Ein petrophysikalisches Modell für die Quantifizierung von Nutzmineralgehalten in einer Greisenlagerstätte aus Bohrlochlogs

E. Müller-Huber[1], K. Kühn[2], M. Maurer[3], S. Schmidt[3], F. Börner[1]

[1]Technische Universität Berlin, Fachgebiet Angewandte Geophysik, Berlin
[2]G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke
[3]BBi – Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH, Gommern

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

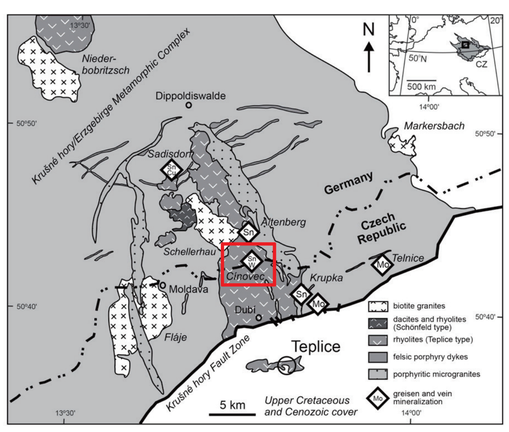
Motivation

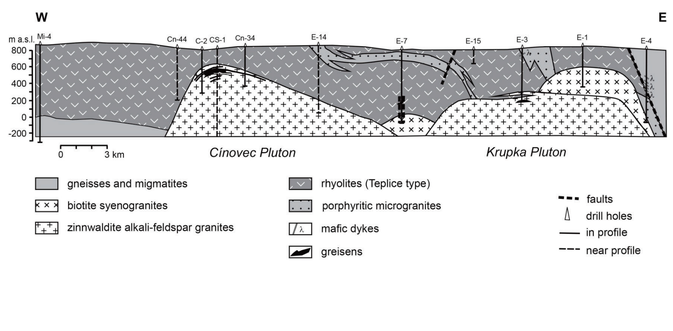
Die Quantifizierung der Lithologie ist nicht nur von Interesse für die Bewertung und Charakterisierung von Kohlenwasserstoffreservoiren, sondern auch in der Exploration von Erzlagerstätten.

Eine Methode, um die Lithologie und Mineralisation zu untersuchen, ist die Analyse von Bohrkernen. Da das Gewinnen von Kernmaterial jedoch zeitaufwändig und kostspielig ist, stehen, wenn überhaupt, meist nur begrenzt Bohrkerne zur Verfügung.

Die Abschätzung der lithologischen Zusammensetzung und der Mineralisation mit Hilfe von Bohrlochlogs ist daher eine praktische und wirtschaftliche Alternative.

Um die Anwendbarkeit einer linearen Inversion von Bohrlochlogs zur Quantifizierung von Lithologie und Mineralisation in Erzlagerstätten mit dispers verteilten Nutzmineralen zu testen, wurden an reinen Mineralen und Proben aus einer Li-Sn-W-Lagerstätte (siehe unten) petrophysikalische und mineralogische Untersuchungen durchgeführt.





Geologische Karte und Profilschnitt durch die Li-Sn-W-Greisenerzlagerstätte Zinnwald/Cínovec an der deutsch-tschechischen Grenze.

Aus: Štemprok, M., Dolejš, D., Holub, F.H., 2014. Late Variscan calc-alkaline lamprophyres in the Krupka ore district, Eastern Krušné hory/Erzgebirge: their relationship to Sn–W mineralization. Journal of Geosciences, 59, 41–68.

Lithologieabschätzung basierend auf Logs

Abschätzung der Mineral- und Fluidzusammensetzung:

- Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen volumetrischen Konzentrationen und gemessenen Bohrlochlogs (z.B. ρ_b, Δt,…).
- Bestimmen petrophysikalischer Eigenschaften „reiner“ Minerale und Fluide.
- Anpassung des Grundmodells für mögliche anzutreffende Lithologien
- Modellrechnungen basierend auf Matrixinversion – Beispiel Albitgranit:

$$\begin{bmatrix}\rho_b\\ \kappa\\ \Delta t\\ 1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}2.65 & 2.57 & 3.05 & 1.20E-03\\ -1.50E-05 & -1.30E-05 & 7.17E-04 & 4.00E-07\\ 165 & 176 & 197 & 3030\\ 1 & 1 & 1 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}V_{Qrz}\\ V_{Fsp}\\ V_{Zin}\\ \phi\end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{M} = \boldsymbol{R}\cdot\boldsymbol{V} \qquad \boldsymbol{V} = \boldsymbol{R}^{-1}\cdot\boldsymbol{M}$$

M … Matrix gemessener Eigenschaften
R … Matrix Responses
V … Matrix Volumenanteile

- Einfachste Annahme: Anzahl der Eingangsparameter = Anzahl der Unbekannten.

