

Institut für Technologien der Metalle



Untersuchungen zur Bestimmung metallischer Bestandteile in der HMV-Schlacke

17. VDI-Fachkonferenz
Feuerung und Kessel

- Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen –

Nürnberg, den 27.06.2018

R.Deike¹⁾, D.Ebert¹⁾, R.M.Ulum¹⁾, R.Schubert,¹ R.Warnecke²⁾

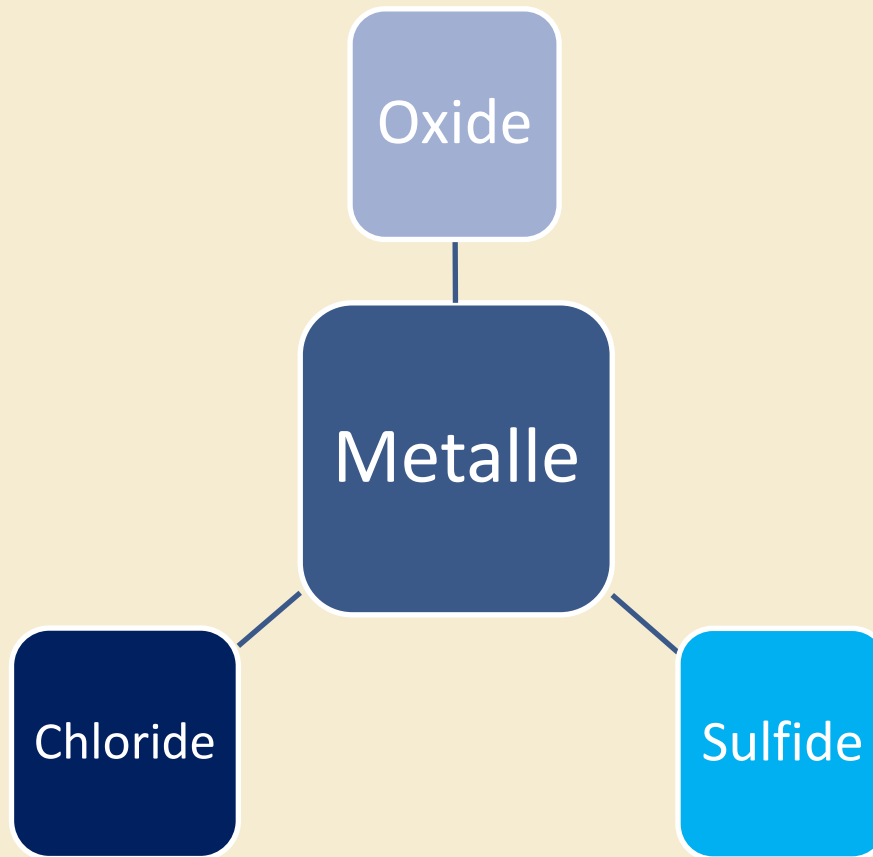
¹⁾: Universität Duisburg-Essen

²⁾: Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH

Inhalt

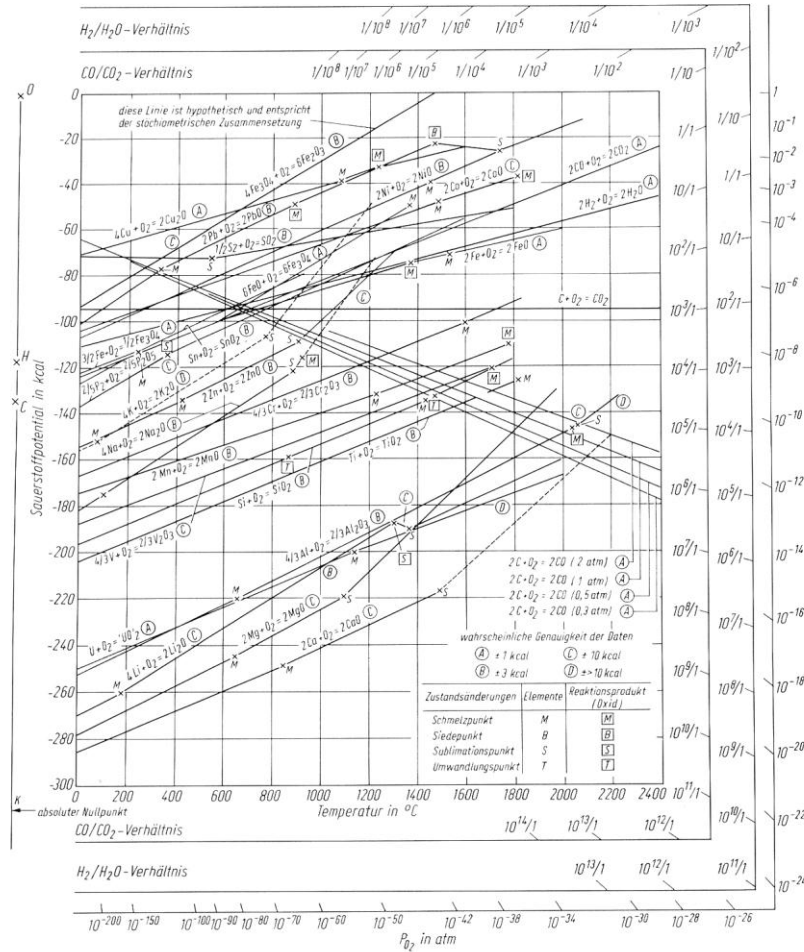
1. Was machen Metalle bei der Müllverbrennung?
2. Was macht Eisen bei der Müllverbrennung?
3. Was macht Aluminium bei der Müllverbrennung?
4. Was macht Zink bei der Müllverbrennung?
5. Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?
6. Charakteristische Partikel in feiner MV-Schlacke
7. Metallographische Analyse metallischer Partikel

1. Was machen Metalle bei der Müllverbrennung?

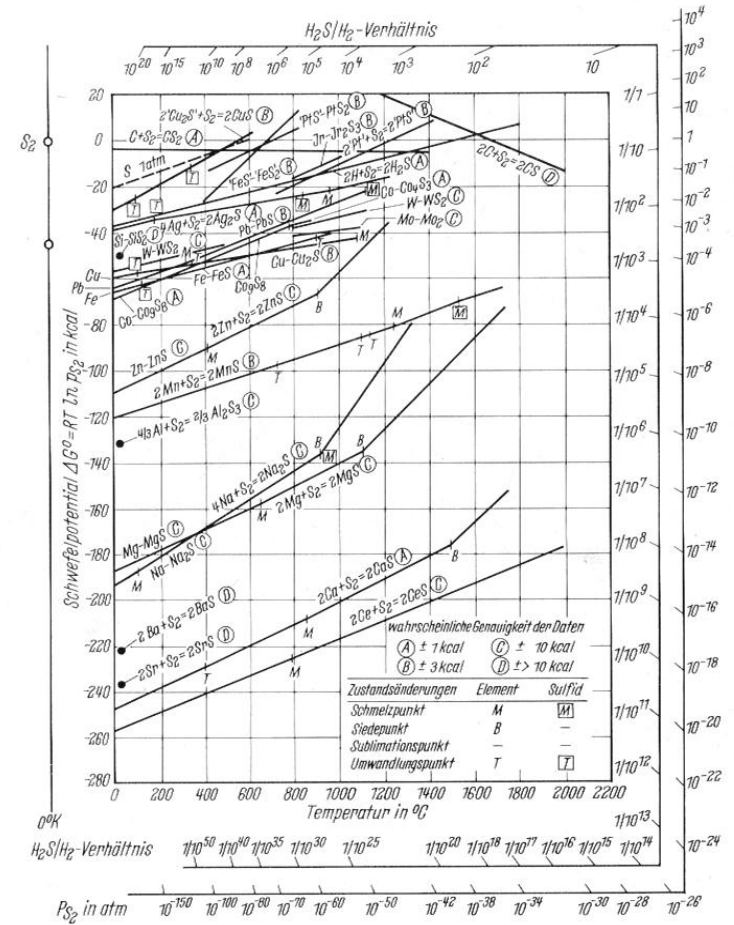


Richardson-Jeffes Diagramme der Oxide und Sulfide

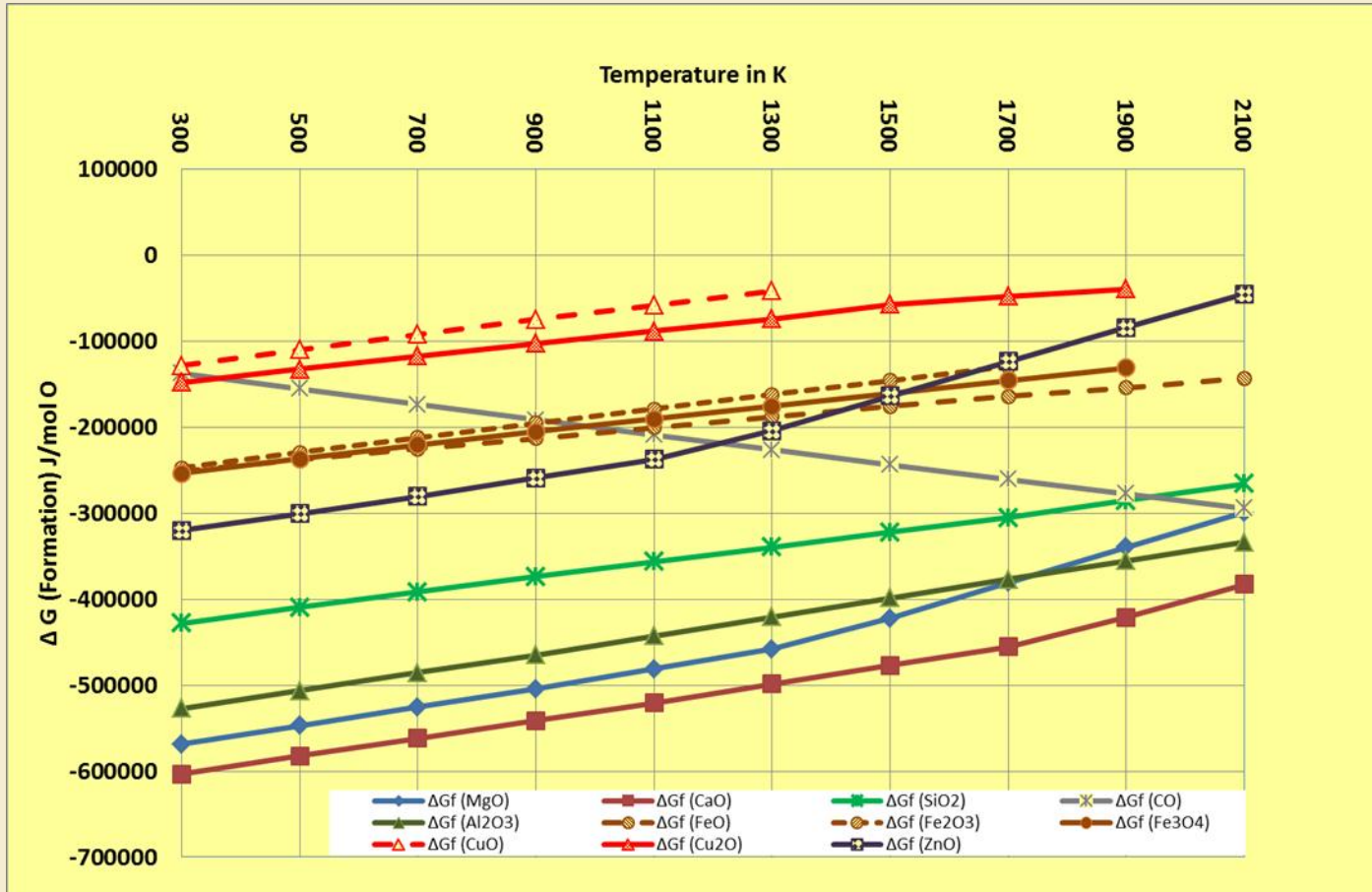
Freie Standard-Reaktionsenthalpien der Oxide



