

## Interessengemeinschaft Nassaustrag

Die IGENASS ist ein Zusammenschluss von Interessenträgern im Umfeld der Aufbereitung von nass ausgetragenen KVA-Schlacken. Ziel ist es die Gewinnung von Wertstoffen aus nass ausgetragener Schlacke technisch voranzutreiben und den Restgehalt der Metalle in der aufbereiteten Schlacke in Hinblick auf eine möglichst nachsorgefreie Ablagerung der mineralischen Anteile zu reduzieren. Dies unter Berücksichtigung einer optimalen Kosten/Nutzeneffizienz. In der IGENASS herrscht eine «open-source» Philosophie - ein Schutz des geschaffenen geistigen Eigentums wird nicht angestrebt. In der Trägerschaft sind – neben innovativen Schweizer KVA - auch die massgeblichen Schweizer Schlackenaufbereitungsanlagen vertreten. Auf diese Weise wird der Bezug zur Praxis, insbesondere die Umsetzung von Ergebnissen aus dem Labor oder Technikum in den Produktionsmassstab, hergestellt.

## Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik

Die Fachgruppe Rohstoffe und Verfahrenstechnik des UMTEC der FH Rapperswil beschäftigt sich vor allem mit der mechanischen Aufbereitung von Primär- und Sekundärrohstoffen, vor allem von KVA-Schlacken. Die operativen Tätigkeiten der IGENASS, insbesondere die Geschäftsführung sowie die Forschung und Entwicklung der IGENASS, wird über das UMTEC abgewickelt.

## Lokale Spitzentemperaturen in KVA

### Hintergrund

Während der Verbrennung in einer KVA wird der Kehricht hohen Temperaturen ausgesetzt, um die organischen Anteile zu oxidieren. Die Verbrennung kann allerdings auch einen negativen Einfluss auf die im Kehricht enthaltenen Metalle haben. Je nach Temperatur und Expositionsdauer können diese Metalle oberflächlich oxidieren oder sogar schmelzen. Wenn im Kehrichtbett z.B. die Schmelztemperatur von Kupfer überschritten wird, können sich Kupferüberzüge auf Stahlteilen bilden, welche die Qualität des Stahls massiv verschlechtern. Diese Beeinträchtigung betrifft nicht nur die wirtschaftlichen Aspekte des Stahlrecyclings aus KVA-Schrott, sondern auch dessen Ökobilanz.

Aufgrund technischer Fortschritte im Bereich der Schlackenaufbereitung und wegen wachsender Mengen an Metallen im Kehricht ist eine Schlackenaufbereitung zwecks Metallrückgewinnung wirtschaftlich attraktiv und als „Stand der Technik“ sogar gesetzlich vorgeschrieben. Der wirtschaftliche Fokus der Aufbereitung liegt auf der Rückgewinnung von Eisen, Edelstahl, Kupfer, Aluminium und Gold.

**In dieser Studie wurde untersucht, welchen Spitzentemperaturen die Metalle bei der Kehrichtverbrennung ausgesetzt werden.**

