



## UMTEC

### Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik

Das Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC besteht aus vier Fachgruppen: Wasser und Abwassertechnik, Geruch, Rohstoffe und Verfahrenstechnik sowie Abfall und Ressourceneffizienz. Rund 20 Wissenschaftler und Ingenieure aus den Bereichen Maschinen- und Verfahrenstechnik, Umweltwissenschaften und Chemie betreuen Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Die Fachgruppe Rohstoffe und Verfahrenstechnik beschäftigt sich vor allem mit der mechanischen Aufbereitung von Primär- und Sekundärrohstoffen. In einem hervorragend ausgestatteten Verfahrenstechniklabor entwickeln wir Verfahren und Geräte zur Separation von Feststoffen und zur Phasentrennung. Wir greifen auf eine langjährige Erfahrung aus unseren Projekten mit Industrieunternehmen und Umweltämtern zurück. Zahlreiche Patentanmeldungen belegen unser Innovationspotenzial.

Unsere acht Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Bereich Rohstoffe und Verfahrenstechnik sind überwiegend Ingenieure von der HSR und der ETH Zürich. Sie werden durch Zivildienstleistende, Praktikanten und Studierende unterstützt.

## Magnetseparation

### Hintergrund

Kupfer ist zwar nicht magnetisch, aber dennoch geraten viele Kupferpartikel aus KVA-Schlacken bei der Aufbereitung in die magnetische Fraktion. Im Feinkornbereich der Schlacke liegen unter anderem auch vergoldete Edelstahlkontakte vor, die aus Elektronikschrottkomponenten stammen. Diese Edelstahlplättchen sind paramagnetisch und können bei einer aggressiven Magnetseparation in das magnetische Konzentrat gelangen.

### Versuchsablauf

Die Schlacke wurde zunächst mittels Backenbrecher bei einer Spaltbreite von 6 mm zerkleinert und der unzerkleinerbare Anteil >6 mm (Metalle) wurde verworfen. Mit dem Material <6 mm wurden weitere Siebungen bei 2 mm und 0.5 mm durchgeführt. Die entstandenen Korngrößenfraktionen 0-0.5 mm, 0.5-2 mm und 2-6 mm wurden jeweils einer mehrstufigen Magnetseparation mit ansteigenden Flussdichten 0.07...0.58 Tesla unterzogen. So entstanden je Korngrößenfraktion 9 Produkte mit unterschiedlicher Magnetisierbarkeit. Diese „Magnetfraktionen“ wurden später zusammengefasst und für die Analyse wie folgt bezeichnet:

- <0.2 T „ferromagnetisch“ (mit einem schwachen Magneten extrahierbar)
- 0.2-0.58 T „paramagnetisch“ (mit einem starken Magneten extrahierbar)
- >0.58 T „unmagnetisch“ (nicht extrahierbar mit einem starken Magneten)

Die Magnetfraktionen 0-0.5 mm und 2-6 mm wurden am UMTEC semiquantitativ mittels XRF analysiert. Die Magnetfraktion 0.5-2 mm wurden bei Bachema quantitativ chemisch analysiert.

### Fazit aus der Magnetseparation der verschiedenen Korngrößenfraktionen

Erstaunlicherweise liegen in zerkleinerter Schlacke <6mm die (unmagnetischen!) Wertmetalle Kupfer, Silber und Gold nur etwa zur Hälfte in der unmagnetischen Fraktion vor – die andere Hälfte ist offenbar in para- oder ferromagnetischen Partikeln eingeschlossen, und gerät folglich nach einer Magnetscheidung ins Konzentrat. Keine der untersuchten Magnetfraktionen weist stark angereicherte Wertmetallkonzentrationen Cu oder Ag auf (Abbildung 1).