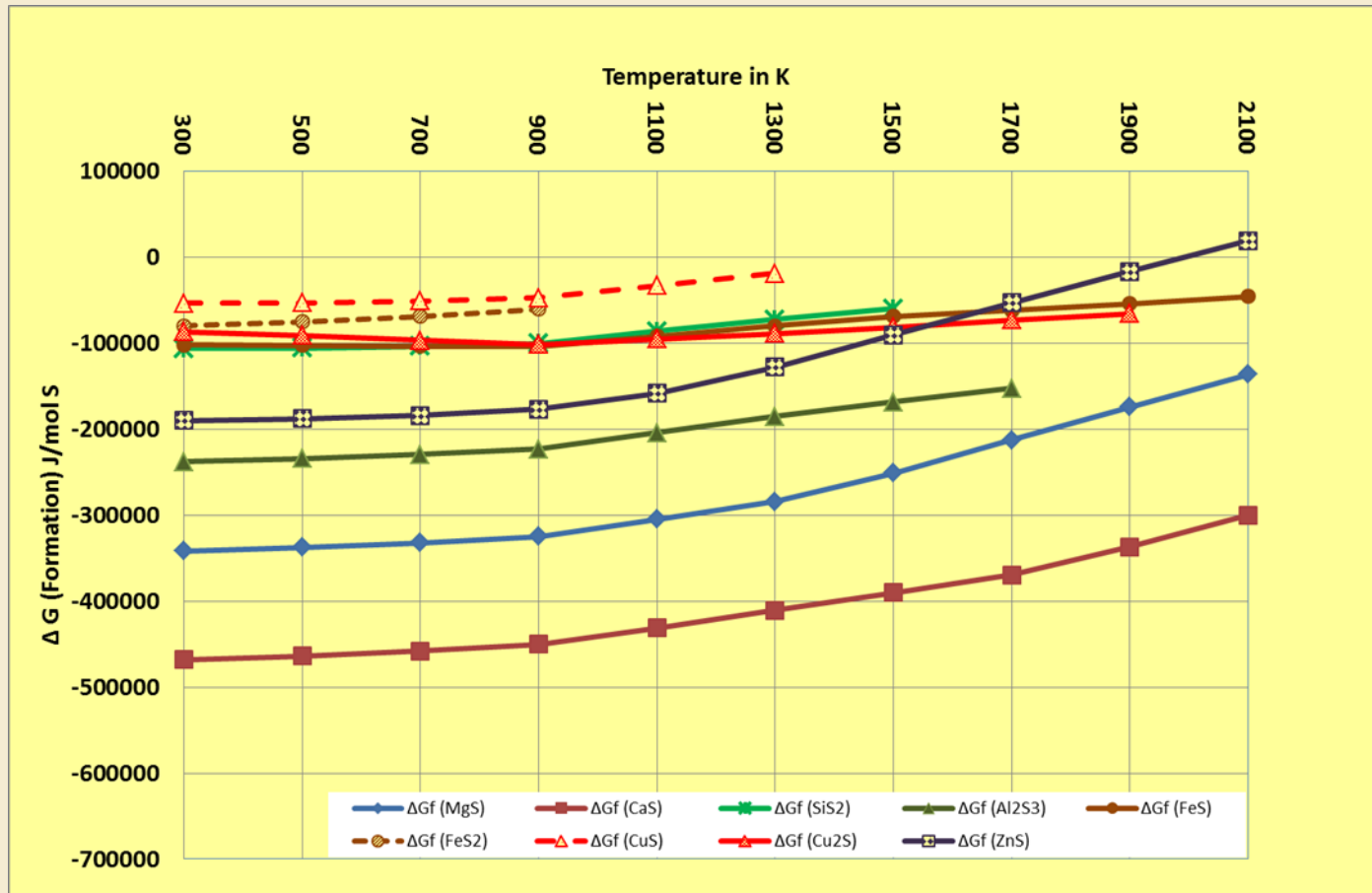
Freie Standard-Reaktionsenthalpien der Sulfide



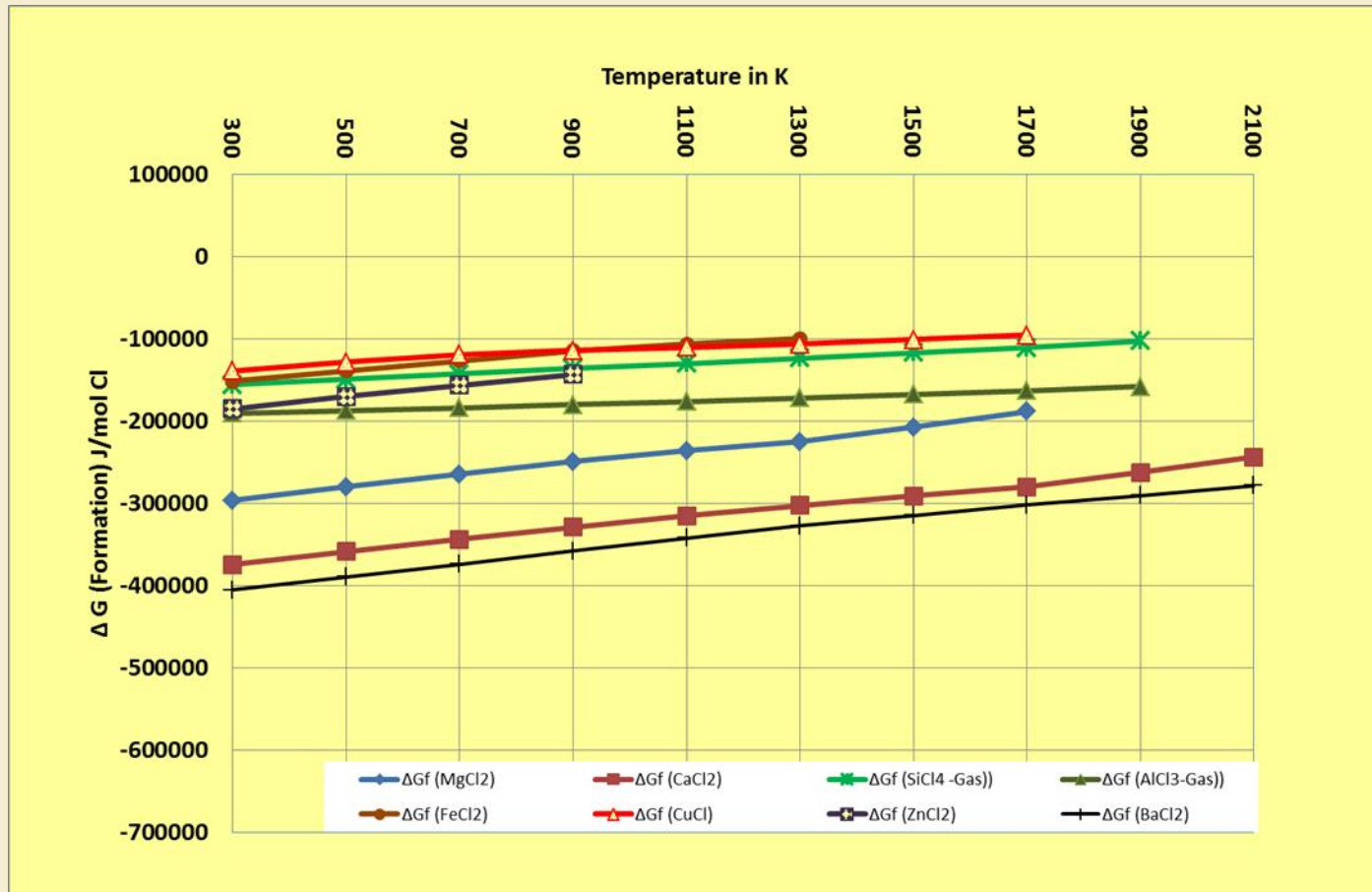
Freie Standard Bildungsenthalpien diverser Oxide bezogen auf 1 Mol O