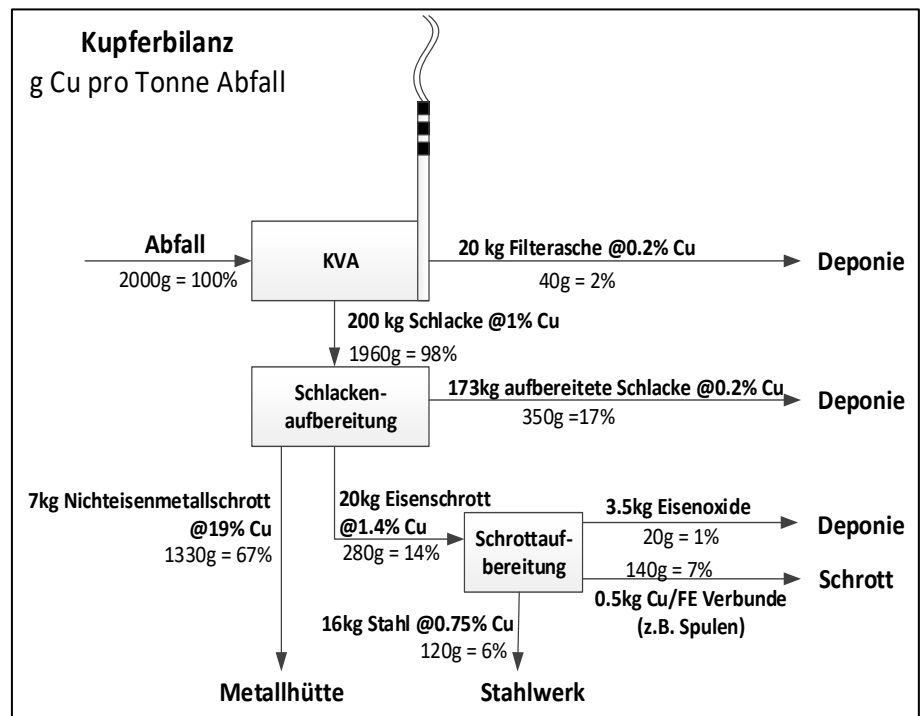


Abb. 1: Kupferbilanz der Kehrichtverbrennung. Etwa 75% des in die KVA eingetragenen Kupfers liegt nach der Verbrennung in Form von freien Kupferstücken vor, 13% liegen im Verbund mit Eisen vor, und 12% werden chemisch umgewandelt (vor allem in Oxide).

## Versuchsaufbau

Zur Untersuchung der lokalen Spitzentemperaturen in KVA wurden zwei Versuchsserien durchgeführt. In der ersten Serie wurden zahlreiche Prüfkörper, an denen Metallproben mit bekannten Schmelzpunkten befestigt waren, in sechs verschiedene KVA eingeworfen. Diese Prüfkörper wurden aus der ausgetragenen KVA-Schlacke manuell zurückgewonnen. Anschliessend wurde beurteilt, ob die daran befestigten Metallproben geschmolzen waren oder nicht. Aus diesen Daten wurde abgeschätzt wie hoch die Spitzentemperatur im Feuerungsbett mindestens gewesen war. Überdies wurde die Aufenthaltszeit der Probenbehälter in der Ofenlinie erfasst.

In der zweiten Versuchsserie wurde in Schlackenproben von fünf verschiedenen KVA das Verhältnis von Kupferdrähten zu Kupferkugeln in der Schlackenfraktion 1-2mm bestimmt. Kupferkugeln entstehen durch das Schmelzen von Kupferdrähten (Abb. 6). Das Gewichtsverhältnis von Kupferkugeln zu Kupferdrähten ist daher ein Indiz dafür, welcher Anteil an Kupferstücken oberhalb von 1080°C erhitzt wurde. Anhand dieser Daten wurde abgeschätzt, welcher Temperatur das Kupfer in der KVA typischerweise ausgesetzt wurde. Beide Versuche wurden in KVA mit Vorschubrosten und Rückschubrosten durchgeführt, um einen möglichen Einfluss der Rosttechnologie auf die Spitzentemperatur zu erkennen.

## Versuchsserie I: Einwurf von Prüfkörpern in KVA



Abb. 2: (links) Prüfkörper Serie A: Probenbehälter in welchem Indikatormetalle mit bekannten Schmelzpunkten in Sand eingelagert waren (Photo: Probenbehälter nach Rückgewinnung aus der Schlacke).

Abb. 3: (rechts) Prüfkörper der Serie B: Muttern und Unterscheiben verschiedener Metalle mit bekannten Schmelzpunkten wurden auf Gewindestangen aus Stahl befestigt (vor dem Einwurf in die KVA).

