

Das Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik UMTEC besteht aus drei Fachgruppen: Recycling und Verfahrenstechnik, Wasser und Abwassertechnik sowie Advanced Materials&Processes. Rund 15 Wissenschaftler und Ingenieure aus den Bereichen Maschinen und Verfahrenstechnik, Umweltwissenschaften und Chemie betreuen Forschungs- und Entwicklungsprojekte.

Die **Fachgruppe Recycling und Verfahrenstechnik** beschäftigt sich vor allem mit der mechanischen Aufbereitung von Sekundärrohstoffen. In einem einzigartig ausgestatteten Verfahrenstechniklabor entwickeln wir Verfahren und Geräte zur Separation von Schüttgütern und zur Phasentrennung. Wir greifen auf eine langjährige Erfahrung aus zahlreichen Projekten mit Industrieunternehmen und Umweltämtern zurück. Rund 40 Patentanmeldungen belegen unser Innovationspotenzial.

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

www.umtec.ch / www.ost.ch

„Wir erforschen technische Probleme nicht.
Wir lösen sie!“ UMTEC

Lokale Spitzentemperaturen in KVA

Hintergrund und Zielsetzung

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.

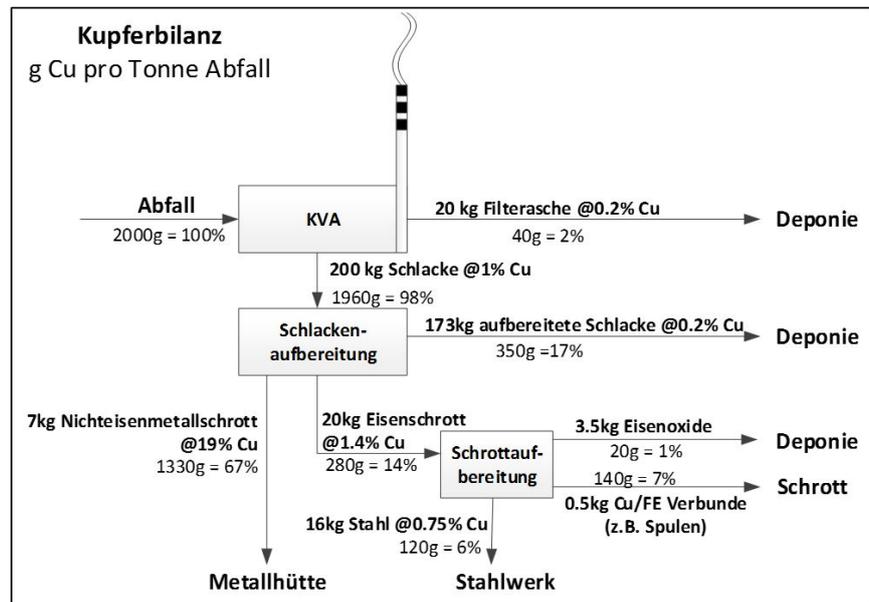


Abb. 1: Kupferbilanz der Kehrichtverbrennung. Etwa 75 % des in die KVA eingetragenen Kupfers liegt nach der Verbrennung in Form von freien Kupferstücken vor, 13 % liegen im Verbund mit Eisen vor, und 12 % werden chemisch umgewandelt (vor allem in Oxide)

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 Unterlegscheiben 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.

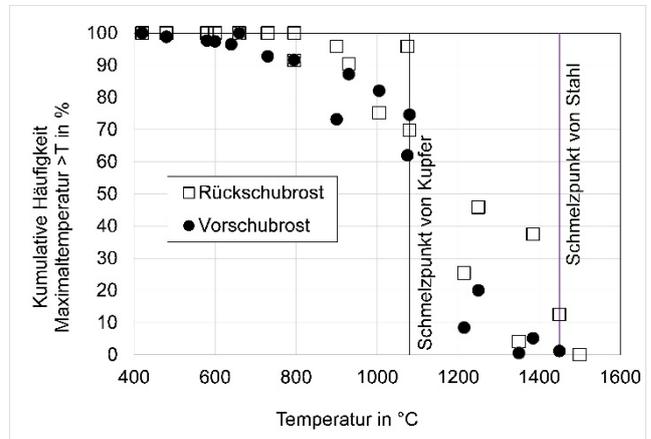


Abb. 5: Kumulative Häufigkeit der Prüfkörper bei denn eine Spitzentemperatur > T überschritten wurde.

