

**BIRGIT MINGRAM; KERSTIN RÖTZLER**

**Geochemische, petrologische und geochronologische  
Untersuchungen im Erzgebirgskristallin -  
Rekonstruktion eines Krustenstapels**

Mit 27 Abbildungen und 14 Tabellen

Verlag der Gesellschaft für Geowissenschaften e. V.  
Berlin 1999  
ISBN 3-9805627-9-7  
ISSN 942-3443

## Inhalt

Vorwort.....	7
<b>1. Einführung</b> .....	7
<b>2. Geologischer Rahmen</b> .....	8
<b>3. Die tektonometamorphe Entwicklung des Erzgebirges</b> .....	8
<b>3.1 Einführung</b> .....	10
<b>3.2 Der Krustenstapel des Erzgebirges und seine metamorphe Entwicklung</b> .....	11
3.2.1 Gliederung des Erzgebirges in metamorphe Einheiten.....	12
3.2.2 Aufgeschlossene Deckengrenzen.....	14
3.2.3 Weitere metamorphe Einheiten.....	16
<b>4. Die lithologische und geochemische Entwicklung der metamorphen Gesteine des Erzgebirges</b> .....	21
<b>4.1 Einführung</b> .....	21
<b>4.2 Lithologische Differenzierung der Metasedimente des Erzgebirges</b> .....	21
4.2.1 Entwicklung der Vergleichsregion Schwarzbunger Antiklinorium.....	23
<b>4.3 Geochemische Charakterisierung der Metasedimente des Erzgebirges</b> .....	25
4.3.1 Einführung.....	25
4.3.2 Probenahme und analytische Methoden.....	30
4.3.3 Geochemische Differenzierung.....	30
4.3.4 Geochemischer Vergleich der Lithotypen.....	34
4.3.5 Die chemostratigraphische Korrelation.....	35
4.3.6 Elementmobilisation während der Metamorphose.....	37
4.3.7 Diskussion.....	39
<b>4.4 Die sauren Orthogneise des Erzgebirges</b> .....	41
4.4.1 Einführung.....	41
4.4.2 Geochemische Differenzierung.....	43
4.4.3 Radiometrische Datierung.....	47
4.4.3.1 Probenahme und Aufbereitung.....	47
4.4.3.2 Ergebnisse.....	48
4.4.4 Diskussion.....	54
<b>4.5 Nd-Isotopenuntersuchungen an den Metamorphiten des Erzgebirges</b> .....	55
4.5.1 Einführung.....	55
4.5.2 Analytik.....	55
4.5.3 Ergebnisse.....	55
4.5.4 Diskussion.....	57
<b>5. Nachweis maximaler P-T Bedingungen in unterschiedlichen Lithologien</b> .....	59
5.1 Eklogite und saure Orthogneise der HP-HT Einheit I.....	59
5.2 Granatpyroxenitlinsen in sauren Orthogneisen der HP-HT Einheit II.....	61
<b>6. Zusammenfassung</b> .....	66
<b>7. Abstract</b> .....	69
Danksagung.....	71
Literaturverzeichnis.....	72
Probenverzeichnis.....	80

## 6. Zusammenfassung

Im Erzgebirge folgen mindestens 5 unterschiedlich metamorph überprägte Einheiten übereinander. Vorwiegend im Osterzgebirge ist die tiefste metamorphe prävariszische Gneiseinheit aufgeschlossen. Sie bildet Domstrukturen aus Orthogneisen, die magmatische bis ultramylonitische Gefüge aufweisen. Besonders in ihren Randzonen sind Amphibolite und Paragneise verbreitet. Dieses cadomische Basement des Erzgebirges unterlag einer variszischen amphibolitfaziellen Metamorphose. Dem cadomischen Basement lagern zwei Gneis-Eklogit-Einheiten auf, die sich durch HP-HT-Metamorphose auszeichnen und z.T. UHP-Bedingungen aufweisen. Trotz der Druckdifferenz zwischen Eklogiten und Gneisen ist es wahrscheinlich, daß die verschiedenen Lithologien bereits bei eklogitfaziellen Bedingungen nahe des Druckmaximums assoziiert vorlagen. Diese Tatsache ergibt sich aus dem Auftreten von eklogitfaziell gebildeten Barium-Phengiten in Eklogitbereichen, die in unmittelbarer Nähe zu angrenzenden Metasedimenten auftreten. In der im Hangenden folgenden Glimmerschiefer-Eklogit-Einheit liegen Metapelite, Orthogneise, Eklogite und Metakarbonate, die einer HP-Metamorphose unterlagen, gemeinsam verfaltet vor. Die darüber folgende Granat-Phyllit-Einheit zeichnet sich durch eine metamorphe Überprägung in der Epidot-Amphibolitfazies aus. Die oberste Phyllit-Einheit weist nur eine grünschieferfazielle Metamorphose auf. Die PT-Pfade der drei tiefsten Einheiten treffen sich im Mitteldruckbereich bei ca. 6-8 kbar und 550-650°C und zeigen von diesem Zeitpunkt an einen gemeinsamen Verlauf. Die geodynamische Entwicklung im Erzgebirge kann durch eine unterkarbonische Krustenstapelung der frühpaläozoischen Einheiten auf ein cadomisches Basement erklärt werden. Die in Folge der Krustenverdickung ausgelöste Extension bewirkte eine gemeinsame tektonische Überprägung aller Kristallineinheiten