Freie Standard Bildungsenthalpien diverser Sulfide bezogen auf 1 Mol S

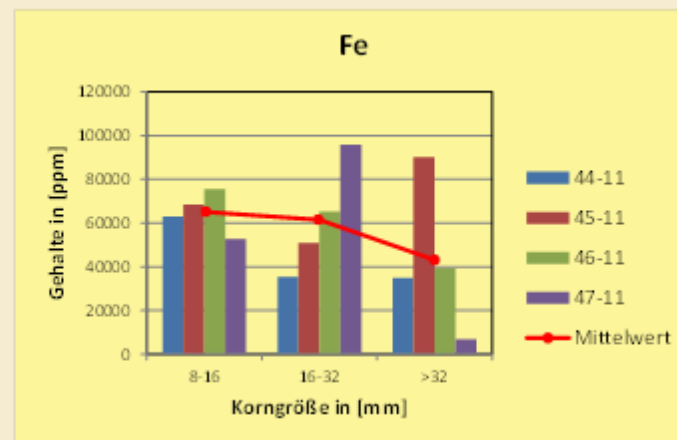
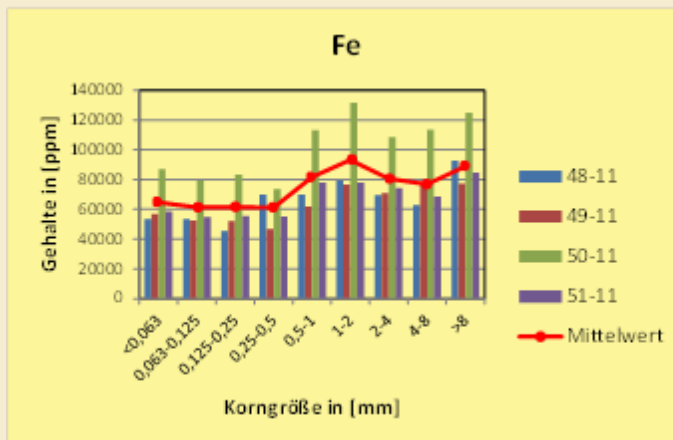
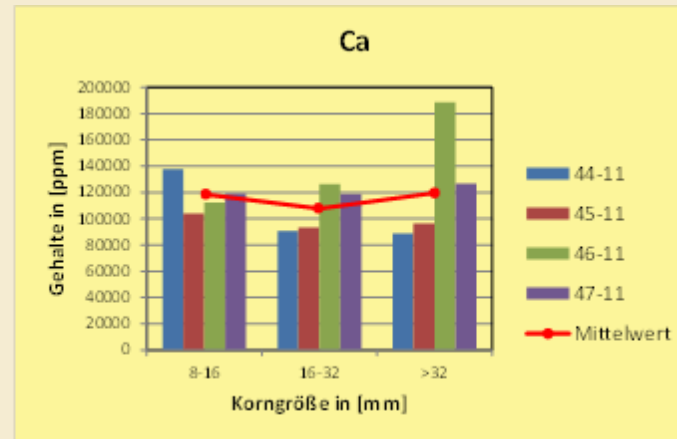
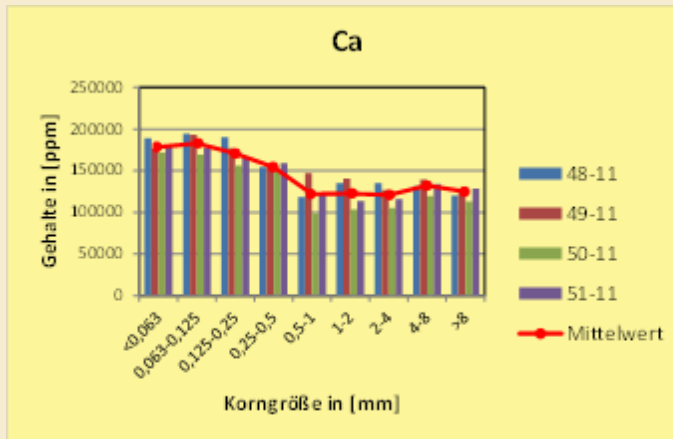


Freie Standard Bildungsenthalpien diverser Chloride bezogen auf 1 Mol Cl



2. Was macht Eisen bei der Müllverbrennung?

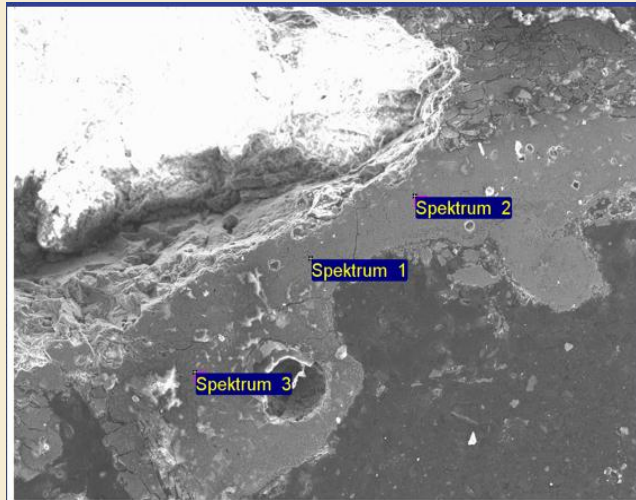
Was machen Calcium und Eisen bei der Müllverbrennung?



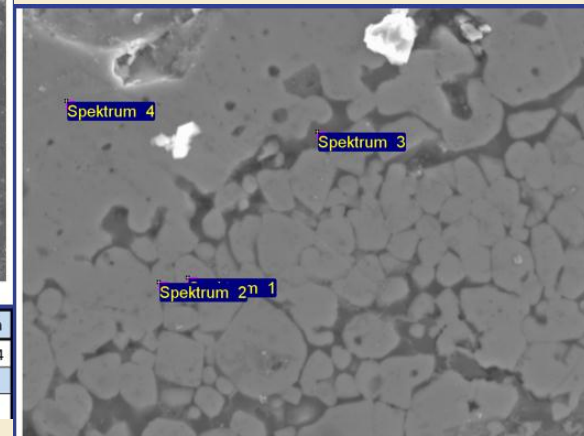
Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: Abschlussbericht zum Projekt Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung, Duisburg, 2012,

<https://www.itad.de/information/studien/20130110DEIKEHMVARecyclingpotentialAbschlussbericht.pdf>

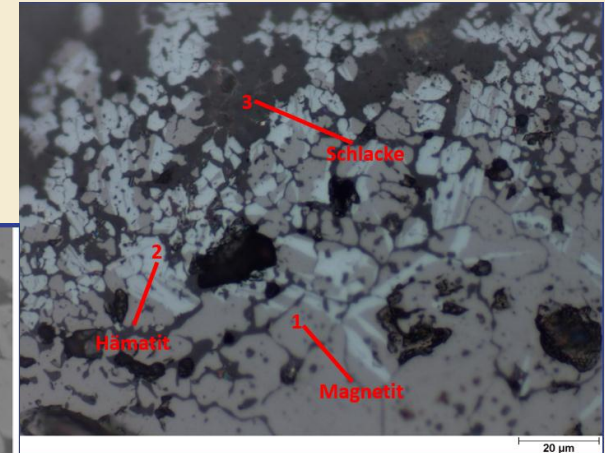




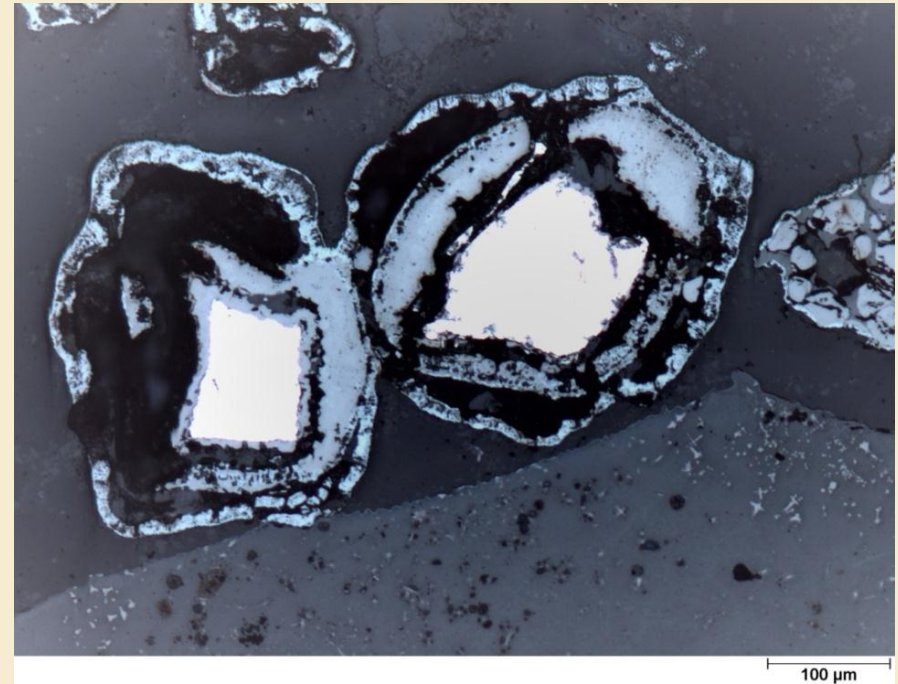
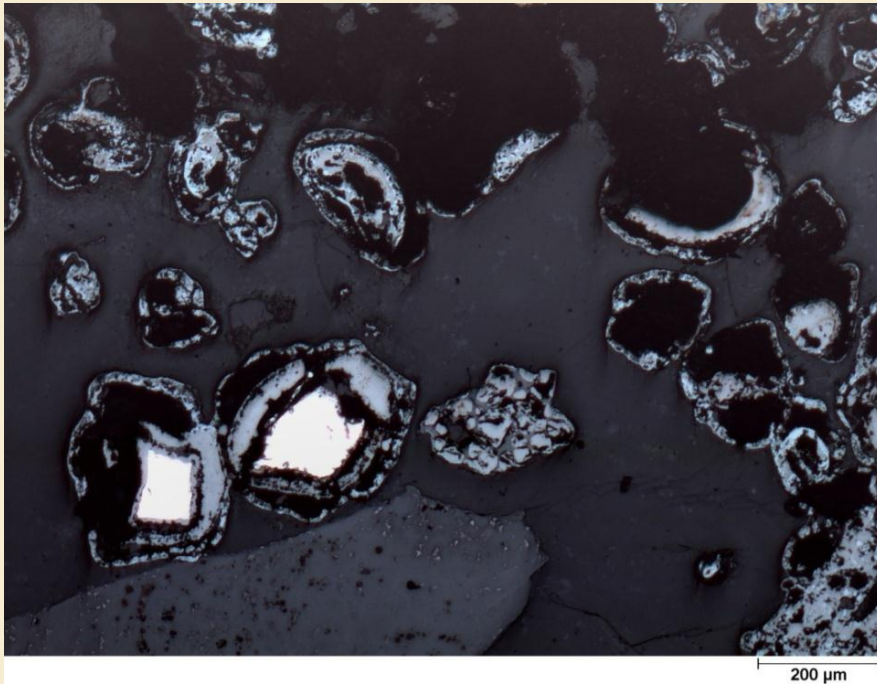
Spektrum	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ba
Spektrum 1	8	35	0,5		4,2	9,7	0,3	0,4	0,3	0,5	7,4		0,6	30,8	2,4
Spektrum 2	2,6	35,4		0,4	1,3	7,1					4,8	0,2		48,1	
Spektrum 3	8,8	34,3		0,3	1,3	6,1					4,5			44,8	



Spektrum	C	O	Mg	Al	Si	Ca	Mn	Fe	Ba
Spektrum 1	3	31,1		0,3				66	
Spektrum 2	2,9	31,5				0,3		65	
Spektrum 3	3,1	34,6	0,6	0,4	18	14	0,5	28	1,2
Spektrum 4	2,7	30,9		0,3				66	

