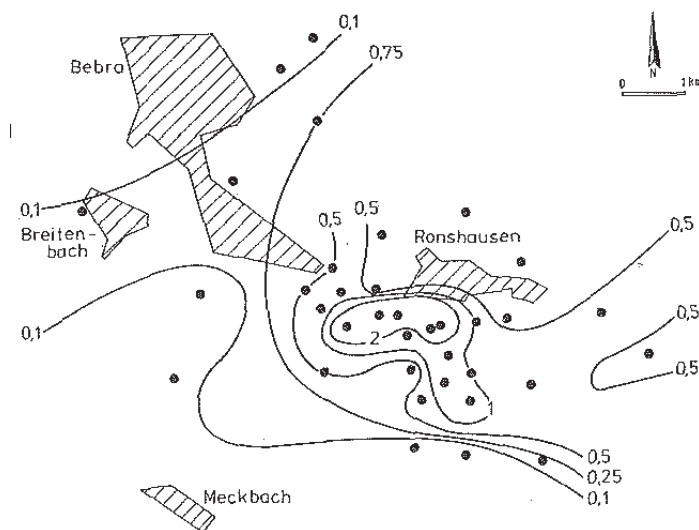


Abbildung 7: Verteilung der Kupfergehalte im Explorationsgebiet Richelsdorf, Angaben in % Cu auf 2 m Abbauhöhe (SCHUMACHER & SCHMIDT 1985).

Spremberg-Graustein-Weißwasser (Brandenburg, Sachsen)

Das in der Lausitz liegende Kupfer-Vorkommen Spremberg-Graustein befindet sich im sächsisch-brandenburgischen Grenzgebiet zwischen Spremberg und Weißwasser am Südrand des mit ca. 12.000 km² bisher größten bekannten „Rote Fäule“-Gebietes von Südbrandenburg-Niederschlesien. An dessen Umrandung wurden teils bedeutende Kupferanreicherungen erbohrt. Das Vorkommen Spremberg-Graustein-Weißwasser liegt am NE-Rand der Antiklinalstruktur Mulkwitz, in der der Kupferschiefer um 300 m gehoben ist und relativ hohe Mächtigkeiten von bis zu 1,4 m erreicht.

Die Kupfervererzung des Kupferschiefers in dieser Antiklinalstruktur wurde zu DDR-Zeiten zwischen zirka 1953 und 1981 u. a. durch geophysikalische Messungen und über 130 Tiefbohrungen (24 liegen im Bereich der Erzfelder Spremberg und Graustein) lagerstättengeologisch erkundet. Nördlich und östlich von Spremberg in Brandenburg wurden hohe Kupfergehalte gefunden, so dass die Erzfelder Spremberg und Graustein abgegrenzt wurden. Diese sind durch den Türkendorfer Graben von-

einander getrennt. Auf der sächsischen Seite (u. a. mit dem Feld Schleife) wurden, mit Ausnahme einer Bohrung südöstlich Weißwasser, keine erhöhten Kupfergehalte, sondern nur Anreicherungen von Blei und Zink festgestellt. Der Gesamtwert der Felder wird aber von dem Gehalt an Kupfer bestimmt (KOPP et al. 2006, KOPP et al. 2008).

Die Felder Spremberg-Graustein erstrecken sich auf etwa 14 km Länge und 2–3 km Breite. Die Fläche des Vorkommens umfasst rund 22,5 km². Der im Bereich Spremberg-Graustein in einer Tiefe von etwa 800 bis 1500 m unter Geländeoberfläche liegende Erz führende Horizont fällt flach nach Norden und Nordosten ab. Die Vererzungszone mit wirtschaftlich interessanten Mineralen erreicht eine Durchschnittsmächtigkeit von etwa 2,4 m. Sie reicht lokal über den Kupferschiefer hinaus in den überlagernden Zechsteinkalk und den unterlagernden Grauliegend-Sandstein. Somit schwankt die Mächtigkeit des Kupferschieferflözes zwischen 0,3 und 1,4 m, die abbaubare Mächtigkeit des Gesamt-Erzkörpers an der Zechsteinbasis im Feld Spremberg erreicht 1 bis 3,8 m und im Feld Graustein sogar 1 bis 8,2 m (LfUG 2007, KOPP et al. 2006, KOPP et al. 2008).