Lithologisch lassen sich die Metasedimente des Erzgebirges in 4 Hauptgesteinsgruppen unabhängig vom Grad der metamorphen Überprägung unterteilen: Metagrauwacken, feldspatfreie Schiefer, albitführende Schiefer und  $C_{org}$ /graphitführende Schiefer. Anhand ihrer geochemischen Signaturen sind diese Lithologien gut voneinander zu unterscheiden, zeigen aber unabhängig von der metamorphen Überprägung eine gute Übereinstimmung innerhalb einer lithologischen Gruppe. Die mineralogischen und geochemischen Merkmale der Metasedimente korrelieren mit den Merkmalen der Metasedimente aus einem niedriggradigen Profil, das vom Neoproterozoikum bis zum Ordovizium reicht und in der Vergleichsregion Schwarzbürger Sattel aufgeschlossen ist. Die geochemischen Daten belegen die Wiederholung gleicher Lithologien in verschiedenen metamorphen Einheiten des Erzgebirges. Die geochemische Übereinstimmung lithologisch ähnlicher aber unterschiedlich metamorpher Gesteine wurde an den albitführenden Schiefen verschiedener metamorpher Einheiten des Erzgebirges und den Phycodenschiefern des Schwarzbürger Sattels mittels graphischer Normierung und der statistischen logratio Technik nachgewiesen.

Die in den Metasedimenten der HP-Einheiten eingeschalteten Orthogneise können aufgrund ihrer Lithologie, ihrer Zirkontracht und ihrer geochemischen Zusammensetzung als Metarhyolithe interpretiert werden. Sie haben eine Si-reiche, peralumische Zusammensetzung mit einer signifikanten Verarmung der LSEE, einer starken negativen Eu-Anomalie und einer deutlichen Verarmung an Sr, Ba, Ti und Zr und zeigen die

starke Fraktionierung refraktärer Minerale aus. Die datierten Eduktalter der frühpaläozoischen Orthogneise des Erzgebirges markieren mit rund 480 Ma ein weitverbreitetes magmatisches Ereignis innerhalb der Varisziden. Metarhyolithe ähnlicher extremer stofflicher Zusammensetzung sind auch aus dem Osterzgebirge, der Elbezone und dem Schwarzbürger Sattel bekannt (LINNEMANN & TICHOMIROWA pers. Mitt.). Die radiometrischen Datierungen an diesen Metarhyolithen erbrachten für die Basis des Paläozoikums im Schwarzbürger Antiklinorium Alter von  $493 \pm 5$  Ma für den Blambach-Porphyr und  $479 \pm 5$  Ma für den Bärenriegel-Porphyr (GEHMLICH et al. 1997), in der Elbezone für einen Serizitgneis in grünschieferfaziell überprägten Profilen von  $489 \pm 2$  Ma und am Ostrand des Osterzgebirges für Leptynite von  $\sim 500$  Ma (TICHOMIROWA et al. 1997b). Die Datierungen der felsischen Magmatite vom ordovizischen Standardprofil des Schwarzbürger Sattels erhärten die Annahme einer großen Schichtlücke für Teile des Saxothuringikums, die nahezu das gesamte Kambrium umfaßt (LINNEMANN & BUSCHMANN 1995). Die altersmäßige und stoffliche Korrelation mit den frühpaläozoischen Orthogneisen der höher metamorphen Einheiten stützt das von MINGRAM (1996) postulierte und geochemisch manifestierte Modell einer mehrfachen Stapelung hauptsächlich frühpaläozoisch gebildeter sedimentärer Sequenzen in unterschiedlich metamorph geprägten Einheiten des Erzgebirges.