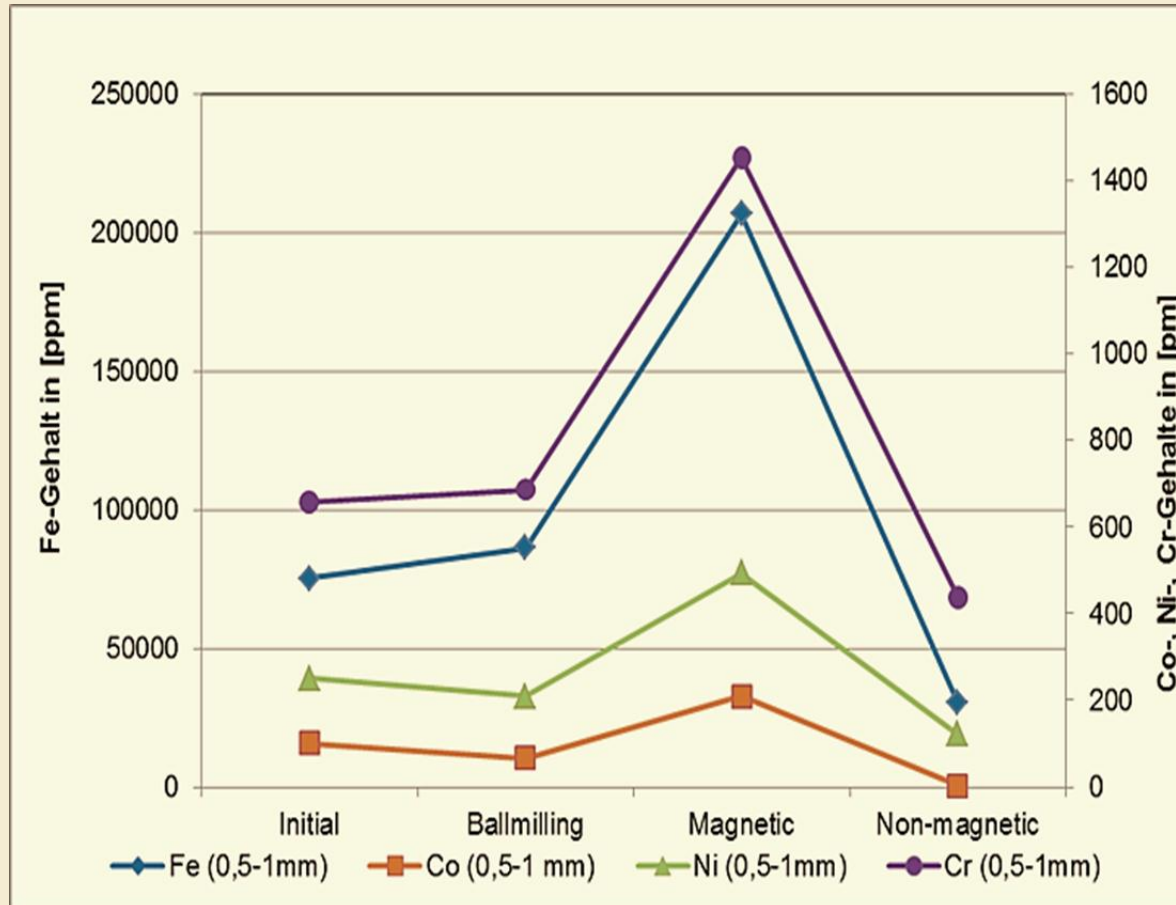


Was macht Eisen bei der Müllverbrennung?



$$\rho(\text{Fe}) = 7,86 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad \rho(\text{Fe}_{0,95}\text{O}) = 5,73 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad \rho(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 5,10 \text{ g/cm}^3 \quad \rightarrow \quad \rho(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 5,26 \text{ g/cm}^3$$

Was macht Eisen bei der Müllverbrennung?

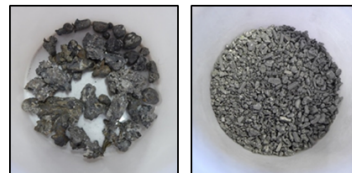


Deike, R.; Ulum, R.; Schubert, D.; Foppe, M.; Gellermann, C.; Lutz, S.: *The recycling potential of metals from MSW incineration residues*, Mining the Technosphere Potentials and Challenges, Drivers and Barriers, TU Vienna, 02.10.15,



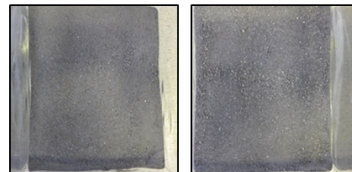
Innovative Technologien
für Ressourceneffizienz
Bereitstellung wirtschafts-
strategischer Rohstoffe

Rückgewinnung von Metallen aus Oxiden in metallurgischen Schlacken



a)

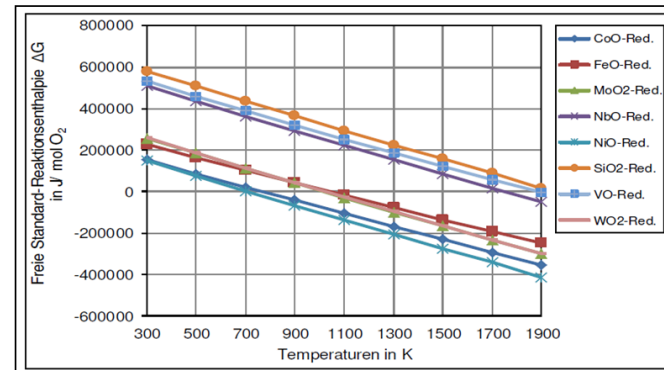
b)



c)

d)

Edelstahlschlacke	
a)	grobe Metallfraktion
b)	feine Metallfraktion
c)	magnetische Fraktion
d)	nicht-magnetische Fraktion



Element	Magnetische Fraktion [ppm]	Nicht-magnetische Fraktion [ppm]
Eisen	381.900	20.240
Kobalt	2.124	110
Nickel	702	57
Molybdän	2.949	205
Wolfram	1.717	160

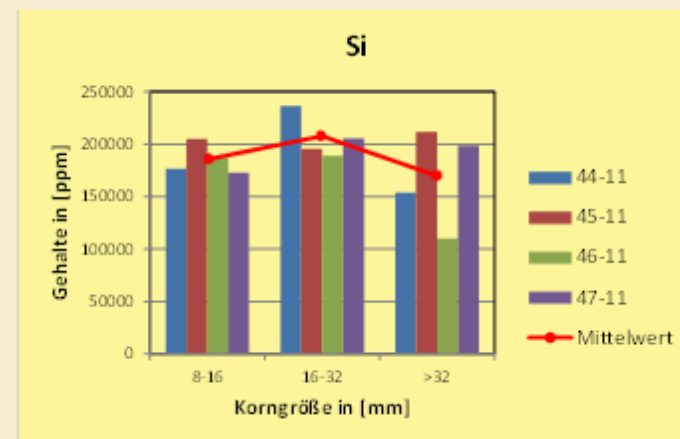
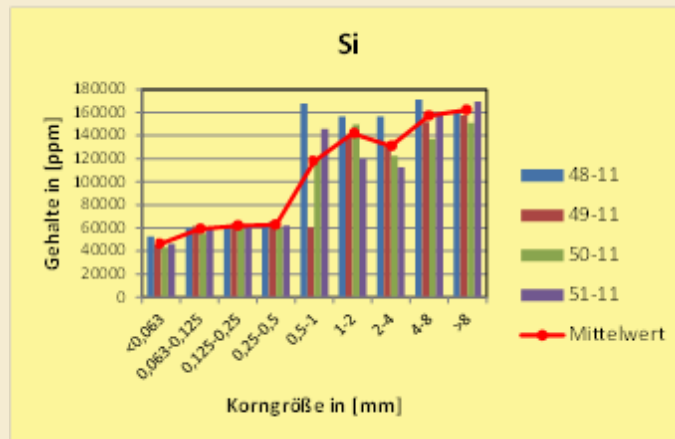
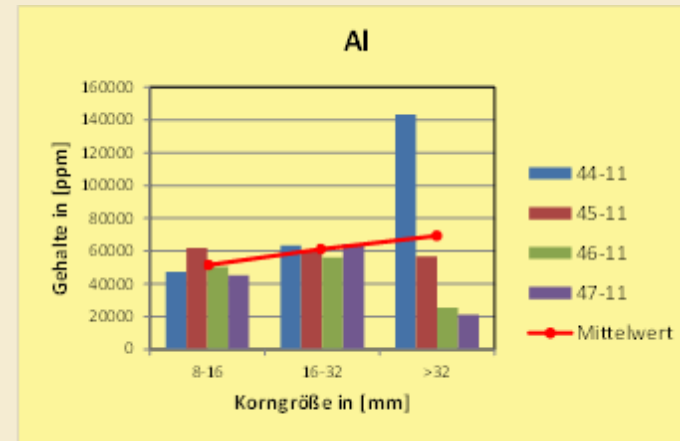
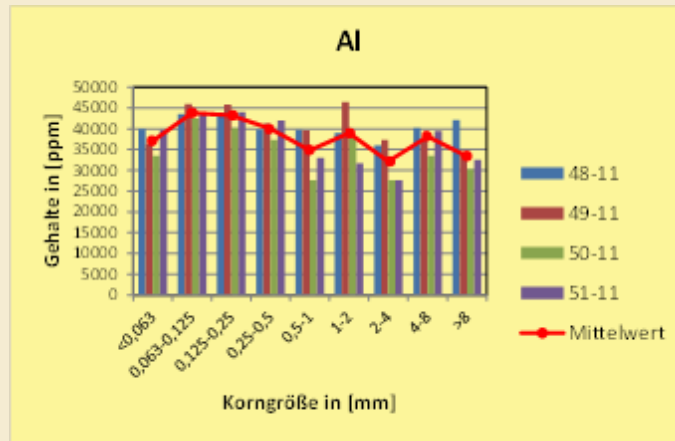
Deike, R.: BMBF / MCTI Workshop of Brazilian-German R&D Cooperation on Rare Earths and Raw Materials of Strategic Economic Importance, Brasilia 21.09.2015