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 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 Auswurf festgestellt.

Kontakt

Prof. Dr. Rainer Bunge, Tel. 058 257 48 60 (Sekretariat)

OST Ostschweizer Fachhochschule ■ UMTEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik ■ Oberseestrasse 10 ■ CH-8640 Rapperswil

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 1-2 mm übrigblieb. Das Konzentrat wurde gereinigt, um Oxidschichten zu entfernen und so 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.



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 zudem, ob es sich um eine Schlackenprobe eines Vorschub- oder Rückschubrostes handelt.

In allen untersuchten Schlacken wurde ein höherer Massenanteil an Kupferkugeln als an Drähten an der Gesamtkupfermasse in der Fraktion 1-2 mm nachgewiesen. Im Mittel lag rund 60 % des Kupfers in der Fraktion 1-2 mm in Form von Kugeln vor und war demzufolge Spitzentemperaturen von mindestens 1080°C ausgesetzt. Dabei gab es zwischen den Resultaten der Schlacken von Vorschubrosten und Rückschubrosten keinen deutlichen Unterschied.

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

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.

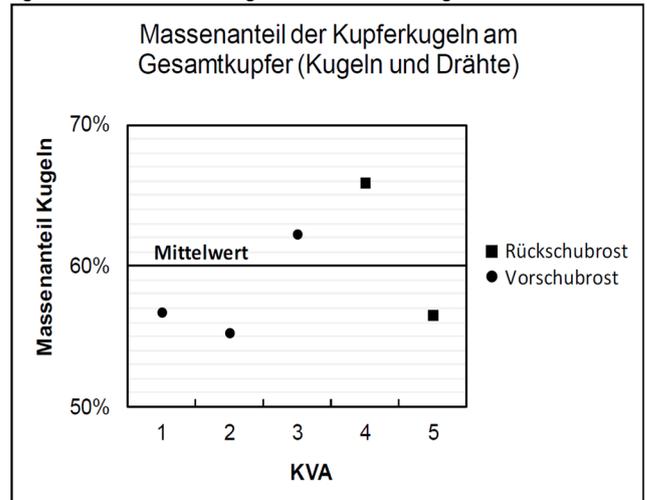


Abb. 7: Massenanteil der Kupferkugeln am Gesamtkupfer (Kugeln und Drähte) im Schwermetallkonzentrat 1-2 mm

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 1-2 mm ungefähr bestätigt. Wir gehen davon aus, dass die lokalen Spitzentemperaturen in KVA-Feuerungsbetten etwa gleichverteilt zwischen 900°C und 1400°C liegen. **Rund die Hälfte der Materialpartikel werden in KVA auf Temperaturen oberhalb ca. 1'100°C erhitzt. Die lokalen Spitzentemperaturen liegen also weit oberhalb der "mittleren Feuerbetttemperatur", die bei KVA häufig mit 900-1'000°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.** Der Entmischung nach der Partikeldichte ist noch eine Entmischung nach der Partikelgrösse überlagert: kleine Partikel entmischen sich besser als grosse Partikel mit gleicher Dichte. So entmischen sich AA-Haushaltsbatterien mit einer Dichte von etwa 3 kg/L relativ gut (und sammeln sich thermisch zumeist unversehrt über dem Rost an) während unsere viel grösseren Prüfkörper der Serie A trotz höherer Dichte (3.8 kg/L) in die weiter oben gelegenen heissen Zonen im Feuerungsbett gelangten.

Kontakt

Prof. Dr. Rainer Bunge, Tel. 058 257 48 60 (Sekretariat)

OST Ostschweizer Fachhochschule ▪ UMETEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik ▪ Oberseestrasse 10 ▪ CH-8640 Rapperswil