Die peraluminischen, subalkalischen, K-reichen und Zr-armen Metarhyolithe treten in verschiedenen metamorphen Einheiten (Gneis-Eklogit-Einheiten I, II und Glimmerschiefer-Eklogit-Einheit) zusammen mit Eklogiten bzw. Granatpyroxeniten auf. Die Metarhyolithe müssen in ihrer Genese zusammen mit den vergesellschafteten basischen Gesteinen betrachtet werden. Die Eklogite zeigen MORB-Zusammensetzung mit  $\epsilon_{Nd}$ -Werten von +4,4 bis +6,9 und werden als Basalte interpretiert, die in einem kontinentalen Extensionsregime oder in einem back-arc Spreizungszentrum entstanden (SCHMÄDICKE et al. 1995). Da während der HP-HT-Metamorphose entlang lithologischer Grenzen zwischen den Granatpyroxeniten, Eklogiten und den Metarhyolithen bzw. Metasedimenten ein Elementaustausch teilweise nachgewiesen werden konnte (RÖTZLER & MINGRAM 1998) ist eine gemeinsame Entwicklung der unterschiedlichen Lithologien wahrscheinlich. Das Vorkommen saurer und basischer Vulkanite spricht für einen bimodalen Vulkanismus in einem Extensionsregime. Ihre Genese wird mit einer Phase der Krustenverdünnung, der beginnenden Riftung bis hin zum ozeanischen Spreading in Verbindung gebracht. Die Schmelzprozesse wurden durch die Krustenverdünnung initiiert, deren Ursache entweder in einem asthenosphärischen Mantelplume oder einem magmatischen Underplating zu suchen ist.

Die Metarhyolithe lassen sich deutlich von den Orthogneisen der MP-MT-Einheit durch ihr Protolithalter und ihre petrologischen und geochemischen Merkmale unterscheiden. Die cadomischen Metagranitoide zeigen eine normale peraluminische Zusammensetzung mit einer Anreicherung der LSEE und einer leichten negativen Eu-Anomalie. Die frühpaläozoischen Orthogneise sind durch hohe  $\text{SiO}_2$ -Gehalte und einer starken Verarmung an HFS Elementen charakterisiert. Die Grenze zwischen dem Proterozoikum und dem unteren Paläozoikum markiert nicht nur ein bimodaler Vulkanismus sondern auch der Übergang von psammitischen und pelitischen Grauwacken zu hochmaturen neritischen klastischen Plattformsedimenten, welche in die hemipelagischen Ablagerungen des oberen Ordoviziums übergehen. Diese Entwicklung ist mit dem Übergang von einem

neoproterozoischen ensialischen aktiven Kontinentalrand, dem Avalonischen-Cadomischen Orogengürtel, zu einer frühpaläozoischen stabilen Plattform an der Peripherie des neoproterozoischen Superkontinents Gondwana verbunden (NANCE & MURPHY 1994). Im unteren und mittleren Kambrium wurden Teile des Festlandes randlich geflutet. Der Großteil des cadomischen Festlands unterlag während dieser Zeit einer tiefgreifenden chemischen Verwitterung. Kambrische Ablagerungen fehlen in weiten Teilen Westeuropas und Nordafrikas (NOBLET & LEFORT 1990). Erst durch die anschließende weitreichende Transgression im Arenig werden diese Verwitterungsschichten aufgearbeitet und als hochmature Quarzite und Pelite sedimentiert (NOBLET & LEFORT 1990; LINNEMANN & BUSCHMANN 1995; MINGRAM 1996).