3. Was macht Aluminium bei der Müllverbrennung?



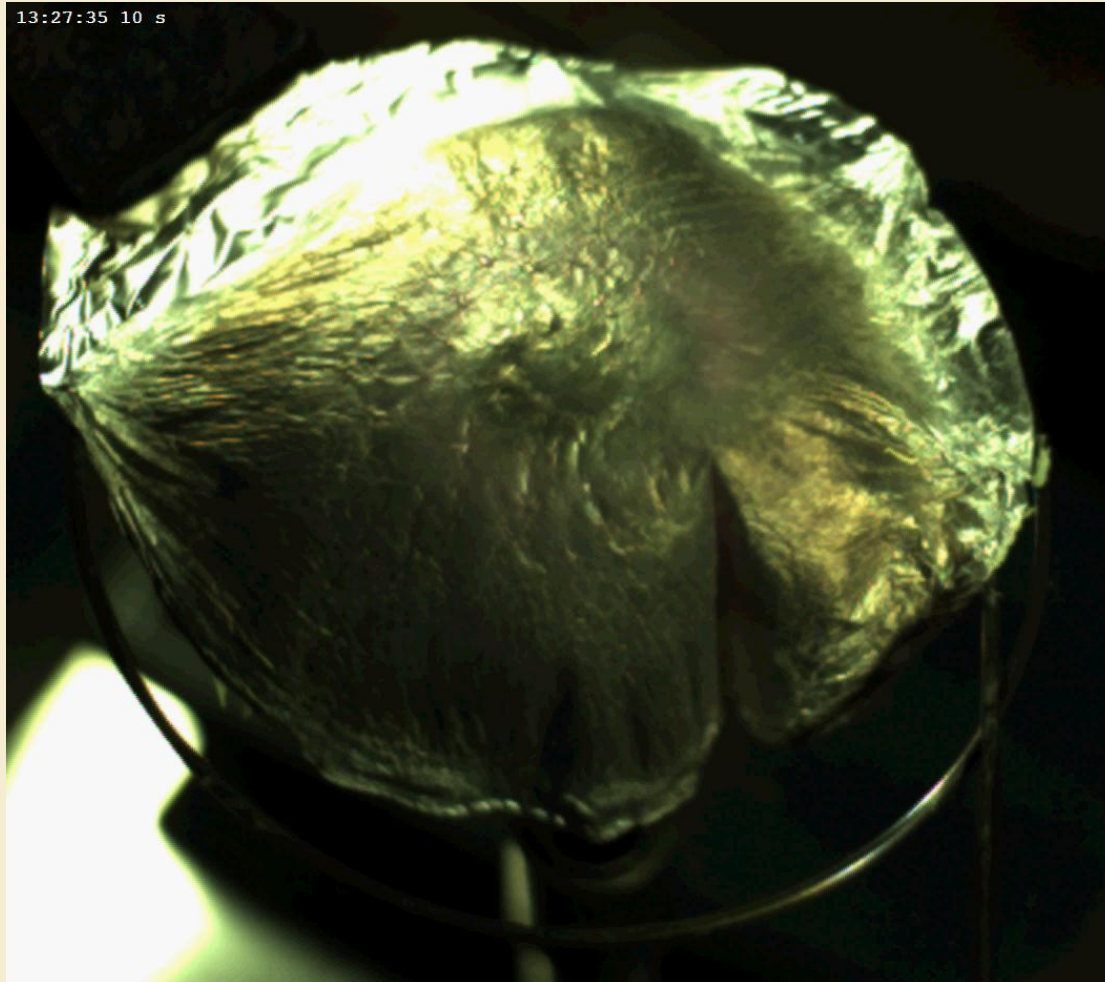
Was machen Aluminium und Silicium bei der Müllverbrennung?



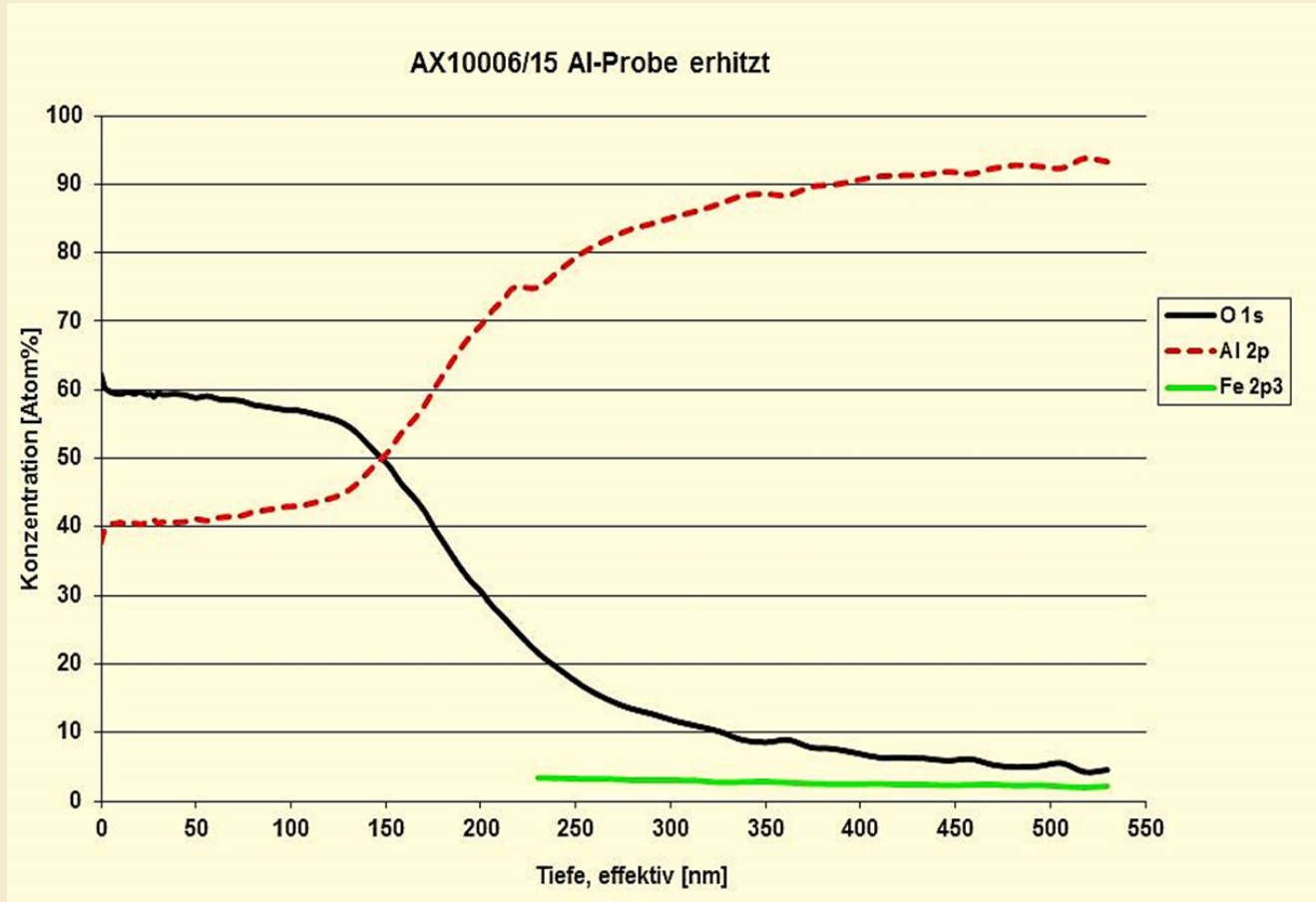
Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: Abschlussbericht zum Projekt Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung, Duisburg, 2012,

<https://www.itad.de/information/studien/20130110DEIKEHMVARecyclingpotentialAbschlussbericht.pdf>

Das Verhalten von Aluminium bei 900° C unter normaler Atmosphäre, aufgenommen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera



Was macht Aluminium bei der Müllverbrennung?



Deike, R.; Ulum, R.; Schubert, D.; Foppe, M.; Gellermann, C.; Lutz, S.: *The recycling potential of metals from MSW incineration residues*, Mining the Technosphere Potentials and Challenges, Drivers and Barriers, TU Vienna, 02.10.15,

Aluminium ist nach der Verbrennung immer noch Aluminium

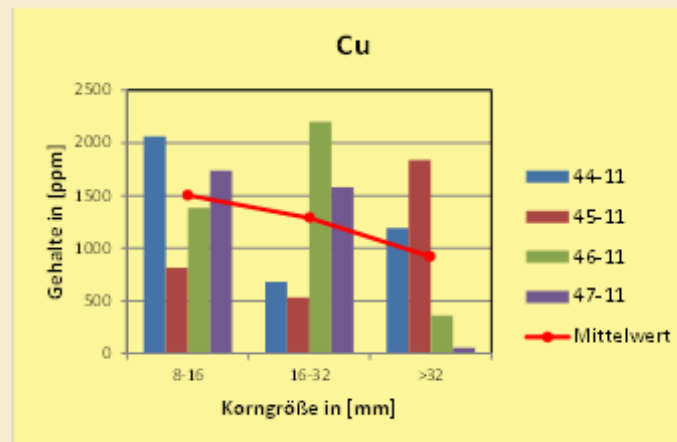
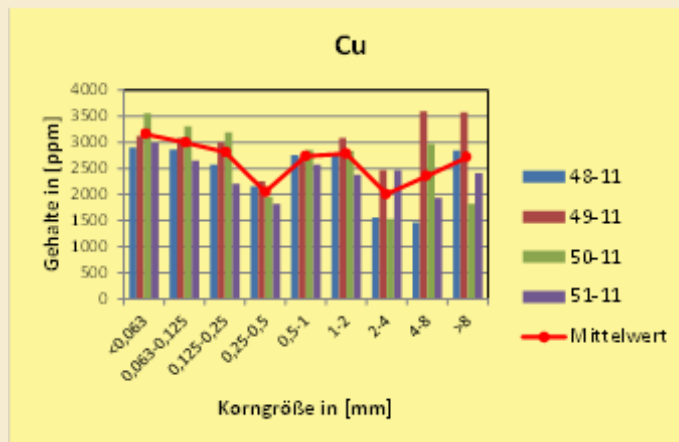
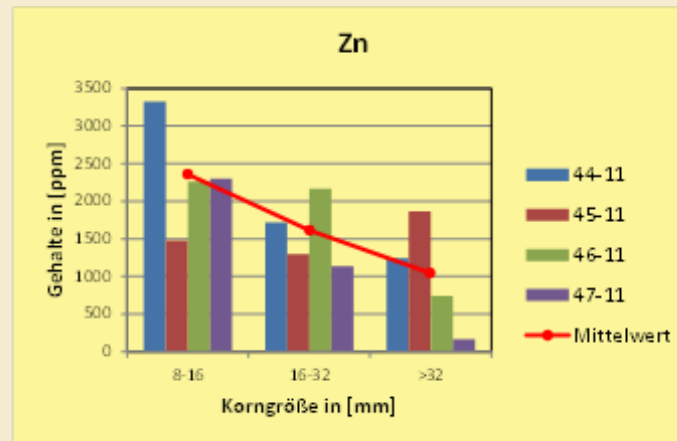
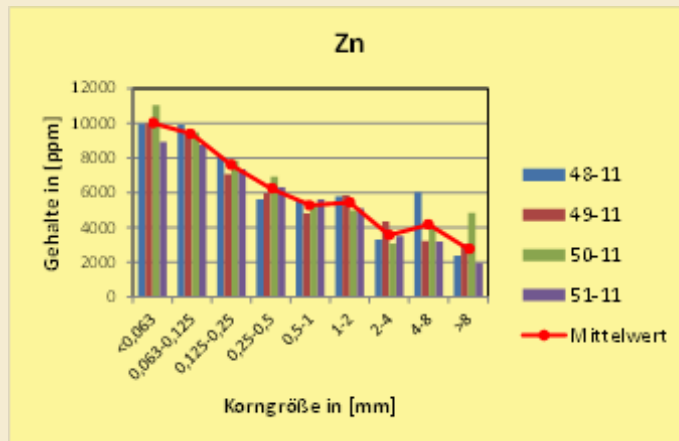


Holz auf rotglühender
Oberfläche
rund 850°C ;
Gasphase im
Flammenbereich
rund 1.000°C

	Gewicht	Gewicht bez. auf
	[g]	"aus Spülmasch."
		[%]
Fisch-Dose:		
Volle Dose	219	1152,6%
angegebene Einwaage	200	1052,6%
theoretisches "Metallgewicht"	19	100,0%
einfach entleert		
gut entleert	69	363,2%
sauber entleert	37	194,7%
"ausgeleckt"		
aus Spülmaschine, getrocknet	19	100,0%
nach Verbrennung	18	94,7%

4. Was macht Zink bei der Müllverbrennung?

Was machen Zink und Kupfer bei der Müllverbrennung?