Untersuchungen

An Kernen (3,5 cm Durchmesser und 5,5 cm Länge):

- Totale Porosität (*PHI*)
- Korndichte (*RHOG*) und Trockendichte (*RHOB,* ρ_b)
- Kompressionswellengeschwindigkeit (v_p, Laufzeit Δt) – trocken und gesättigt
- spezifischer elektrischer Widerstand (*RES*)
- Magnetische Suszeptibilität (*SUSC,* κ)
- Gammaspektroskopie integral und spektral (*GR; K, U, Th*)

- RDA inkl. Rietveldauswertung: Bestimmung der Hauptmineralphasen
- RFA und ICP-MS zur Bestimmung der Gehalte interessanter Elemente

Berechnung der volumetrischen Zusammensetzung

Input
Synthetisches Profil/Logs

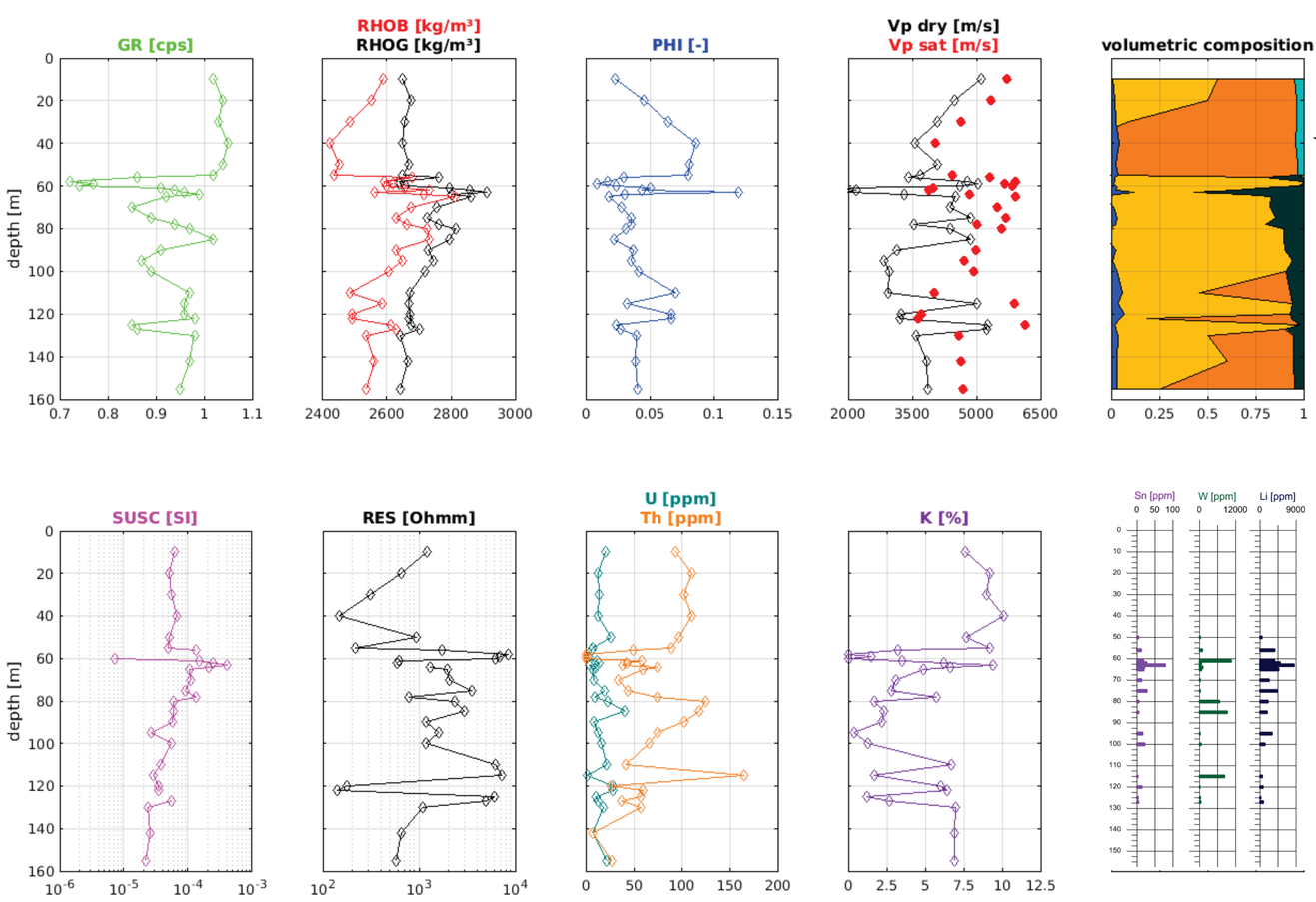
Lithologien im Profil vom Hangenden zum Liegenden:

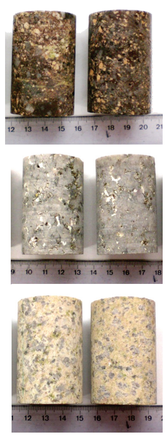
Teplice-Rhyolith
- Einsprenglinge: Quarz, Kalifeldspat (Plagioklas, Biotit)
- Matrix: Kalifeldspat, Quarz (Biotit, Muscovit)

Greisen
- Quarz, Zinnwaldit, Topas, Fluorit, Muscovit, Biotit, Sericit, Epidot, Kassiterit, Wolframit, Hämatit, reliktisch Feldspäte

Albitgranit
- Quartz, Kalifeldspat, Albit, Zinnwaldit
- Akzessorien: Topas, Fluorit, …

Anordnung der Proben/Labordaten nach dem Vorbild einer existierenden Bohrung.





Maßstab: cm

Automatische Berechnung der volumetrischen Anteile

Berechnung/Darstellung mit MATLAB, Ausgabe in Datei

Abwandlungen Grundmodell:
- Greisen: Quarz, Fluid, Zinnwaldit
- Albitgranit: Quarz, Fluid, Zinnwaldit, Feldspat
- Rhyolith: Quarz, Fluid, Biotit, Kalifeldspat

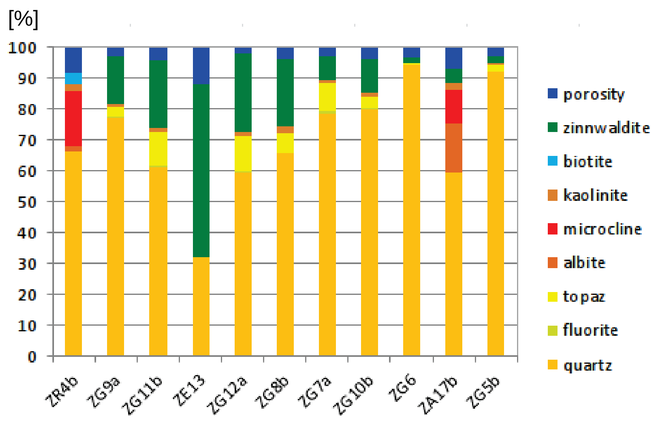
Entscheidungskriterien für Modellabwandlung: GR, K-Gehalt, RHOB, SUSC.
Berechnung mit: RHOB, Δt, SUSC.

Mögliche Erweiterungen für Berechnung aus Logs: NPHI, GR, PEF, …

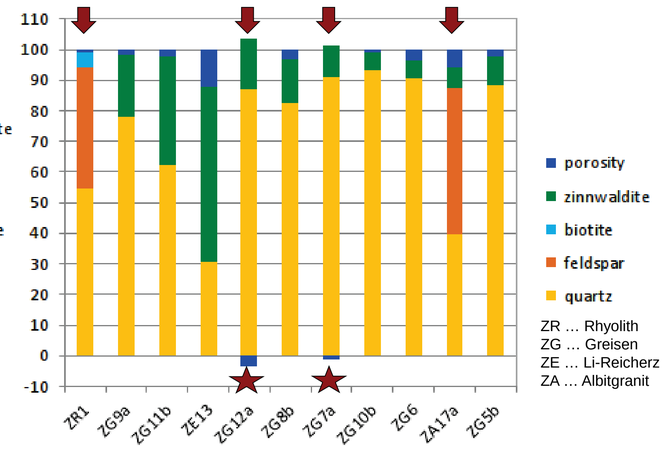
Fazit

- Großteils gute Übereinstimmung zw. Berechnung und Analyse
- Detailauflösung begrenzt durch Anzahl an Inputlogs
- Bestimmung der spezifischen Mineralparameter schwierig (Anisotropie, …)
- Probleme durch Xenolithe im Rhyolith, hohen Topasgehalt im Greisen ★
- Matrixmodell für beliebige Gesteinstypen und Parameter erweiterbar

RDA-Rietveld-Auswertung



Modellrechnung



ZR … Rhyolith
ZG … Greisen
ZE … Li-Reicherz
ZA … Albitgranit

★ Berechnungsfehler bedingt durch einfache Modellzusammensetzung

Danksagung
- SolarWorld Solicium GmbH für die Erlaubnis zur Probenahme
- D. Siegel für Messungen und Analysen im Rahmen ihrer Bachelorarbeit
- Dr. S. Herting-Agthe (FG Mineralogie, TU Berlin) für ihre mineralogische Expertise
- Dr. R. Käppler (TU Bergakademie Freiberg) stellte die Kappabrücke zur Verfügung
- H. Giegling für die fachkundige Führung bei der Probenahme
- Mineralproben: Mineralogische Sammlungen der TU Berlin
- RFA-Analysen: P. Marsiske, Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Berlin
- ICP-MS-Analysen: GWZ Dresden
- RDA und Rietveld-Analysen: Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien

edith.mueller-huber@tu-berlin.de