Zwei verschiedene Arten von Prüfkörpern wurden in KVA eingeworfen (Abb. 2 und 3). Die Prüfkörper der Serie A waren wegen ihres hohen spezifischen Gewichts tiefer im Feuerungsbett eingesunken als die Prüfkörper der Serie B, welche sich im Feuerungsbett nach oben gearbeitet hatten und durch das Ofenfenster beobachtet werden konnten (Abb. 4).

Die in unseren Versuchen ermittelten Spitzentemperaturen, denen die Prüfkörper im Ofen ausgesetzt waren, sind in Abb. 5 dargestellt. Hier ist die kumulative Häufigkeit der Metallproben aufgetragen, welche eine gegebene Temperatur (nämlich die Schmelztemperatur der Indikatormetalle) überschritten. Jeder Messpunkt repräsentiert den Durchschnittswert von mehreren Prüfkörpern. Zur Orientierung sind die Schmelzpunkte

von Kupfer (1080°C) und Stahl (ca. 1450°C) eingezeichnet. Die ermittelten Spitzentemperaturen lagen bei fast allen Versuchen oberhalb von 800°C. Einige Prüfkörper wurden Spitzentemperaturen von über 1450°C ausgesetzt. Insgesamt lagen die Temperaturen deutlich höher, als dies von uns erwartet worden war: Mehr als die Hälfte der Prüfkörper war Spitzentemperaturen oberhalb des Schmelzpunktes von Kupfer ausgesetzt.

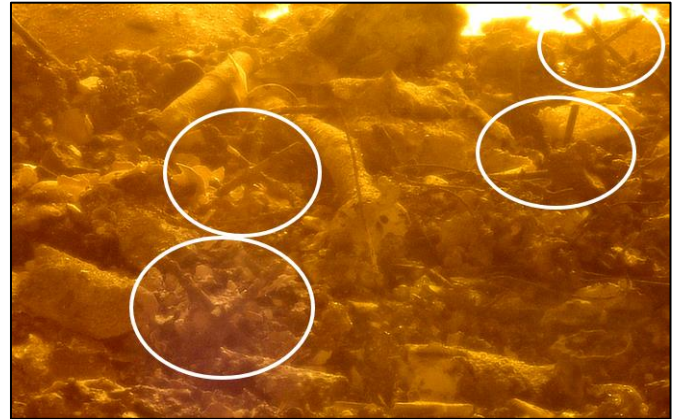


Abb. 4: Blick durch das Ofenfenster auf Prüfkörper der Serie B, die auf dem Kehrriechtbett aufliegen.

Tatsächlich wird das meiste Kupfer in KVA allerdings nicht aufgeschmolzen. Die Erklärung liegt vermutlich in unserem Versuchsdesign. Unsere Prüfkörper waren relativ gross und hatten eine Dichte von 3.8 kg/L (Probenbehälter Serie A) respektive eine „effektive Dichte“ von etwa 1.5 kg/L (Prüfkörper Serie B). Sie wurden daher durch die Schürprozesse auf dem Rost auch in die heisseste Zone im oberen Teil des Feuerbettes transportiert (wie in Abb. 4 zu sehen). Im Gegensatz dazu entmischen sich im Abfall befindliche „freie“ Kupferstücke wegen ihrer hohen Dichte (ca. 9 kg/L), reichern sich dann in der „kalten Zone“ unmittelbar über dem Rost an und entziehen sich so einer hohen thermischen Beanspruchung. Diese Entmischung nach der Dichte ist wohl auch der Grund dafür, dass Kupfer/Eisen-Verbunde (elektrische Spulen mit Dichte 7 kg/L) ohne Abschmelzen des Kupfers praktisch immer intakt aus dem Ofen ausgetragen werden.