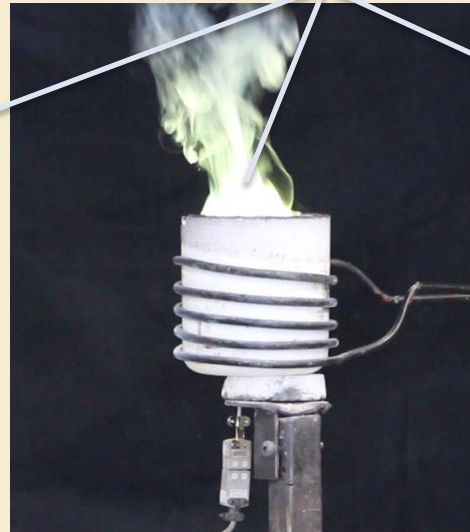
Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: Abschlussbericht zum Projekt Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung, Duisburg, 2012,

<https://www.itad.de/information/studien/20130110DEIKEHMVARecyclingpotentialAbschlussbericht.pdf>

Beim Einschmelzen von verzinkten Blechen verhält sich Zink wie folgt:

1. Zink verdampft bei 907°C : $\langle \text{Zn} \rangle \leftrightarrow \{ \text{Zn} \}$ (Gl.1)
2. In Gegenwart von Sauerstoff bildet sich.
 - Unter oxidierenden Bedingungen Zinkoxid (Schmelzpunkt: 1975°C) : $2\{ \text{Zn} \} + \{ \text{O}_2 \} \leftrightarrow 2 \langle \text{ZnO} \rangle$ (Gl. 2)
 - Unter reduzierenden Bedingungen flüssiges Zink (Schmelzpunkt: 420°C) : $\{ \text{Zn} \} \leftrightarrow \langle \text{Zn} \rangle$ (Gl. 3)

Zinkoxid (Schmelzpunkt: 1975°C)

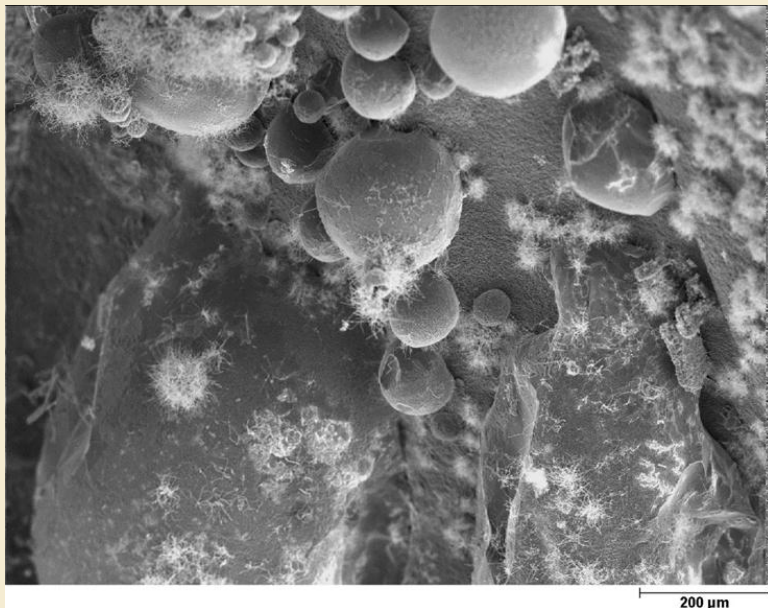


Was macht Zink bei der Müllverbrennung?

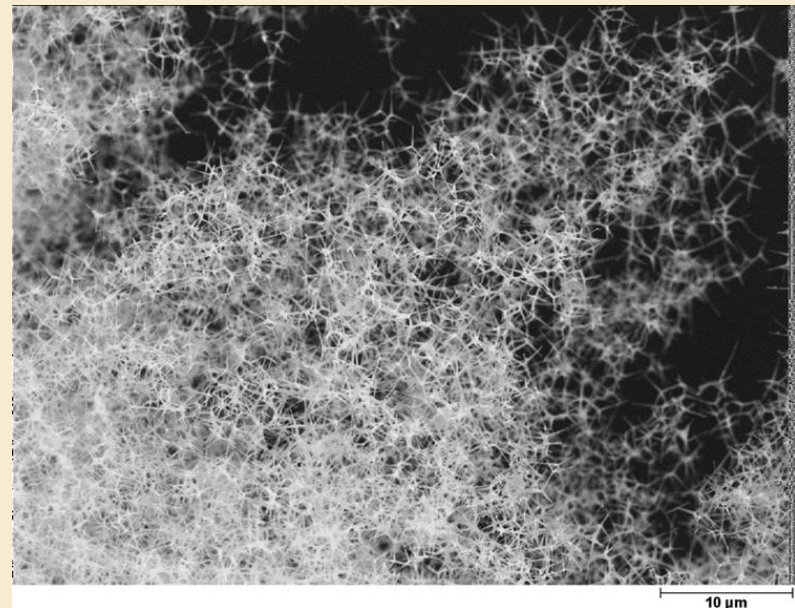


Was macht Zink bei der Müllverbrennung?

Flüssiges Zink (Schmelzpunkt: 420° C)



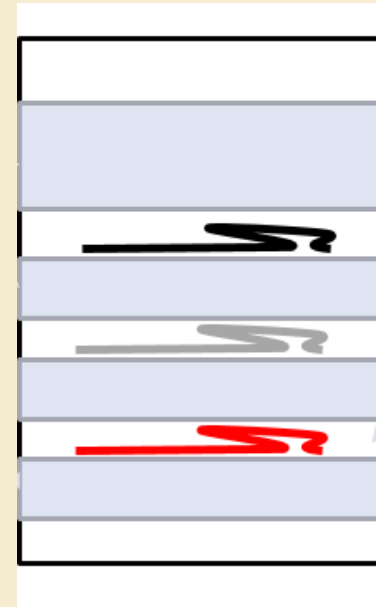
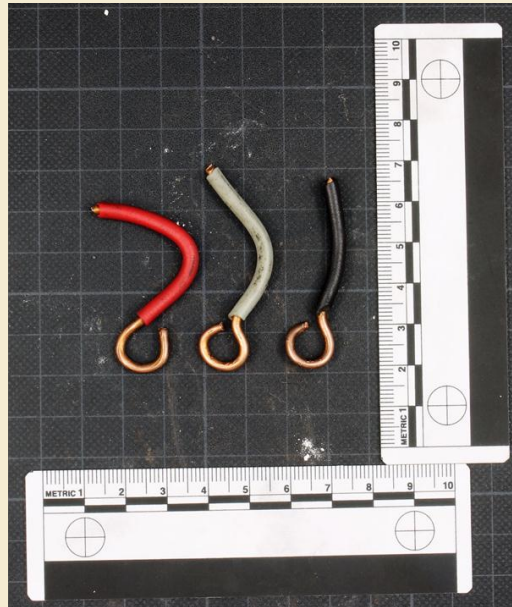
Zinkoxid (Schmelzpunkt: 1975° C)



5. Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?

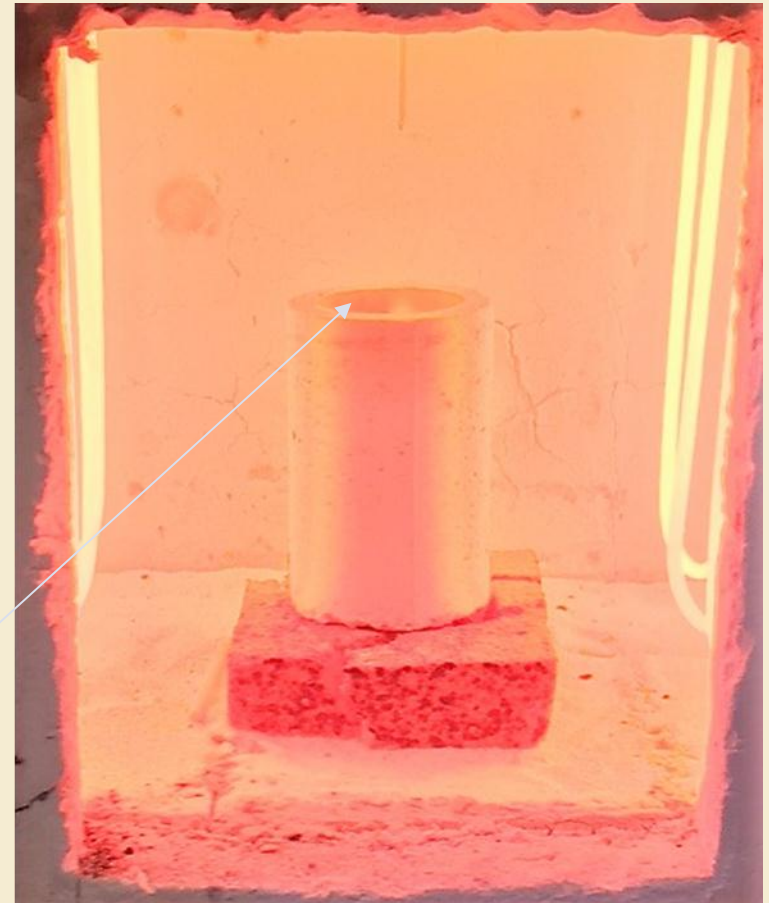


Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



Testschlacke: MVA Schlacke ungesiebt, nicht klassiert,
Prüfkörper: 3x Kupferdraht, einseitig abisoliert,
Drahtstärke ohne Isolation 2,2mm \pm 0,02mm, Drahtstärke mit Isolation 3,90mm \pm 0,04mm

Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



Kammerofen: 1000°C
Versuchszeit: 1h

Leichte Flammenentwicklung zu Beginn

Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



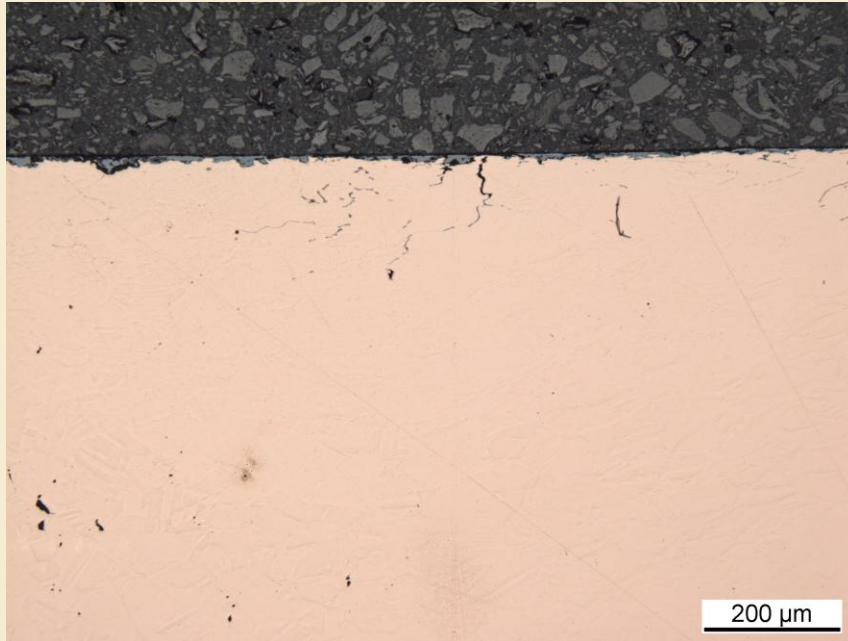
Kupferoberfläche mit Isolation nach dem Ofen



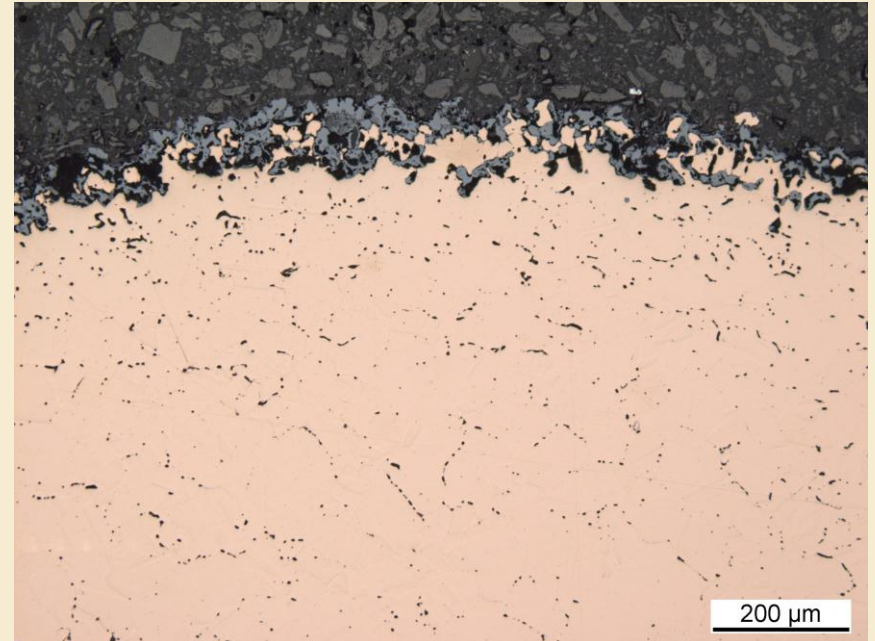
Kupferoberfläche ohne Isolation nach dem Ofen



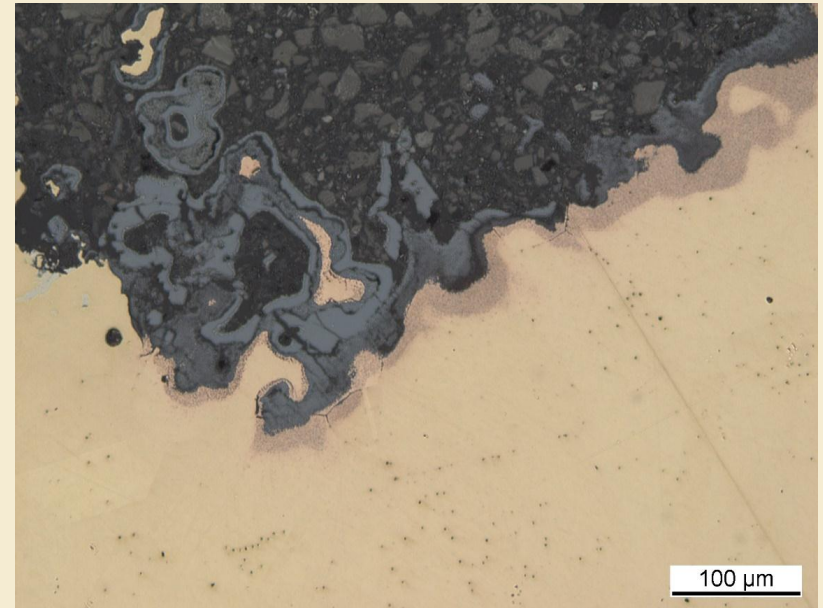
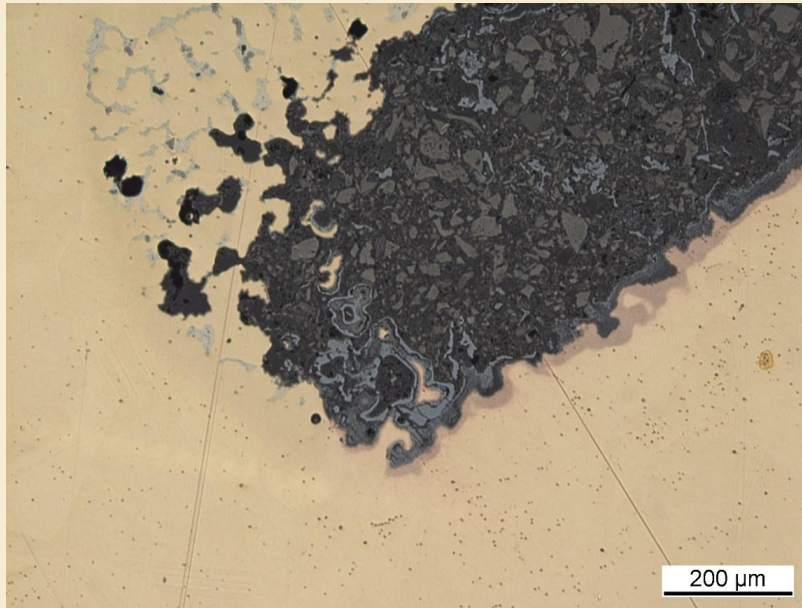
Kupferoberfläche mit Isolation nach dem Ofen



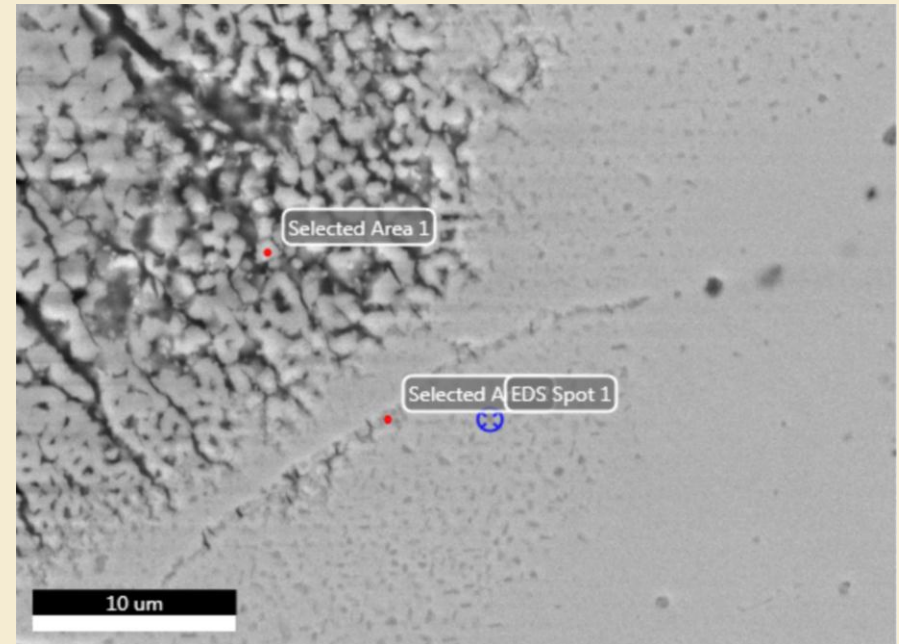
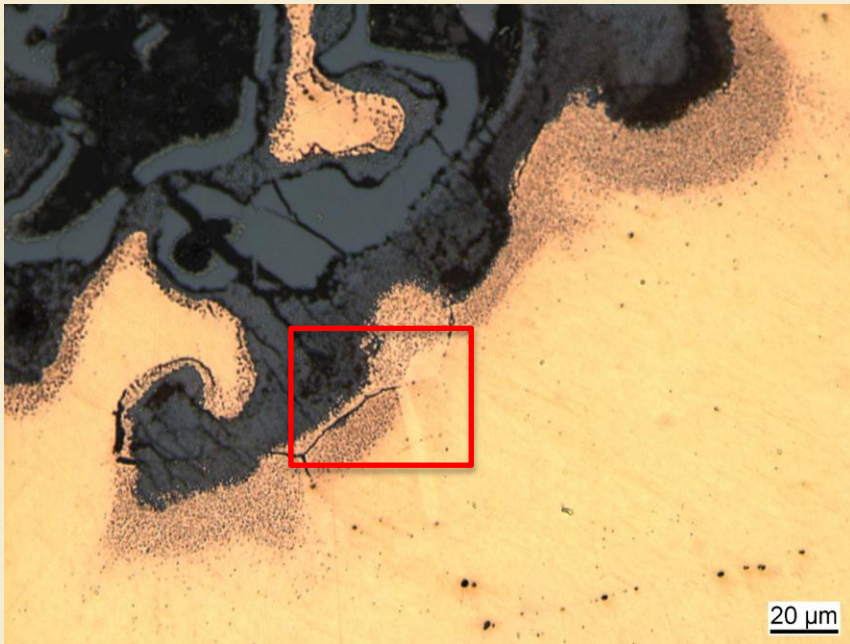
Kupferoberfläche ohne Isolation nach dem Ofen