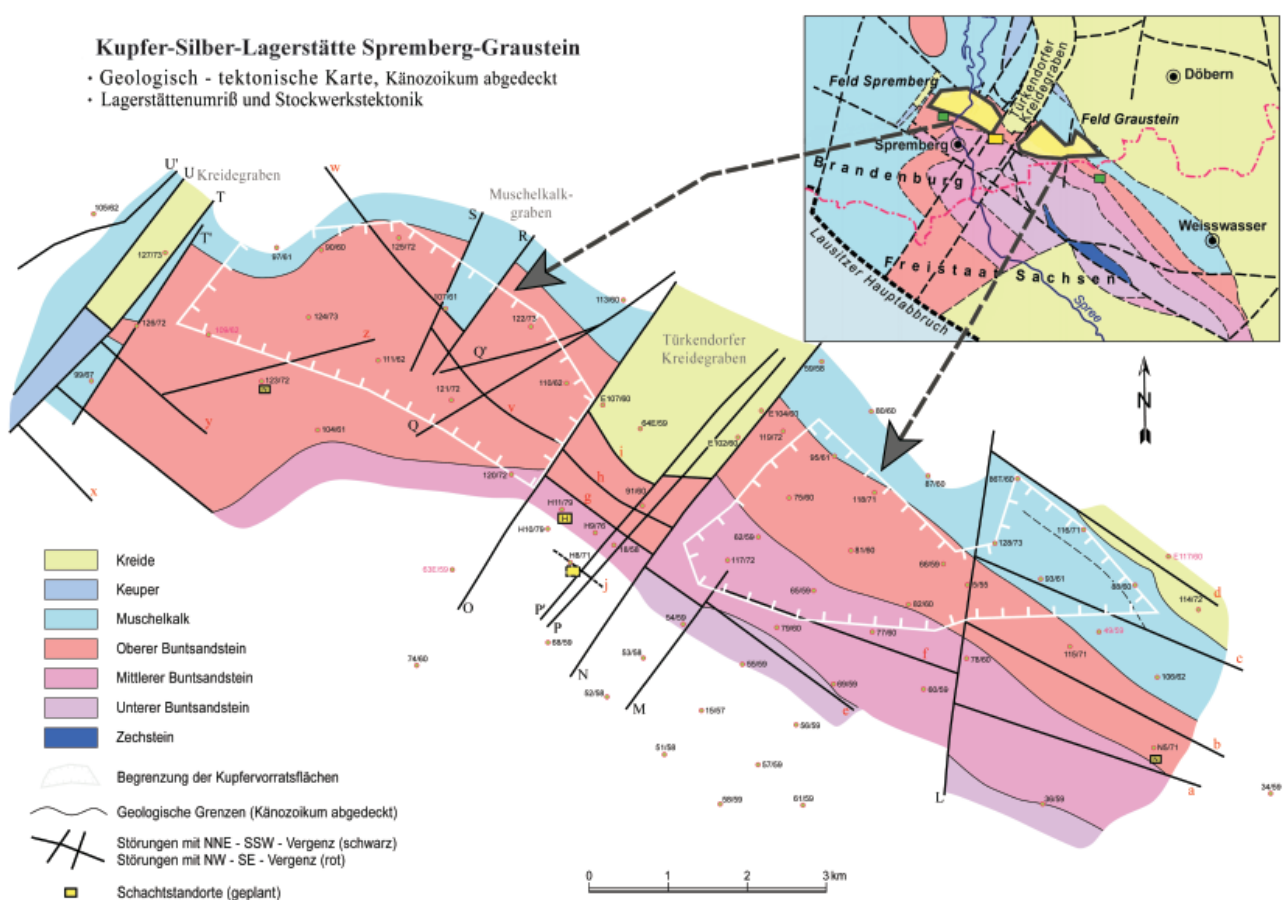


Abbildung 8: Geologisch-tektonische Karte mit den Erzfeldern an der NE-Flanke der Antiklinalstruktur Mulkwitz im Raum Spremberg/Lausitz (Kopp et al. 2008). Die Felder Spremberg und Graustein sind durch den Türkendorfer Graben voneinander getrennt.

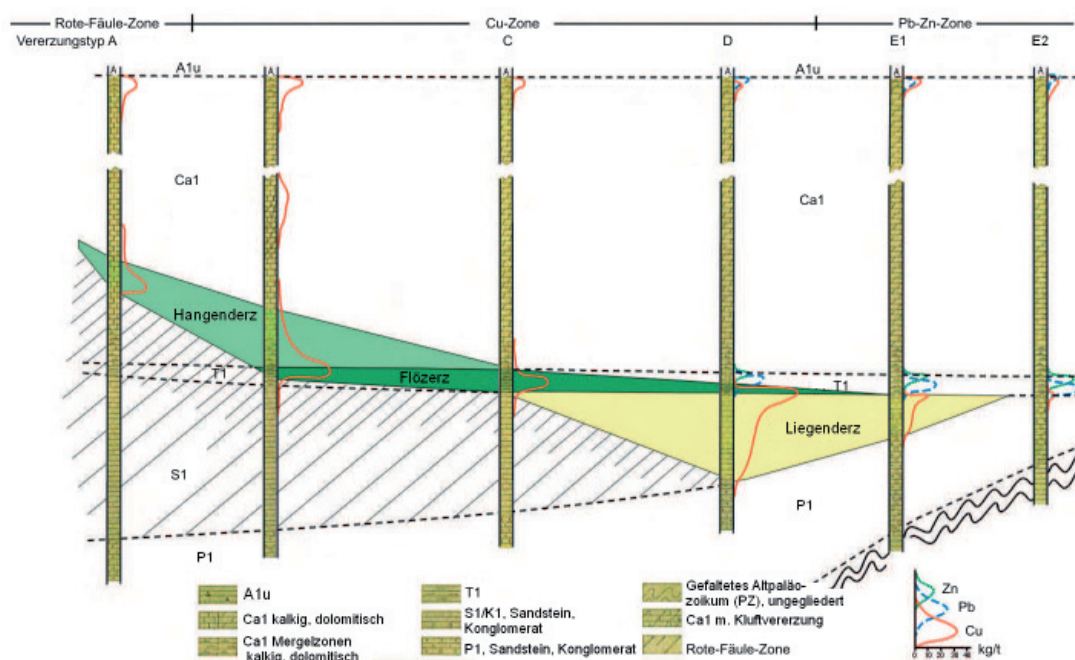


Abbildung 9: Schematischer Schnitt durch den Erzkörper und Verteilung der Metallgehalte (Cu, Pb, Zn) (aus KOPP et al. 2006). Diskordant durch den Kupferschiefer sowie den liegenden Grauliegend-Sandstein und hangenden Zechsteinkalk verläuft die „Rote Fäule“-Zone. An ihrem Randbereich treten die größten Kupferanreicherungen auf, die ebenfalls diskordant im Hangenderz (Ca 1), im Kupferschieferflöz mit Hauptverbreitung und im Liegenderz verbreitet sind.