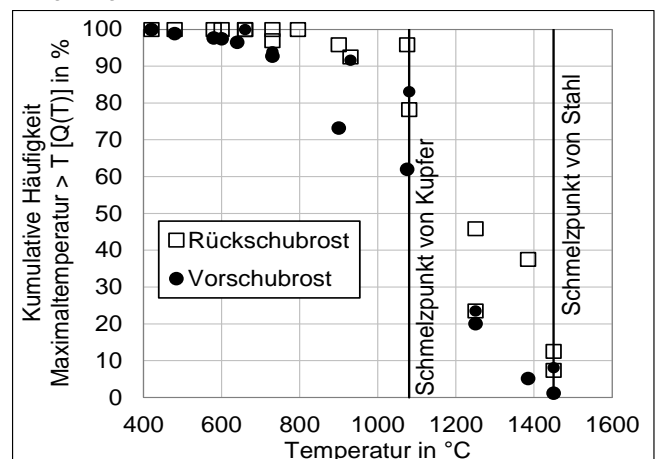


Abb. 5: Kumulative Häufigkeit der Prüfkörper bei denen eine Spitzentemperatur  $>T$  überschritten wurde.

Weiterhin wurde von uns beobachtet, dass die Aufenthaltsdauer unserer Prüfkörper bei Vorschubrosten einer „Pfropfenströmung“ entsprach, also die Prüfkörper etwa in der Reihenfolge in der sie eingeworfen wurden auch wieder aus dem Ofen

## Kontakt

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

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

ausgetragen wurden und zwar ungefähr nach einem Zeitintervall, welches der mittleren Aufenthaltsdauer im Ofen entsprach. Bei den Rückschubrosten war die mittlere Aufenthaltsdauer unserer Prüfkörper wesentlich länger und es wurde kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Zeitpunkten von Einwurf und Austrag festgestellt.

### Versuchsserie II: Verhältnis Kupferkugeln : Kupferdrähte

Von fünf Schweizer KVA wurden Schlackenproben beschafft und im Labor einzeln klassiert sowie mittels Dichtesortierung aufbereitet, bis ein Schwermetallkonzentrat der Korngrösse 1-2mm übrigblieb. Das Konzentrat wurde gereinigt, um Oxidschichten zu entfernen und das Kupfer besser sichtbar zu machen. Anschliessend wurden alle Kupferdrähte und Kupferkugeln separat von Hand aussortiert und die Fraktionen "Kupferkugeln" und "Kupferdrähte" abgewogen. Über das Gewichtsverhältnis der beiden Fraktionen wurde der Massenanteil der Kupferkugeln am Gesamtkupfer (Kugeln und Drähte) in den Konzentraten bestimmt. Die Fraktionen Kupferkugeln und Kupferdrähte wurden mittels XRF auf ihre Legierungszusammensetzung analysiert.



Abb. 6: Intakte Kupferdrähte im Gemisch mit geschmolzenen Kupferdrähten, die sich zu Kügelchen zusammengezogen haben.

In Abb.7 ist der Massenanteil der Kupferkugeln am Gesamtkupfer in der Fraktion 1-2 mm der fünf beprobten KVA-Schlacken dargestellt. Gekennzeichnet ist auch, ob es sich um eine Schlackenprobe eines Vorschub- oder Rückschubrostes handelt. In allen untersuchten Schlacken wurde ein höherer Massenanteil an Kupferkugeln als an Drähten nachgewiesen. Im Mittel lag rund 60% des Kupfers in der Fraktion 1-2mm in Form von Kugeln vor und war demzufolge Spitzentemperaturen von rund 1080°C ausgesetzt. Zwischen den Resultaten der Schlacken von Vorschubrosten und Rückschubrosten gab es keinen deutlichen Unterschied.