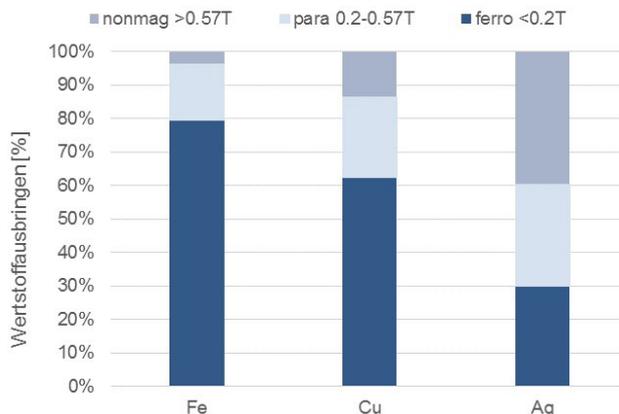


Abbildung 1; Wertstoffausbringen in den Magnetfraktionen 2-6mm (Messung mittels XRF) (Mnonmag=39.4%, Mpara=34%, Mfero=26.6%)

Je grobkörniger das Material, umso höher ist der magnetisch abtrennbare Anteil an ferromagn. und paramagn. Für die magnetischen Eigenschaften der Schlackenpartikel sind vermutlich darin verkapselte Eisenpartikel verantwortlich (Abbildung 3). Je feiner die Korngrösse, umso besser ist der Aufschlussgrad für diese Eisenpartikel und umso besser ist auch der Aufschlussgrad für unmagnetisches Material (Kupfer und Mineralik).

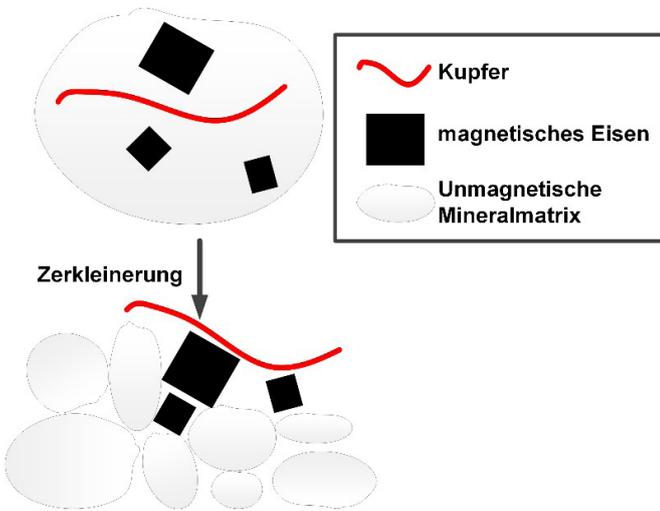


Abbildung 2; Kupfer und Eisenpartikel in mineralischer Matrix (Verbundpartikel). Diese Verbundpartikel haften wegen der eingeschlossenen Eisenanteile am Magneten. Vor der Gewinnung der Kupferpartikel muss dieses durch eine Zerkleinerung aufgeschlossen werden.

Das Cu-Ausbringen in die jeweilige Magnetfraktion variierte je nach Korngrösse. Während bei den Korngrössenklassen 0-0.5 mm und 0.5-2 mm jeweils etwas mehr als 60 % in die unmagnetische Fraktion ausgetragen wurden, wurde in der Korngrössenklasse 2-6 mm nur noch etwas mehr als 10 % in die unmagnetische Fraktion ausgetragen. Der grösste Teil (rund 60 %) des Kupfers in der Kornfraktion 2-6 mm wurde in die ferromagnetische Fraktion ausgetragen. Möglicherweise ist das Kupfer zum Teil auf Eisenoberflächen aufgelegt und zum Teil in eisenhaltigen thermisch gesinterten Mineralpartikeln eingeschlossen.

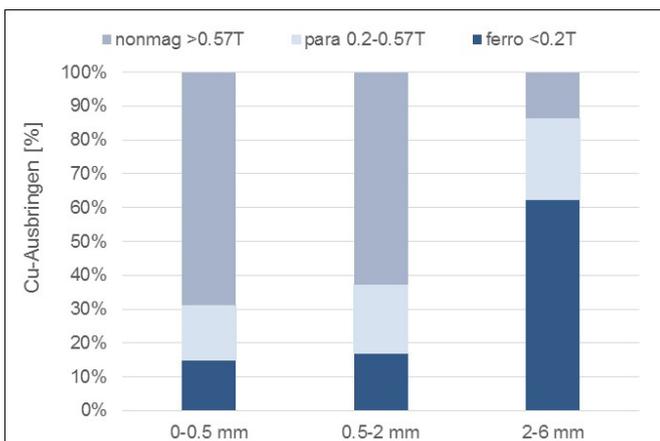


Abbildung 3; Cu-Ausbringen in Magnetfraktionen bezogen auf unterschiedliche Korngrössenklassen

