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

- SW Rand des Mittelkontinentalen Riftsystems Nordamerikas
 - > 2000 km lang
 - Riftfüllung vorwiegend subaerische basaltische Lavaströme + **Sedimente**
- Metallische Kupferlagerstätte
 - ~ 200 km lang
 - Kupfervorkomm en in vulkanischen

Gesteinen

und sedimentären

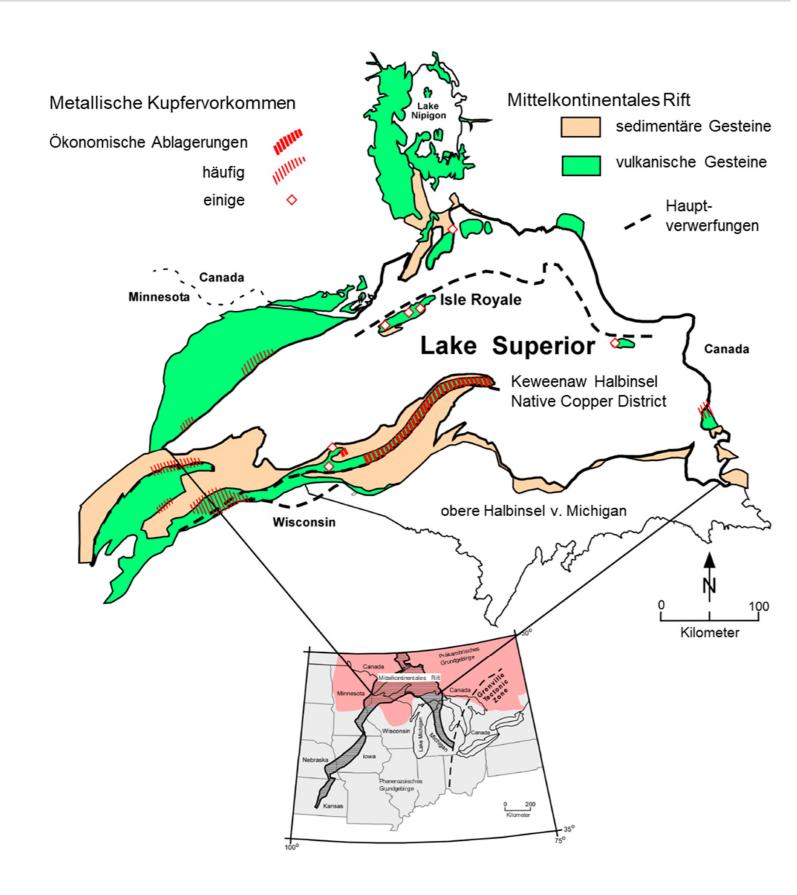


Abb. 1: Karte des Keweenaw Gebietes (modifiziert nach Bornhorst & Lankton, 2009 und Bornhorst & Mathur, 2017)

4. Kupfer im Endlagerkontext

- Kupfer Teil verschiedener Endlagerbehälter-Konzepte (z. B. Finnland, Kanada, Schweden)
- Endlagerbehälter als Hauptbarriere
 - Resistenz gegen geomechanische Beanspruchung (Tektonik, Hydrostatik, etc.)
 - Chemische Resistenz gegen langfristige Korrosion
- Analogstudien an natürlichen Kupfervorkommen
 - Langzeitstabilität über Laborexperimente hinaus
 - Prozesse und Verhaltensweise von Kupfer in natürlicher geologischer Umgebung

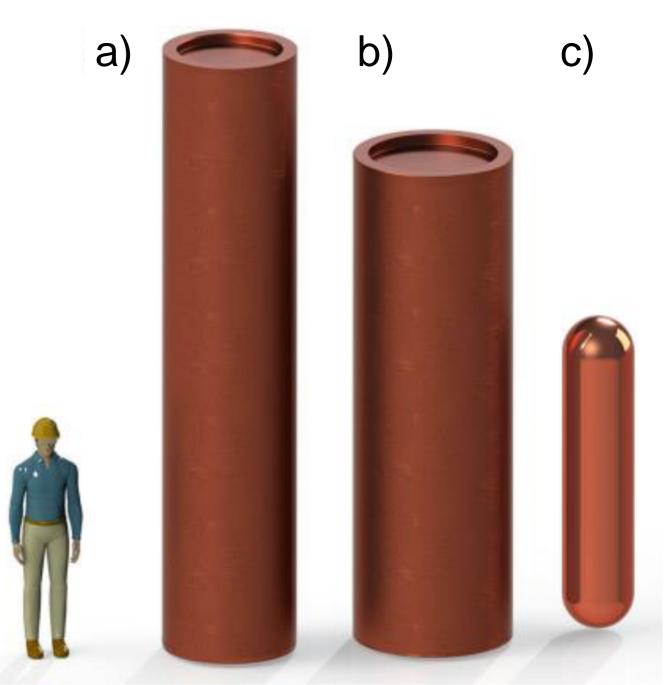
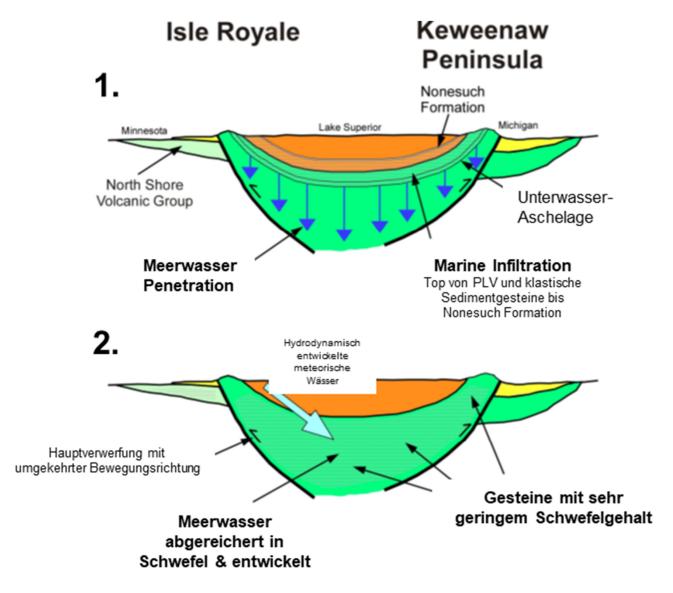