- Hangenderz: Zechsteinkalk (Ca1)
- Flözerz: Kupferschiefer (T1) und
- Liegenderz: Grauliegend-Sandsteine (S1-K1)

Das Buntmetall-Vorkommen beinhaltet zirka 100 Mio. t Kupfererz mit etwa 1,5 Mio. t Cu-Inhalt, wobei das Cu überwiegend in Form der Minerale Chalkosin, Bornit und Chalkopyrit auftritt. Neben Kupfer ist die Gewinnung von Blei, Zink, Silber und vermutlich anderen seltenen

Metallen möglich. Die nachfolgende Tabelle zeigt die zu DDR-Zeiten nachgewiesenen Vorräte an Kupfererz und daraus gewinnbarem Kupfer des Vorkommens Spremberg-Graustein (KOPP et al. 2006).

Tabelle 1: Zu DDR-Zeiten nachgewiesene Vorräte von Kupfer- und Begleiterzen im Vorkommen Spremberg-Graustein (aus KOPP et al. 2006).

Erztyp	Baufeld	Erzmenge (1000 t)	Anteil (%)	Cu-Gehalt (kg/t)	Cu-Inhalt (1000 t)	Anteil (%)
Hangenderz	Feld Graustein	15.600	34,4	10,5	164,0	22,9
	Feld Spremberg	17.900		9,8	176,0	
	Gesamt	33.500		10,1	340,0	
Flözerz	Feld Graustein	14.700	31,9	25,1	369,0	45,7
	Feld Spremberg	16.500		18,8	311,0	
	Gesamt	31.200		21,8	680,0	
Liegenderz	Feld Graustein	23.300	33,7	14,3	334,0	31,4
	Feld Spremberg	9.700		13,6	132,0	
	Gesamt	33.000		14,1	466,0	
Summe	Gesamt	97.700	100,0	15,3	1.486,0	100,0
Begleiterze (t) Pb: 161.000 Zn: 81.800 Ag: 2.680						

Lubin-Distrikt, Niederschlesien (Polen)

Die größte bekannte und in Mitteleuropa einzige in Betrieb befindliche Kupferlagerstätte des Kupferschiefers liegt im Lubin-Distrikt in Polen nordwestlich von Wrocław (Breslau) in Niederschlesien. Das dortige Vorkommen erstreckt sich über Lubin, nach Nordwesten über Polkowice und Rudna bis nach Sieroszowice und Głogów. Es ist eine der größten Kupferlagerstätten der Welt. Sie liegt wie auch das Vorkommen Spremberg-Graustein an der Umrandung des mit ca. 12.000 km² größten „Rote Fäule“-Gebietes von Südbrandenburg-Niederschlesien. Vor allem in SW-Polen treten die größten Cu-Anreicherungen dieses Kupferschieferverbreitungsgebietes auf.

Das Kupfer-Revier in Polen umfasst etwa 550 km². Neben dem Kupferschiefer sind dort stellenweise auch die Weißliegend-Sande („Sanderz“), der Grenzdolomit und die Zechstein-Karbonate vererzt. In Lubin und Rudna wird das Erz hauptsächlich aus dem liegenden Sandstein (Lubin 69,7 %, Rudna 84,3 %), in Polkowice aus Karbonatgesteinen (59,7 %) gefördert (KGHM 2008). Der Kupferschiefer ist im Durchschnitt 2 m mächtig, der vererzte Bereich bis zu 20 m (PAUL 2006). Die Vorräte an Roherz betragen etwa 2,03 Mrd. t mit einem Kupferinhalt von 39,9 Mio. t. Die gewinnbaren Reserven in den in Abbau stehenden Lagerstätten, belaufen sich auf 738 Mio. t Erz mit einem Metallinhalt von 17 Mio. t Kupfer (Polish Geological Institute 2005). Der Kupfergehalt kann bis 15 % erreichen, der Silbergehalt bis 80 g/t. Das „Sanderz“ enthält bis 2 g Gold/t (PAUL 2006). Die mittlere Abbaumächtigkeit liegt bei 3,25 m und weist im Durchschnitt 2,06 % Kupfer und 57 g/t Silber auf. Zudem sind Platingruppenmetalle und Gold enthalten (KGHM 2008).

Im Lubin-Distrikt wurden über 110 Erzminerale identifiziert. Die wichtigsten Wertminerale sind Chalkosin, Bornit und Chalkopyrit (KGHM 2008). Aus den Erzen werden Cu sowie Ag, Au, Pb, Se, Ni, Pt und Pd gewonnen (POLISH GEOLOGICAL INSTITUTE 2005).

2006 wurden aus den drei bis zu 1200 m tiefen Gruben (Rudna, Lubin und Polkowice-Sieroszowice) 497.000 t Kupfer gefördert (ca. 3,3 % der Weltproduktion). Polen ist damit weltweit der neuntgrößte Kupferproduzent und der größte Kupferproduzent Europas.