Im cadomischen Basement wurden für die Granitoide Alter bis zu 538 Ma ermittelt, die für eine Orogenese weit bis in das mittlere Kambrium sprechen (GEHMLICH et al. 1997). Im Kambro-Ordovizium kam es zur Krustendehnung, die eine Abspaltung der Mikroplatten (Avalonia, Armorica und Baltica) vom nördlichen Rand des neoproterozoischen Superkontinents Gondwana zur Folge hatte (FRANKE 1989; MATTE et al. 1990; PIN 1990; MATTE 1991). Mit fortschreitender Extension und Beckenbildung wurden Konglomerate, Grauwacken und Karbonate in differenzierten Pull-apart-Becken abgelagert. Bimodale Vulkanite (~ 480 Ma) sowie mafische und ultramafische Komplexe sind Anzeichen für ein extensionales Riftregime im Oberkambrium/Unterordovizium (PIN 1990; FURNES et al. 1994; WINCHESTER et al. 1995; FLOYD et al. 1996). Der vermutlich durch Mantelplume initiierte Prozeß führte zur Produktion basaltischer Magmen, die in enger Vergesellschaftung mit sauren Rhyolithen stehen. Diese Rhyolithe zeichnen sich durch eine Differenzierung von dacitischer bis peralkalischer Zusammensetzung aus (PIN et al. 1992; PIN & MARINI 1993; GIESE & BÜHN 1993; BANKWITZ et al. 1994; KRYZA et al. 1994; FURNES et al. 1994; WINCHESTER et al. 1995;).

Die frühpaläozoische Geschichte der Mitteleuropäischen Varisziden ist durch die Entwicklung von extensionalen Becken mit ozeanischem Regime gekennzeichnet, die progressiv bei einer Kontinent-Kontinent Kollision zwischen Gondwana und Baltica geschlossen wurden (WINCHESTER et al. 1995). Das Erzgebirge kann als Beispielregion für diesen kompletten geodynamischen Zyklus gelten: Ausgehend von einem cadomischen Basement entwickelte sich im Frühpaläozoikum durch fortschreitende Riftung ein neuer Sedimentationsraum, im Unterkarbon erfolgte dann die Kontinent-Kontinent-Kollision mit anschließender Krustenstapelung und Extension sowie Intrusion postkinematischer Granite. Während der unterkarbonischen Kontinent-Kontinent-Kollision wurden die frühpaläozoisch gebildeten Gesteinsassoziationen zum Teil in eine Subduktion und Hochdruckmetamorphose einbezogen. Im Ergebnis dieser Prozesse entstand im Erzgebirge ein Krustenstapel aus Hochdruckeinheiten, die durch unterschiedliche PT-Maxima voneinander zu unterscheiden sind. Jede dieser variszischen Hochdruckeinheiten besteht überwiegend aus frühpaläozoischen Gesteinsassoziationen mit neoproterozoischen aber auch silurischen bis devonischen Anteilen. Die Hochdruckeinheiten überlagern ein cadomisches Basement, das während der variszischen Metamorphose nur amphibolitfaziell überprägt wurde. In verschiedenen Hochdruckeinheiten sind lokal Metamorphite eingeschaltet, die eine deutlich andere PT-Entwicklung zeigen (z.B. Phyllite von Schlettau, Glimmerschiefer, Orthogneise und Amphibolite von Herold, Amphibolite von Hermannsdorf). Diese gelangten erst zu einem späten Stadium der retrograden

Entwicklung (2-3 kbar, 450-500 °C) in tektonischen Kontakt mit den umgebenden Hochdruckgesteinen des Erzgebirges.

## 7. Abstract

The Erzgebirge is composed of high- to medium-pressure para- and orthogneisses, mica schists and phyllites which contain intercalations of metabasalts, metarhyolites, metagranites and marbles. The crystalline seemingly coherent sequences have been subdivided into five metamorphic units separated by tectonic shear zones. From the deepest to the highest structural level the following metamorphic units can be distinguished: 1. MP-MT Gneiss unit (metamorphic basement), 2. two HP-HT Gneiss-Eclogite units, 3. HP-LT Mica schist Eclogite unit, 4. MP-LT Garnet-phyllite unit and 5. LP-LT Phyllite unit.

The early Palaeozoic magmatic succession of the Erzgebirge and specific metasedimentary rocks recur in three HP-metamorphic units. The lithological and geochemical investigations of these metasediments resulted in a simplified subdivision of lithotypes into feldspar-free schists, albite-bearing schists and  $C_{org}$ /graphite-bearing schists. These lithotypes are characterised by defined geochemical signatures which show a significant correspondence independent of metamorphic grade. For example, the strong depletion of Na, Sr, Ca and Li and enrichment of Rb, K, Cs and Ba for the feldspar-free schists indicate, compared to Upper Crust, a high degree in maturity of the original sediments. These are characteristic features of a passive margin setting with intensive weathering and long history of recycling. These significant rocks have been found in the Garnet-phyllite unit, Mica schist-Eclogite unit and Gneiss-Eclogite unit and correlate with the Thuringian Frauenbach Group (Tremadoc-Arenig). The identification of significant geochemical signatures of different lithotypes in metamorphic suites support the terrane analysis and reconstruction of ancient tectonic settings. The geochemical correlation has been proved with simple comparison of averages and with logratio techniques.