Abb. 4: Endlagerbehälter Kanada's mit a) KBS-3 aus Schweden, b) NWMO IV-25 (altes Modell) und c) NWMO Mark II (aktuelles Modell; Hall and Kech, 2017).

2. Keweenaw – Entstehung



- 1. Riftfüllung
- Initiale **Subsidenz** vor Versenkungsmetamorphose
- mit entwickeltem Meerwasser und entwickelten meteorischen Wässern Versenkungsmetamorphose Quelle der Erz-bildenden Fluide Bewegung der hybriden Erz-bildenden Fluide Meerwasser und metamorphdominierte Erz-bildende Fluide

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)

- 3. Regionales hydrothermales Event mit regionaler Kompression $(\sim 1,07 - 1,04 \text{ Mrd. Jahre})$ unter **stabilen** Ablagerungsbedingungen
 - Salinität 5-15%
 - Ca/Na ~4
 - Niedriges CO₂ + S

5. MICA - Phase I

- Genaue Beschreibung Mineralogie + Geochemie
- Beschreibung Texturen + Korrosionsphänomene
- Altersdatierung

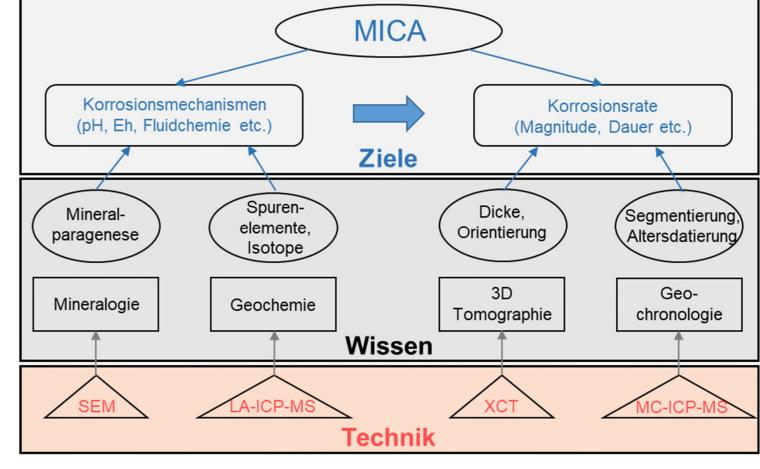
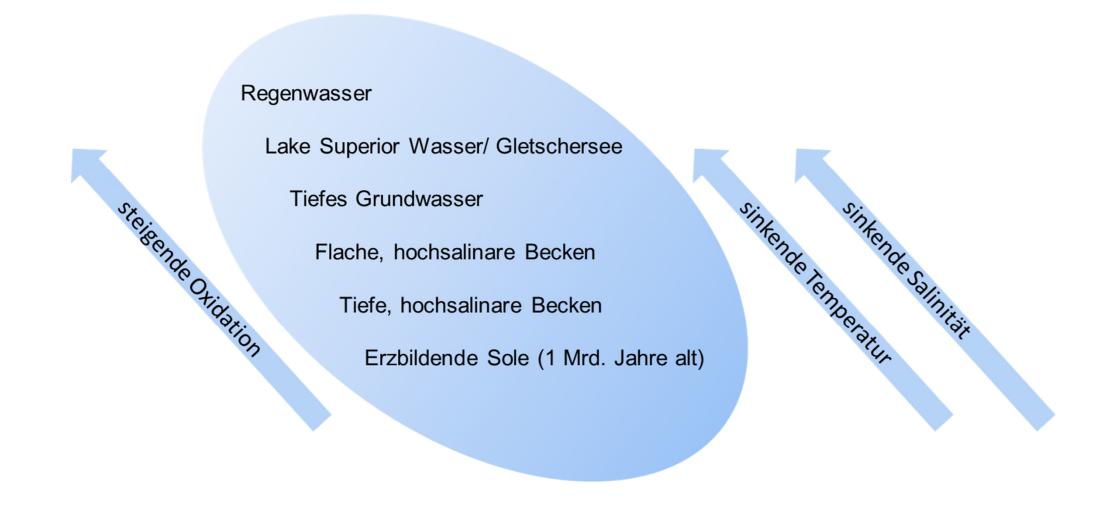


Abb. 5: Schematischer Plan zur Projektdurchführung der 1. Phase von MICA.