5 Derzeitige Wirtschaftlichkeit von schichtförmigen Kupferlagerstätten

Kupferschiefer und ähnliche stratiforme Kupferlagerstätten mit mächtigen Überdeckungen werden im Untertagebergbau abgebaut. Das bevorzugte Gewinnungsverfahren ist der Örter-Pfeiler-Bau. Hierbei wird das Erz durch die Herstellung eines Systems von rechtwinklig angeordneten Strecken (Örtern) gewonnen. Zur Unterstützung des Hangenden verbleiben zwischen den Abbaustrecken und Querschlägen quadratische Lagerstättenteile von bestimmter Stärke (Pfeiler oder Festen), so dass ein schachbrettartiger Grundriss von abgebauten und stehengelassenen Lagerstättenteilen entsteht. Ist die Mächtigkeit des Flözes sehr groß, müssen entweder übereinanderliegend mehrere Abbausohlen mit dem Örter-Pfeiler-Bau Verfahren aufgefahren oder langgestreckte Kammern angelegt werden, deren Abbau dann in mehreren Scheiben erfolgt (nach unten in Strossen- und nach oben in Firstenbauweise) (WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG BERGBAU 1994). Beide Verfahren

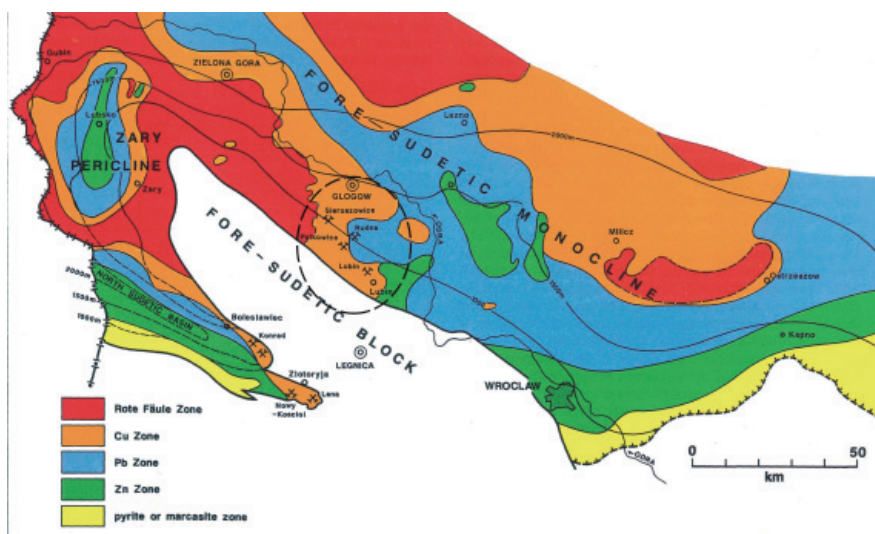


Abbildung 10: Karte der Metallzonierung an der Zechsteinbasis in West-Polen mit Lage des niederschlesischen Kupfer-Reviers nordwestlich von Wrocław (Breslau) am Rand der Rote Fäule-Zone, innerhalb der Cu-reichen Zone (Jowett et al. 1987).

gehören zu den teuersten untertägigen Abbaufverfahren, da nur relativ geringe spezifische Mannleistungen im Abbau erzielt werden und zudem große Abbauverluste in den stehengelassenen Pfeilern entstehen.

Zu den Kupferproduzenten, in deren Untertagebergwerken hauptsächlich der kostenintensive Örter-Pfeilerbau Verwendung findet, gehören unter anderen das polnische Unternehmen KGHM sowie das kasachische Unternehmen Kazakhmys. Beide sind ehemalige Staatsbetriebe, die im Verlauf der wirtschaftlichen Liberalisierung in den Staatshandelsländern privatisiert wurden. In der Niedrigpreisphase des Kupfers bis 2003 (Abb. 1) wurde die Rendite dieser Betriebe nur durch das geringe Lohnkostenniveau sowie die bereits abgeschriebenen Kapitalanlagen gewährleistet.

Die Betriebskosten von Kazakhmys lagen 2007 bei rund 60 US-cent/lb¹ Cu, wobei die Vermarktung der Nebenprodukte Blei, Zink, Gold und Rhenium einberechnet wurde, und von KGHM 2005 bei rund 72 US-cent/lb Cu. Zumindest KGHM zeichnet sich dadurch als Hochkostenproduzent von Kupfer aus, dessen cash-costs im oberen Kostenviertel aller Kupferproduzenten liegen (Abb. 11).

Dabei besitzen das polnische Unternehmen KGHM mit rd. 500.000 t Kupferjahresproduktion aus drei Bergwerken sowie das kasachische Unternehmen Kazakhmys im Zhezkazgan Komplex mit rd. 340.000 t Kupferjahres-

produktion aus sieben Bergwerken und drei Zentralaufbereitungen durchschnittliche Betriebsgrößen von rund 167.000 t Cu/a (KGHM 2006) bzw. 50.000 t Cu/a je Bergwerk bzw. 113.000 t Cu/a je Zentralaufbereitung (Kazakhmys 2006). Die Kupferreserven von KGHM betrugen 2006 rund 710 Mio. t Erz mit 16 Mio. t Kupferinhalt. Die Kupferreserven von Kazakhmys bei Zhezkazgan rund 466 Mio. t Kupfererz mit 4,4 Mio. t Kupfererz.

