Michigan International Copper Analogue (MICA) project Langzeitverhalten von Kupfer in natürlichen Systemen zur Unterstützung von Sicherheitsbetrachtungen

M. Schönhofen-Romer, A. Liebscher, H. Reijonen, I. Aaltonen, X. Liu, C. Lilja, S. Norris, P. Keech und N. Diomidis

1. Keweenaw – Kupferlagerstätte



4. Kupfer im Endlagerkontext

 Kupfer Teil verschiedener Endlagerbehälter-Konzepte (z. B. Finnland, Kanada, Schweden)

BGE

- Endlagerbehälter als Hauptbarriere
 - Resistenz gegen geomechanische Beanspruchung (Tektonik, Hydrostatik, etc.)
 - Chemische Resistenz



BUNDESGESELLSCHAFT

FÜR ENDLAGERUNG



Metallische **Kupferlagerstätte**

- ~ 200 km lang
- Kupfervorkomm en in
 - vulkanischen

und



Gesteinen

Abb. 1: Karte des Keweenaw Gebietes (modifiziert nach Bornhorst & Lankton, 2009 und Bornhorst & Mathur, 2017)

obere Halbinsel v. Michigan

Kilometer

- gegen langfristige Korrosion
- Analogstudien an natürlichen Kupfervorkommen
 - Langzeitstabilität über ____ Laborexperimente hinaus
 - Prozesse und ____ Verhaltensweise von Kupfer in natürlicher geologischer Umgebung

Abb. 4: Endlagerbehälter Kanada's mit a) KBS-3 aus Schweden, b) NWMO IV-25 (altes Modell) und c) NWMO Mark II (aktuelles Modell; Hall and Kech, 2017).

2. Keweenaw – Entstehung



1. Rift**füllung**

Initiale **Subsidenz** vor Versenkungsmetamorphose

5. MICA – Phase I

- Genaue Beschreibung Mineralogie + Geochemie
- Beschreibung Texturen +

Korrosionsphänomene

Altersdatierung



3. Regionales hydrothermales Event mit regionaler **Kompression** (~1,07 – 1,04 Mrd. Jahre) unter **stabilen** Ablagerungsbedingungen

Abb. 2: Modell zur Entstehung der Keweenaw-Kupferlagerstätte in drei Phasen mit Sandsteinen an Riftflanken (gelb; 1,07 Mrd. - 950 Mio. Jahre alt) Rift-füllenden klastischen Sedimentgesteinen (orange; 1,09 - 1,07 Mrd. Jahre alt) und subaerischen vulkanischen Gesteinen (grün; 1,15 - 1,09 Mrd. Jahre alt). Modifiziert nach Bodden et al. (2022)

Versenkungsmetamorphose

Quelle der Erz-bildenden Fluide

Hybrides entwickeltes Meerwasser und metamorphdominierte Erz-bildende Fluide

entwickelten meteorischen Wässern

Bewegung der hybriden

Erz-bildenden Fluide

- Salinität 5-15% Ca/Na ~4
 - Niedriges CO₂ + S

3. Keweenaw – Geologische Entwicklung

usfällungsbereich

Schwefel-armen reduzierenden

meteorischen Wässerr

lischung der hybriden Erz-bildender

Fluide mit entwickeltem Kupfer und

- ~ 1,04 Mrd. 500 Mio. Jahre: Oxidierendes Mileu (supergene Alteration) + Übergang von anoxisch zu oxisch
- ~ 500 175 Mio. Jahre: Anoxisches, salinares Milieu

 Unterschiedliche Korrosionsprozesse (Sulfidierung, Oxidation, mikrobiell induziert,...) Abb. 5: Schematischer Plan zur Projektdurchführung der 1. Phase von MICA.

- Systematische Studie von Alterationsphänomenen, Rekonstruktion von Herkunft + Zeitrahmen
- Verbindung von **Parametern** mit spezifischen **Prozessen**

6. MICA – Korrosionsmineralogie





Literaturverzeichnis

www.bge.de

Bodden, T. J., Bornhorst, T. J., Bégué, F., & Deering, C. (2022). Sources of Hydrothermal Fluids Inferred from Oxygen and Carbon Isotope Composition of Calcite, Keweenaw Peninsula Native Copper District, Michigan, USA. Minerals, 12(4), 474. Bornhorst, T. J., & Lankton, L. D. (2012). Copper mining: A billion years of geologic and human history. Bornhorst, T. J., & Mathur, R. (2017). Copper isotope constraints on the genesis of the Keweenaw Peninsula native copper district, Michigan, USA. Minerals, 7(10), 185. Hall, D. S., & Keech, P. G. (2017). An overview of the Canadian corrosion program for the long-term management of nuclear waste. Corrosion Engineering, Science and Technology, 52(sup1), 2-5.

Tage der Standortauswahl 2022 / Aachen

GZ: SG01201/12/2-2022#23 | Objekt-ID: 931116 | Stand 01.06.2022