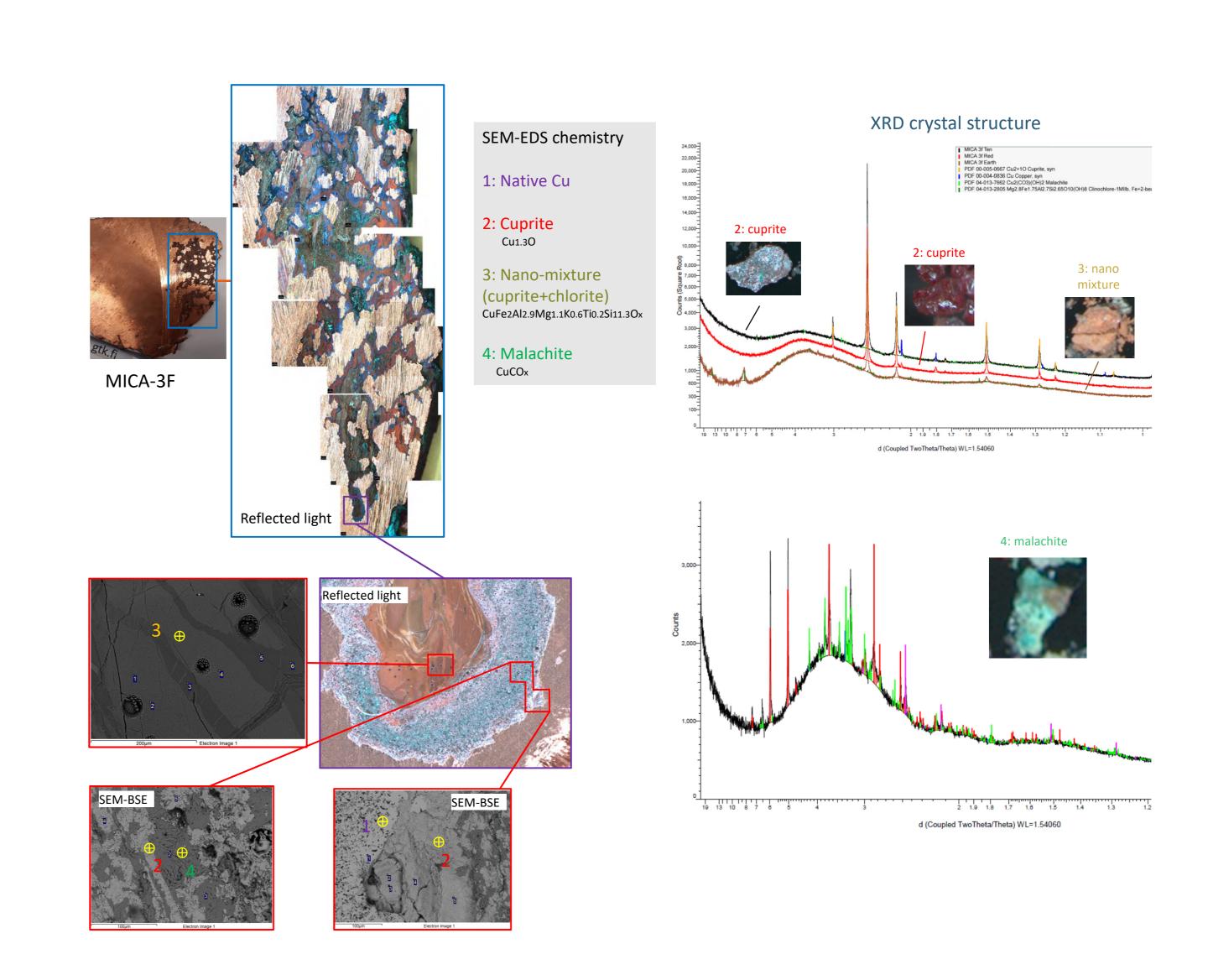
- → Systematische Studie von **Alterationsphänomenen**, **Rekonstruktion** von Herkunft + Zeitrahmen
- → Verbindung von **Parametern** mit spezifischen **Prozessen**

3. Keweenaw – Geologische Entwicklung

- ~ 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,...)



6. MICA – Korrosionsmineralogie



Literaturverzeichnis

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.