Der Vergleich eines möglichen Greenfield-Kupferprojekts in einer deutschen Kupferschieferlagerstätte mit den schichtförmigen, im Abbau stehenden Lagerstätten in Polen und Kasachstan macht deutlich, dass ein Gewinnungsprojekt in Deutschland in wesentlich kleineren Produktionseinheiten Kupferkonzentrat erzeugen würde, was aufgrund der Kostenprogression zu vergleichsweise höheren cash-costs führen würde. Dies bedeutet, dass ein Kupferschieferprojekt in Deutschland eine extrem hohe Markteintrittsschwelle zu überwinden und Schwierigkeiten hätte, sich in einem stabilen Marktsegment zu positionieren.

Bei den Kapitalkosten zeichnet sich im Vergleich ein ähnlicher Trend ab. Während Kapitalinvestitionen in die Bergwerke von KGHM und Kazakhmys nur noch zur Aufrechterhaltung bzw. für die Erweiterung der Produktion benötigt und so selbst bei den relativ hohen Betriebskosten langfristig ein profitabler Abbau von Kupfererz möglich sein wird, lägen die auf die Tonne Kupferproduktion bezogenen Kapitalkosten aufgrund der spezifischen Kostenprogression bei den Neuinvestitionen zur Errichtung eines Bergwerks in den deutschen Kupferschieferlagerstätten deutlich höher.

¹ 1 lb = 1 pound = 0,4536 kg

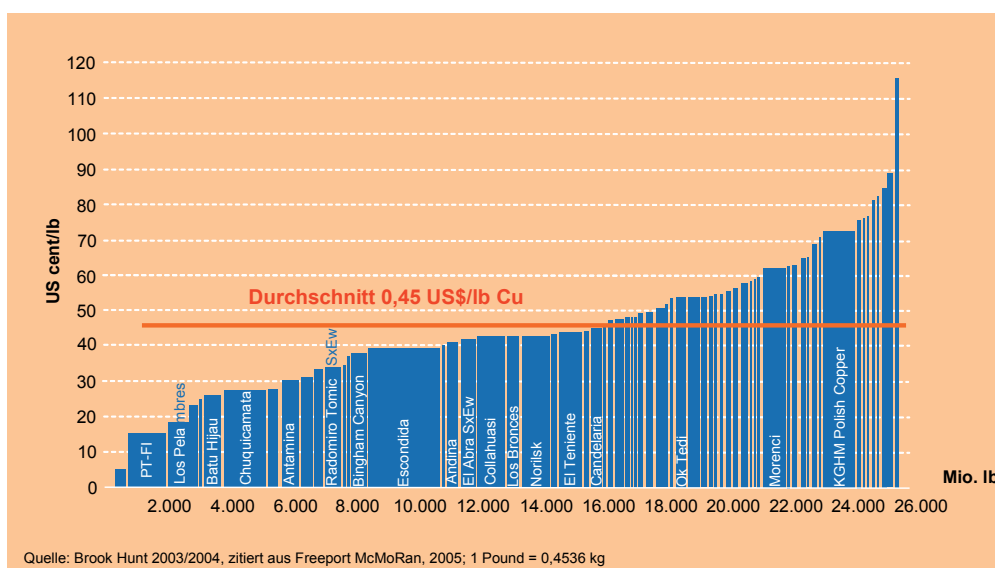


Abbildung 11: Cash Costs für bestehende Kupferbergwerke im Jahr 2005 (Durchschnittswert 0,45 US\$/lb).

Zu den Kapitalkosten gehören neben den Tilgungszahlungen auch die Finanzierungskosten, die im Wesentlichen durch die Höhe der Kreditzinsen bestimmt werden. Alteingesessene Betriebe mit langer Produktionshistorie, wie z. B. KGHM und Kazakhmys, werden von den Kapitalgebern bei der Zinsfestlegung gegenüber neuen Projekten in Lagerstätten ohne Produktionshistorie, die im Regelfall ein höheres unternehmerisches Risiko aufweisen, begünstigt. Aus diesem Grund sowie wegen der spezifischen Kostenprogression muss in einem Projekt im deutschen Kupferschiefer mit wesentlich höheren spezifischen Gesamtkosten gerechnet werden. Es ist somit im verstärkten Maße anfällig gegenüber Preisschwankungen des Kupfers.

Unter Zugrundelegung eines einfachen Betriebsmodells für die Gewinnung von Kupferschiefer wurde die Auswirkung der Lagerstättengröße auf die Wirtschaftlichkeit