Das Kupfer (und vermutlich auch Au und Ag) liegt vor allem in den in Abbildung 4 skizzierten Formen vor:

- freies Kupfer (z.B. Draht)

#### Kontakt

Prof. Dr. Rainer Bunge, Tel. 055 222 48 60 (Sekretariat)

HSR Hochschule für Technik Rapperswil ■ Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC ■ Oberseestrasse 10 ■ 8640 Rapperswil

- Kupferoxid im Verbund mit Mineralik (wirtschaftlich wertlos für das Recycling)
- Kupfer(draht) verkapselt zusammen mit Eisenpartikeln in nass abgebundenen oder thermisch gesinterten Schlackenbestandteilen: mittels starken Magneten abtrennbar

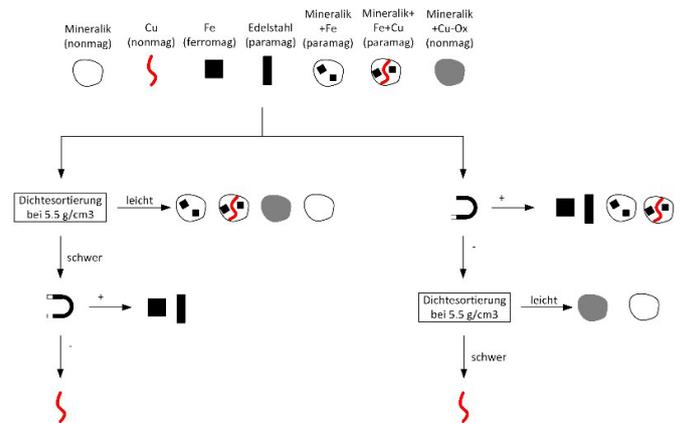


Abbildung 4; Vergleich Kupferfluss, unter Berücksichtigung verschiedener Cu- und Fe-Spezies, bei der Magnetseparation von KVA-Schlacke mit und ohne vorgeschaltete Dichtesortierung

Durch eine Dichtesortierung wird bei etwa 5.5g/cm<sup>3</sup> ein Schwergut aus Kupfer und Eisen abgetrennt. Dieses kann mittels Magnet weiter aufgetrennt werden, wobei das Kupfer weitestgehend in der nichtmagnetischen Fraktion verbleibt. Die in thermisch gesinterten Schlackenbestandteilen verkapselten Kupferstücke gelangen in das Leichtgut der Dichtesortierung. Wird das Verfahren umgekehrt, also zunächst eine Magnetscheidung und anschliessend eine Dichtesortierung des unmagnetischen Gutes durchgeführt, ergibt sich ein Ergebnis wie in Abbildung 3 rechts dargestellt.

#### Bedeutung für die Aufbereitung von nass ausgetragener KVA Schlacke <6 mm

Eine signifikante Anreicherung der Wertmetalle Cu, Ag, Au in einer durch fraktionierte Magnetscheidung herstellbaren Magnetfraktion findet nicht statt.

Für die Metallextraktion aus KVA Schlacke <6mm ist folgendes zu beachten. Um die Wertmetalle Cu, Au, Ag zu gewinnen, wird die Schlacke üblicherweise durch eine Hochleistungs-Wirbelstromsortierung aufbereitet wobei die vorgängige Abtrennung der magnetischen Partikel mittels Hochgradient-Magnetseparation erforderlich ist (da magnetische Partikel das Feld des Wirbelstromsortierers stören). Allerdings liegt rund die Hälfte der Wertmetalle nicht in freier Form vor, sondern verkapselt in Partikeln zusammen mit Eiseneinschlüssen. Diese Partikel werden bei der vor dem Wirbelstromscheider stattfindenden Magnetseparation abgetrennt und gelangen so ins magnetische Konzentrat.

Um die im magnetischen Konzentrat vorliegenden Wertmetalle zu gewinnen, muss das Konzentrat auf etwa 2mm zerkleinert und nochmals mittels Magneten getrennt werden. Erst dann gerät das durch die Zerkleinerung aufgeschlossene Kupfer in den unmagnetischen Rückstand. Kupfer und eisenfreie Mineralik könnten dann durch eine Hochleistungs-Wirbelstromscheidung oder durch eine Dichtesortierung voneinander getrennt werden.