The metamorphic basement and the HP-HT units are characterised by felsic orthogneisses. These orthogneisses are hard to discriminate in the field, because of their similar mineral contents and a late common deformation history of both units. Radiometric dating and geochemical studies allow a certain discrimination of the orthogneisses, which represent two magmatic events. The orthogneisses of the MP-MT unit exhibit protolith ages between 560 to 540 Ma. They are characterised by massive bodies of peraluminous granites to granodiorites with  $SiO_2 < 73\%$  and low Zr/TiO<sub>2</sub> and Rb/Sr ratios. The early Palaeozoic orthogneisses of the HP-HT and HP-LT units show protolith ages of around 480 Ma. Their protoliths are due to peraluminous rhyolites with  $SiO_2 > 73\%$ , high Zr/TiO<sub>2</sub> and Rb/Sr ratios and relatively high Sn and F contents. The high silica content, the strong depletion in Ba, Sr, Zr, Ti and LREE and the significant negative Eu-anomalies suggest extended fractional crystallisation processes, which lead to the production of highly felsic effusive rocks. These metarhyolites are associated with eclogites, marbles and clastic metasediments. The eclogites are due to mantel-derived mafic to ultramafic magmatic protoliths and could be interpreted as basalts of an extensional regime. In contrast to other bimodal suites of the European Variscides such as the Cabo Ortegal and Ordenes complex of Spain or to the Western Sudetes, the magmatic successions of the Erzgebirge do not

exhibit alkaline or peralkaline composition. The rhyolites may be related to the basalts by a single mantle influenced thermal event involving melting of crustal material.

Nd isotopic determinations have been used for correlation of these succession in a large regional scale. Independent of their metamorphic grade, the high mature metasediments show Nd model ages of 1.8 Ga whereas the paragneisses are characterised by slightly higher model ages of 1.9-2 Ga. The orthogneisses have higher radiogenic Nd resulting in younger model ages of 1.5 to 1.7 Ga, which could explain some lower ages in the early Palaeozoic sediments. However, the relative old model ages of the metasediments suggest that the Proterozoic and early Palaeozoic sediments occupied a position close to an ancient crust. The sedimentary development correlates with the north Gondwana domain.

The original unity of these lithologies is supported by element mobilisations between eclogites and mica schists prior the HP-HT metamorphism. Major and trace element studies suggest that the studied garnet pyroxenite has been affected by rodingitisation. This process caused a depletion of Si, alkalis, trace and rare earth elements and an enrichment of Ca and Fe. Presence of plagioclase prior to, and during rodingitisation follows from the positive Eu anomaly of the chondrite-normalized REE pattern. Hence, the protolith for the garnet pyroxenite may be inferred to have formed at low to medium pressure. Geochemical and petrological data reveal a complex history of these rocks from contamination of the magmatic source by crustal fluids or crustal material though subsequent rodingitisation to later subduction and postmetamorphic veining.

The high-grade metamorphic rocks have preserved indications of a multistage development. A continental rifting with bimodal magmatism is connected with the formation of a passive margin with high mature sediments. The magmatism was initiated by crustal thinning during the beginning of rifting. The high maturity of early Palaeozoic sediments marks a time of sea level lowstand and long chemical weathering which was active prior to the rift-related subsidence. Geochemical discrimination and correlation suggest a tectonic repetition of early Palaeozoic rift-related magmatites and passive margin sedimentary sequences in variably metamorphosed units of the Erzgebirge. This finding is in line with the radiometric dating of intercalated metarhyolites (~ 480 Ma) and with a correlation to other Variscan regions. The high-pressure units of the Erzgebirge have provided evidence of a rift development in Cambro-Ordovician time as they evolved from Palaeozoic shelf sediments, bimodal volcanic rocks and suspected oceanic material. These lithologies are regarded as the subducted part of a Gondwana derived continental margin which underwent high-pressure metamorphism during Lower Carboniferous continent-continent collision.