des Abbaus untersucht. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden die Barwertmethode (abgek.: NPV) sowie die „Interne Zinsfußmethode“ (abgek.: IRR) – beide sind dynamische Investitionsrechenverfahren – verwendet. Ein weiterer Parameter, der untersucht wurde, ist der Quotient zwischen der Paybackperiode, d. h. die Anzahl der Jahre, die erforderlich sind, um aus den Nettoüberschüssen die Investition zurückzuzahlen, und der Dauer des Abbaubetriebs. Für akzeptable Bergbauprojekte sollte dieser Quotient kleiner 0,5 entsprechend 50 % der Projektlebensdauer sein. Die Ergebnisse der Modellrechnung (Abb. 12) zeigen, dass bei dem derzeitigen (2008) Preisniveau für Kupfer und Silber ein Projekt im Kupferschiefer ab etwa 30 Mio. t Erz Lagerstätteninhalt eine von einem Unternehmen akzeptable Wirtschaftlichkeit erreichen könnte. In Tabelle 2 sind die Eckdaten der Modelle zusammengefasst sowie in Tabelle 3 die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Eckdaten des Projektes sowie der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Modellannahme der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit der Software MINEVAL® für Kupferschieferlagerstätten mit 8 - 50 Mio. t Erzreserven		
Gewinnung	Untertage mit Schachtzugang; Abbau im Pfeiler-Örterbau-Verfahren	
Erzreserven	8, 10, 20, 35, u. 50 Mio. t	
Gewinnungsverluste	30 % ¹	
Erzverdünnung	5 %	
Förderrate	3.000 - 12.000 t Erz / d	Schätzung mit Taylor-Faustregel ²
Kupfergehalt	2 %	90 % ausbringbar
Silbergehalt	20 g/t	80 % ausbringbar
Gewinnungs- und Aufbereitungskosten	39 - 61 US \$ / t Erz	Schätzung mit Hilfe von MINE-COST® Datenbank
Investitionsbedarf für Grube und Aufbereitung	115 - 270 Mio. US \$	Schätzung nach O'Hara ³
Finanzierung des Investitionsbedarfes mit 100 % Eigenkapital: erwartete Verzinsung und Discount-Rate	15 %	
Nettoerlös der Grube	5.200 \$ / t Cu, 13 \$ / oz ⁴ Ag im Konzentrat	65 % des Cu- und 95 % des Ag- Marktpreises Schätzung nach WELLMER et al. (2007)
Lebensdauer des Projektes einschließlich Vorproduktionsaktivitäten sowie Demontage und Rekultivierung nach Produktionsbeendigung	11 - 15 Jahre	

¹ Generell liegen die Abbauverluste im Örter-Pfeilerbau zwischen 10–30 %; die obere Grenze wurde in dem Modell gewählt, da die Gewinnung in Deutschland zum größten Teil unterhalb einer Kulturlandschaft stattfinden würde.

² Taylorformel - eine empirische Formel zur Ermittlung der optimalen Lebensdauer von Bergwerken

³ O'Haras Schätzung basiert auf der Auswertung von Investitionskosten für Bergwerksprojekte in Kanada

⁴ 1 oz (troy ounce) = 31,103 g

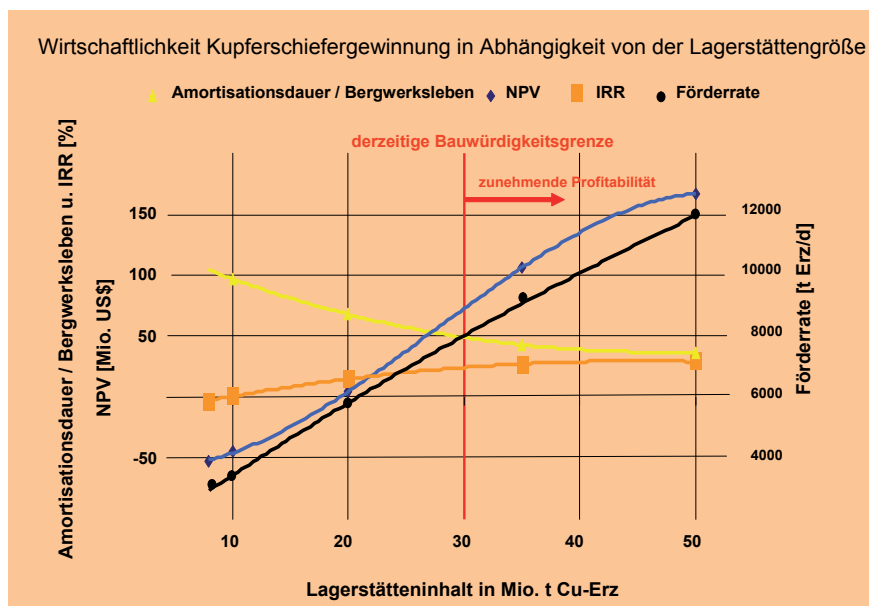


Abbildung 12: Wirtschaftlichkeit von Kupferschieferprojekten mit unterschiedlicher Lagerstättenbasis

Tabelle 3: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für das Modell						
Vorräte	Mio. t Erz	8	10	20	35	50
Förderate	t Erz / d	3.000	3.500	6.000	9.000	12.000
NPV	Mio. US \$	-52,15	-44,82	4,12	106	167,11
IRR	%	-3,4	1,89	15,7	26,7	29,44
Amortisationsdauer / Produktionsleben	%	-	97	68	43	37

6 Fazit

Die Weltmarktpreise für Buntmetalle sind nach einem Tiefstand 2003 stark angestiegen. Dies hat zu einem weltweiten Explorationsboom geführt, wobei auch Vorkommen wie der Kupferschiefer in Deutschland, die bisher als nicht bauwürdig galten, erneut in den Fokus der internationalen Explorationsunternehmen rückten. Im Sangerhäuser Revier der Lagerstätte Mansfeld-Sangerhausen befinden sich Restvorräte von etwa 35,4 Mio. t Roherz mit Metallgehalten von 860.000 t Cu, 105.000 t Pb, 100.000 t Zn und 4.700 t Ag. Im Richelsdorfer Gebirge wurden südlich der Ortschaft Ronshausen ca. 8 Mio. t Erz mit Gehalten von durchschnittlich 2,1 % Cu und 25 g Ag/t Erz – gemittelt über eine Abbauhöhe von 2 m – erkundet. In der etwa 22,5 km² großen Lagerstätte Spremberg-Graustein wurden zu DDR-Zeiten rund 100 Mio. t Kupfererz mit etwa 1,5 Mio. t Cu, 161.000 t Pb, 81.800 t Zn und 2.680 t Ag nachgewiesen.