Es ist möglich, dass die ausgezählten Kupferkugeln nicht das gesamte geschmolzene Kupfer repräsentieren. Ein Teil der geschmolzenen Kupferdrähte legierte vermutlich mit anderen Metallen und wurde somit durch unsere Methode nicht erfasst. Demzufolge ist der Anteil an Kupferkugeln möglicherweise

noch höher als gemessen. Diese Annahme wurde durch die XRF-Analysen der Drähte und Kugeln bestätigt. Für Zink und Silber beispielsweise wurden bei den Kugeln zwei bis dreifach höhere Konzentrationen gemessen als in den Drähten. Da die Schmelzpunkte dieser Legierungen etwas tiefer als der Schmelzpunkt von Kupfer liegen, schätzen wir ab, dass rund 50% der Kupferstücke eine lokale Spitzentemperatur von 1080°C erreichte.

Wir gehen weiterhin davon aus, dass der oben für grobe Kupferstücke postulierte Entmischungsmechanismus für feine Kupferdrähte nicht gilt, sondern dass diese zusammen mit dem übrigen Abfall im Feuerungsbett verteilt vorliegen.

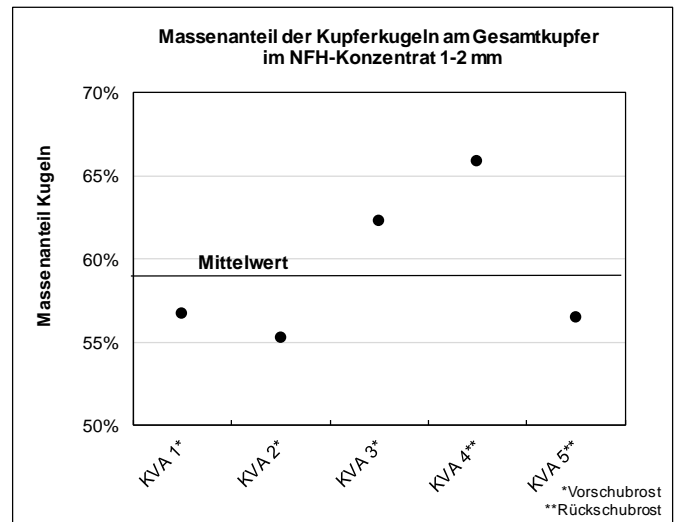


Abb. 7: Massenanteil der Kupferkugeln am Gesamtkupfer im Schwermetallkonzentrat der Fraktion 1-2mm.

### Fazit

Rund 60% der eingeworfenen Prüfkörper des ersten Versuchs war Spitzentemperaturen oberhalb dem Schmelzpunkt von Kupfer ausgesetzt (1080°C). Diese Ergebnisse werden durch die Massenverhältnisse Kupferkugeln zu Kupferdrähten in der Fraktion 1-2mm ungefähr bestätigt. Wir gehen davon aus, dass die lokalen Spitzentemperaturen in KVA-Feuerungsbetten zwischen 900°C und 1400°C liegen. **Rund die Hälfte der Metallpartikel werden in KVA auf Temperaturen oberhalb ca. 1100°C erhitzt. Die lokalen Spitzentemperaturen liegen also deutlich oberhalb der "mittleren Feuerbetttemperatur", die bei KVA häufig mit 900-1000°C angegeben wird.**

Erwartungsgemäss sollte daher mehr als die Hälfte des Kupfers, das in die KVA gelangt, schmelzen. Unsere Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass in der Realität wesentlich weniger Kupfer tatsächlich schmilzt. **Der Grund hierfür ist, dass sich Partikel mit hoher Dichte, z.B. Kupferstücke, im Feuerungsbett nach unten durcharbeiten. Sie reichern sich also im „kalten“ unteren Teil des Feuerungsbettes (über dem Rost) an und bleiben dort vor den weiter oben im Feuerungsbett herrschenden Spitzentemperaturen geschützt. Derartige Entmischungsprozesse, die spezifisch schwere Partikel vor sehr hohen Temperaturen schützen, werden nicht nur für Kupferstücke, sondern beispielsweise auch für Batterien beobachtet.**

### Kontakt

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

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