Um die erheblichen Investitionskosten amortisieren zu können, die bei dem Aufschluss einer untertägigen, schichtgebundenen Lagerstätte anfallen, und um die ebenfalls hohen Gewinnungskosten tragen zu können, sind als Ergebnis der Modellrechnungen Lagerstättenreserven in Höhe von mindestens 30 Mio. t Erz mit nicht weniger als überschlägig 2 % Cu-Inhalt bzw. Kupferäquivalent nachzuweisen. Unter dem Gesichtspunkt der Gewinnungseffizienz sollte die Mindestabbaumächtigkeit bei einer schichtgebundenen Metallerzlagerstätte bei 2 m liegen. Eine Rentabilität würde sich dabei bei dem derzeitigen Preisniveau für Kupfer und Silber ergeben.

Die hohe Preissensitivität des Bergbaus in deutschen Kupferschieferlagerstätten zeigt sich jedoch darin, dass bei einem Preisniveau für Kupfer und Silber wie aus dem Jahr 2005, das ungefähr 50 % niedriger als das heutige lag, die Gewinnung einer Lagerstätte selbst mit 50 Mio. t Erzreserven noch nicht rentabel war.

Unter Zugrundelegung der Modellrechnungen könnte sich derzeit die Lagerstätte Spremberg-Graustein als bauwürdig erweisen. Die Wirtschaftlichkeit der Kupfererzreserven des Sangerhäuser Reviers ist dagegen aufgrund der Vorratssituation als eher marginal einzuschätzen. Trotz der hohen Kupferpreise ist der bergmännische Abbau der Richelsdorfer Lagerstätte zum heutigen Zeitpunkt als nicht wirtschaftlich anzusehen. Diese Einschätzung beruht auf der derzeitigen bekannten Reservensituation mit isoliert liegender Vererzung in der Südmulde. Eine Vergrößerung der Reservenbasis könnte hier zu einer Bauwürdigkeit führen.

Selbst wenn die Bauwürdigkeit der bisher erkundeten Teile des deutschen Kupferschiefers heute noch in Frage steht, stellt er langfristig sicherlich ein Rohstoffpotential dar, das auch zur Versorgung der deutschen Wirtschaft beitragen kann. Deshalb sind die Explorationsunternehmungen, die den Erkundungsgrad des Kupferschiefers erhöhen, ein möglicher Beitrag für die Nutzung von einheimischen Rohstoffen.

7 Weiterführende Literatur

BORG, G. (1991): The significance of Rotliegend volcanics for the metal provinces of the Kupferschiefer Basin. - Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, 4: 919-943; Stuttgart.

JOWETT, E. C (1987): Metal ratios in the Kupferschiefer as indicators of paleo-flow directions, Richelsdorf Hills, W. Germany. – Int. Symp. Zechstein, 87: 125–126; Bochum.

JOWETT, E. C, RYDZEWSKI, A., JOWETT, R.J. (1987): The Kupferschiefer Cu-Ag ore deposits in Poland: a re-appraisal of the evidence of their origin and presentation of a new genetic model. – Canadian Journal of Earth Sciences, 24: 2016–2037.

KGHM Polska Miedź S.A. (2008): Internetseite: <http://www.kghm.pl/>

KNITZSCHKE, G. (1995): Metall- und Produktionsbilanz für die Kupferschieferlagerstätte im südöstlichen Harzvorland. – in: Jankowski, G. (Bearb.): Zur Geschichte des Mansfelder Kupferschieferbergbaus: 270–284; Clausthal-Zellerfeld, GDMB-Informationsgesellschaft.

KNITZSCHKE, G. (1999): Geologischer Überblick zur Kupferschieferlagerstätte. – in: VEREIN MANSFELDER BERG- UND HÜTTENLEUTE e.V. (Hrsg.): Mansfeld: Die Geschichte des Berg- und Hüttenwesens: 11–40; Lutherstadt Eisleben.

KNITZSCHKE, G. & Spilker M. (2003): Die Kupferschieferlagerstätte Mansfeld/Sangerhausen – Bergbauliche Nutzung und Verwahrung. – Der Anschnitt, 55(2003)/3-5: S 134–147; Essen.

KOPP, J., HERRMANN, S., HÖDING, T., SIMON, A. & ULLRICH, B. (2008): Die Kupfer-Silber-Lagerstätte Spremberg-Graustein (Lausitz, Bundesrepublik Deutschland) - Buntmetallanreicherungen an der Zechsteinbasis zwischen Spremberg und Weißwasser. – Z. geol. Wiss., 36(2008)/1: 61–99; Berlin.

KOPP, J. SIMON, A. & GÖTHEL, M. (2006): Die Kupfer-Lagerstätte Spremberg-Graustein in Südbrandenburg. – Brandenburg. geowiss. Beitr., 13 (2006), 1-2: 117–132, 15 Abb., 2 Tab.; Kleinmachnow.

LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG (LBGR) (Hrsg.) (2007): Rohstoffbericht Brandenburg 2007 - Mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe im Land Brandenburg. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, 2-2007: 112 S., 84 Abb., 25 Tab.; Cottbus, Kleinmachnow.

PAUL, J. (2006): Der Kupferschiefer: Lithologie, Stratigraphie, Fazies und Metallogenese eines Schwarzschiefers. – Z. dt. Ges. Geowiss., 157/1: 57–76, 7 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

POHL W. (1992): W. & W.E. Petrascheck's Lagerstättenlehre. – 504 S.; Stuttgart; Schweizerbart.

POLISH GEOLOGICAL INSTITUTE (2005): Mineral Resources of Poland - Copper ores:
http://www.pgi.gov.pl/mineral_resources/copper.htm

RENTZSCH, J. (1991): Die Rote-Fäule-Fazies als wichtigster erzkontrollierender Faktor der Vererzung des Typs Kupferschiefer. – Zbl. Geol. Paläont. Teil 1, 4: 945–956; Stuttgart.

RAPPSILBER, I., STEDINGK, K., KÖNIG, S., HECKNER, J. & THOMAE, M. (2008): Geologisch-montanhistorische Karte Mansfeld - Sangerhausen 1 : 50 000 - Geotourismus in den Kupferschieferrevieren. – Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hrsg.), GMK 50 Mansfeld - Sangerhausen, 4. Auflage; Halle (Saale).

RENTZSCH, J. & FRANZKE, H. J. (1997): Regional tectonic control of the Kupferschiefer mineralization in Central Europe. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 25/ (1-2): 121–139; Berlin.

RENTZSCH, J., FRANZKE, H.J. & FRIEDRICH, G. (1997): Die laterale Verbreitung der Erzmineralassoziationen im deutschen Kupferschiefer. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, 25/(1-2): 141–149; Berlin.

RENTZSCH, J. & KNITZSCHKE, G. (1968): Die Erzmineralparagenesen und ihre regionale Verbreitung. – Freiburger Forschungshefte, C231: 189–211; Leipzig.

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (LfUG) (2007): Kupfererzvorkommen in der sächsisch-brandenburgischen Lausitz. – Internetseite des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG): Geologie – Rohstoffgeologie – Aktuelles:
<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/7735.htm>

SCHMIDT, F.-P., SCHUMACHER, C., SPIETH, V. & FRIEDRICH, G. (1986): Results of recent exploration for copper-silver deposits in the Kupferschiefer of West Germany. – in: Friedrich, G. H. et al. (Hrsg.): Geology and Metallogeny of Copper Deposits: 572–582; Berlin, Springer-Verlag.

SCHUMACHER, C., SCHMIDT, F.-P. (1985): Kupferschieferexploration in Ostthessen und Nordbayern. – Erzmetall, 38/9: 428–432; Weinheim.

SCHNORRER-KÖHLER, G. (1983): Die Minerale des Richelsdorfer Gebirge. – Aufschluss, 34: 535–540; Heidelberg.

STEDINGK, K. (2002): Potenziale der Erze und Spate in Sachsen-Anhalt. – in: Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hrsg.): Rohstoffbericht 2002, Verbreitung, Gewinnung und Sicherung mineralischer Rohstoffe in Sachsen-Anhalt. – Mitt. z. Geologie von

Sachsen-Anhalt, Beiheft 5: 75-132, 45 Abb., 4 Tab.; Halle (Saale).

STEDINGK, K. & RAPPSILBER, I. (2000): Geologisch-montanhistorische Karte der Reviere Mansfeld und Sangerhausen 1 : 50 000. Herausgegeben zu den Feierlichkeiten: „800 Jahre Kupferschieferbergbau und Hüttenwesen“. – Geologisches Landesamt Sachsen-Anhalt (Hrsg.), GMK 50, 1. und 2. Auflage; Halle (Saale).

STEDINGK, K. & RENTZSCH, J. (2003): Übersichtskarte Tief- liegende Rohstoffe und Energierohstoffe in Sachsen-Anhalt 1 : 400 000, Blatt II: Potenziale der Erze und Spate. – Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (Hrsg.), KTR 400, Bl. II, 1. Auflage; Halle (Saale).

VAUGHAN, D. J., SWEENEY, M., FRIEDRICH, G., DIEDEL, R. & HARANCZYK, C. (1989): The Kupferschiefer: An overview with an appraisal of the different types of mineralization. – Economic Geology, 84 (1989): 1003–1027.

WEDEPOHL, K. H. & RENTZSCH, J. (2006): The composition of brines in the early diagenetic mineralization of the Permian Kupferschiefer in Germany. – Contrib Mineral Petrol, 152: 323–333; Berlin, Springer-Verlag.

WELLMER, F.-W., DALHEIMER M. & WAGNER M. (2007): Economic Evaluations in Exploration: 75 S.; Berlin, Springer-Verlag.

WIRTSCHAFTSVEREINIGUNG BERGBAU e.V. (Hrsg.) (1994): Das Bergbauhandbuch: 319 S.; Essen, Verlag Glückauf GmbH.

Hannover, den 06.08.2008

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE
Stilleweg 2
D-30655 Hannover

Maren.Liedtke@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 25 25
Fax: 0511 - 6 43 36 61

Juergen.Vasters@bgr.de
Tel. 0511 - 6 43 21 47
Fax: 0511 - 6 43 36 61