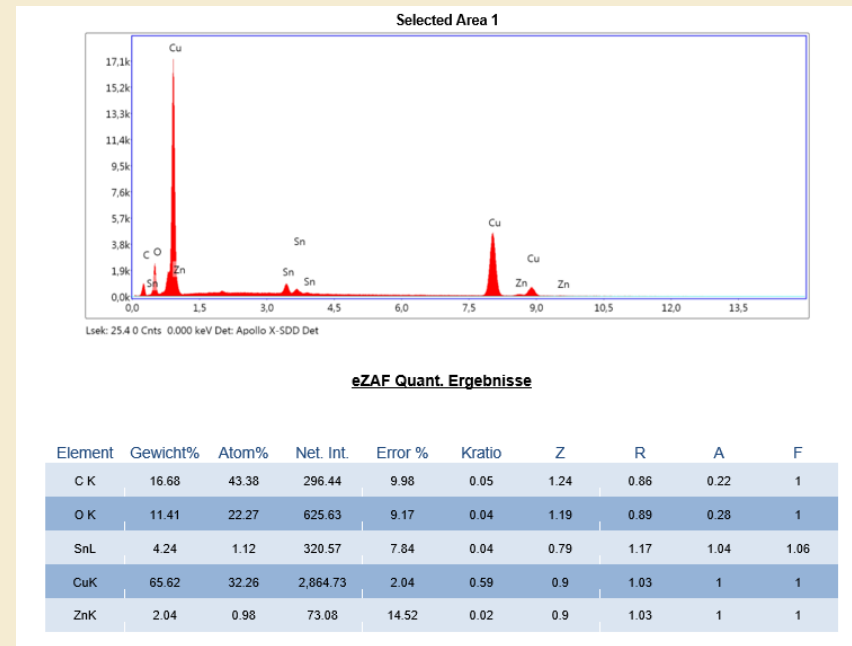
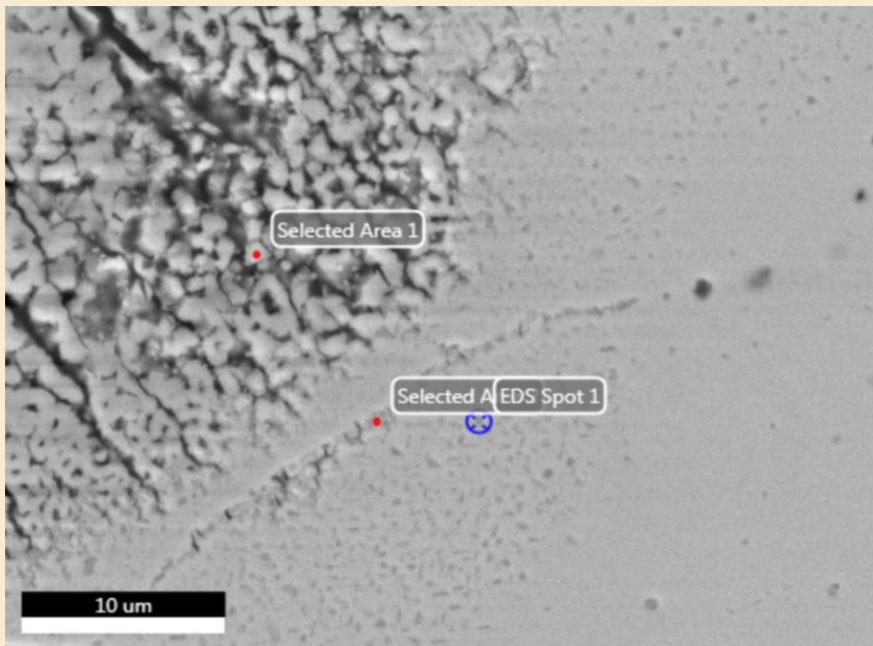
Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



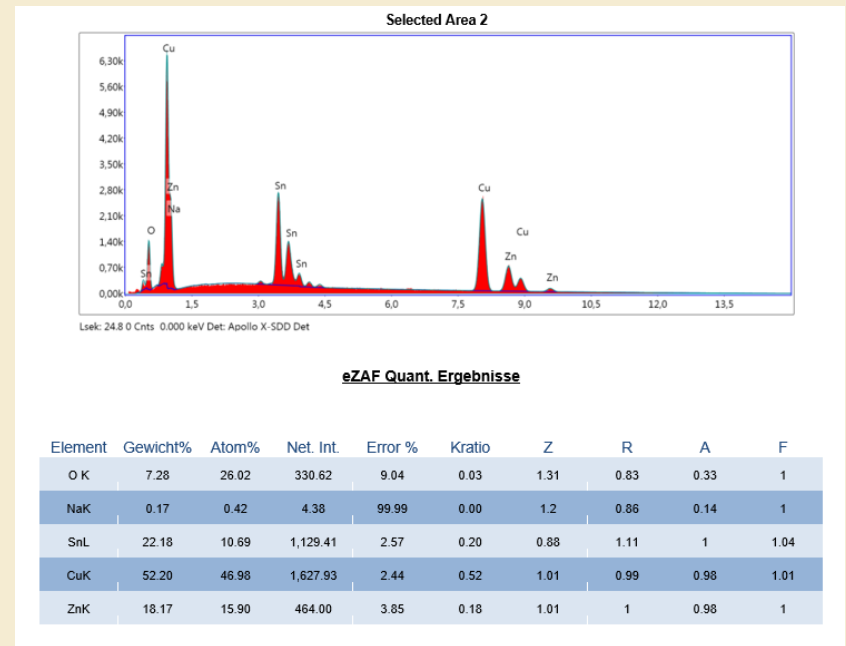
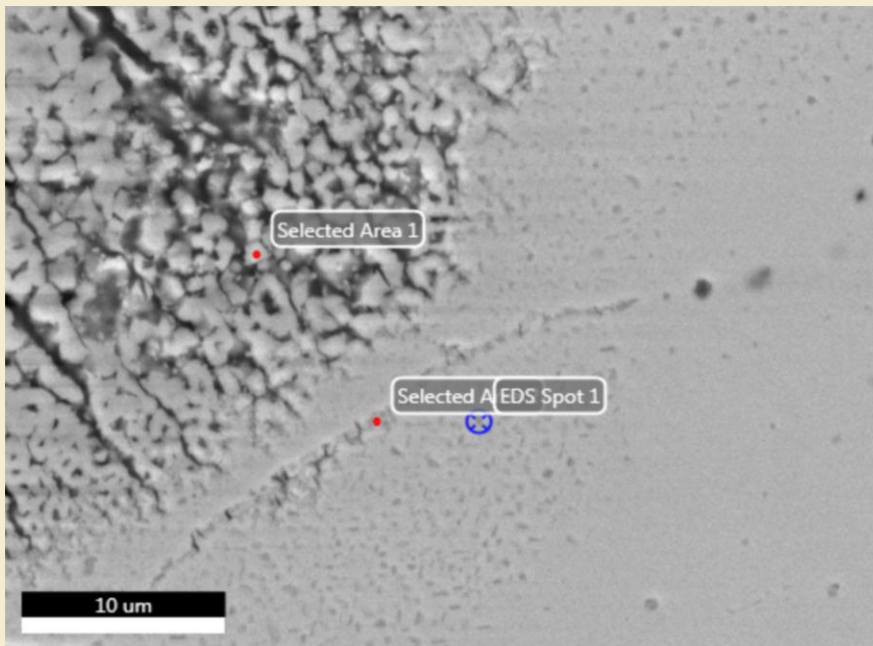
Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: *Abschlussbericht zum Projekt Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung*, Duisburg, 2012,

<https://www.itad.de/information/studien/20130110DEIKEHMVARecyclingpotentialAbschlussbericht.pdf>

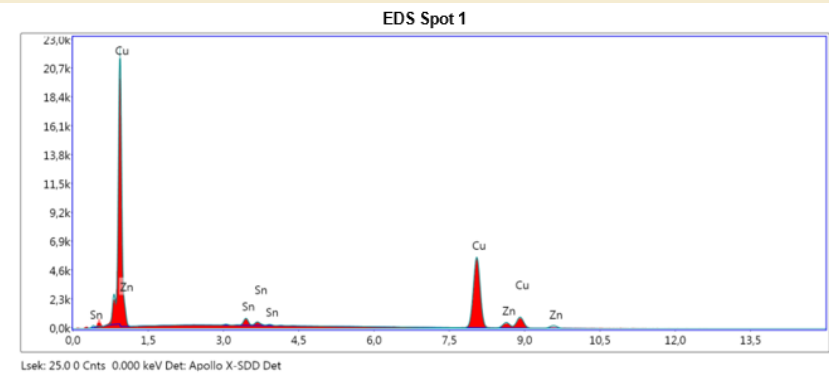
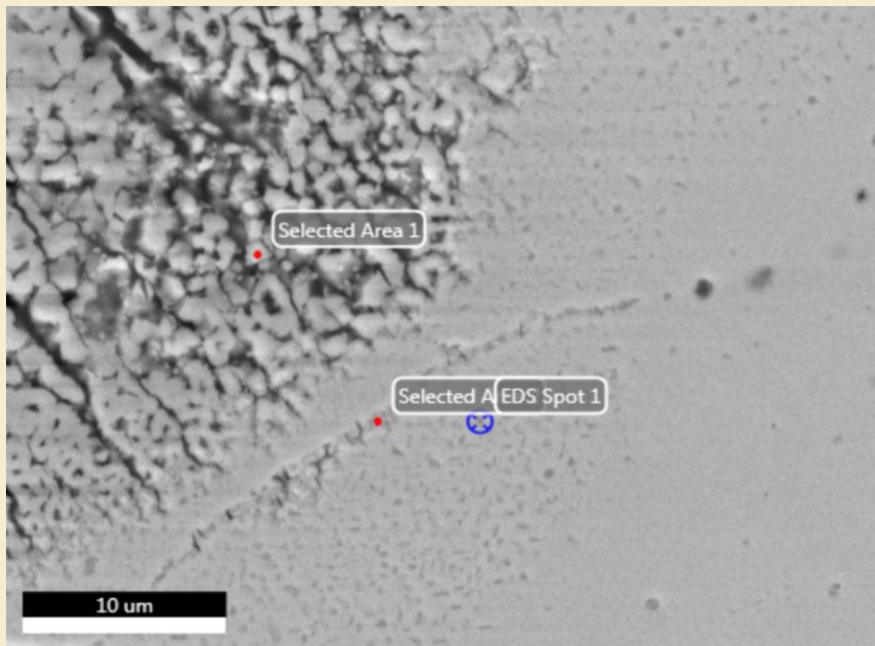
Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: *Abschlussbericht zum Projekt Recyclingpotenziale bei Rückständen aus der Müllverbrennung*, Duisburg, 2012,

<https://www.itad.de/information/studien/20130110DEIKEHMVARecyclingpotentialAbschlussbericht.pdf>

Was macht Kupfer bei der Müllverbrennung?



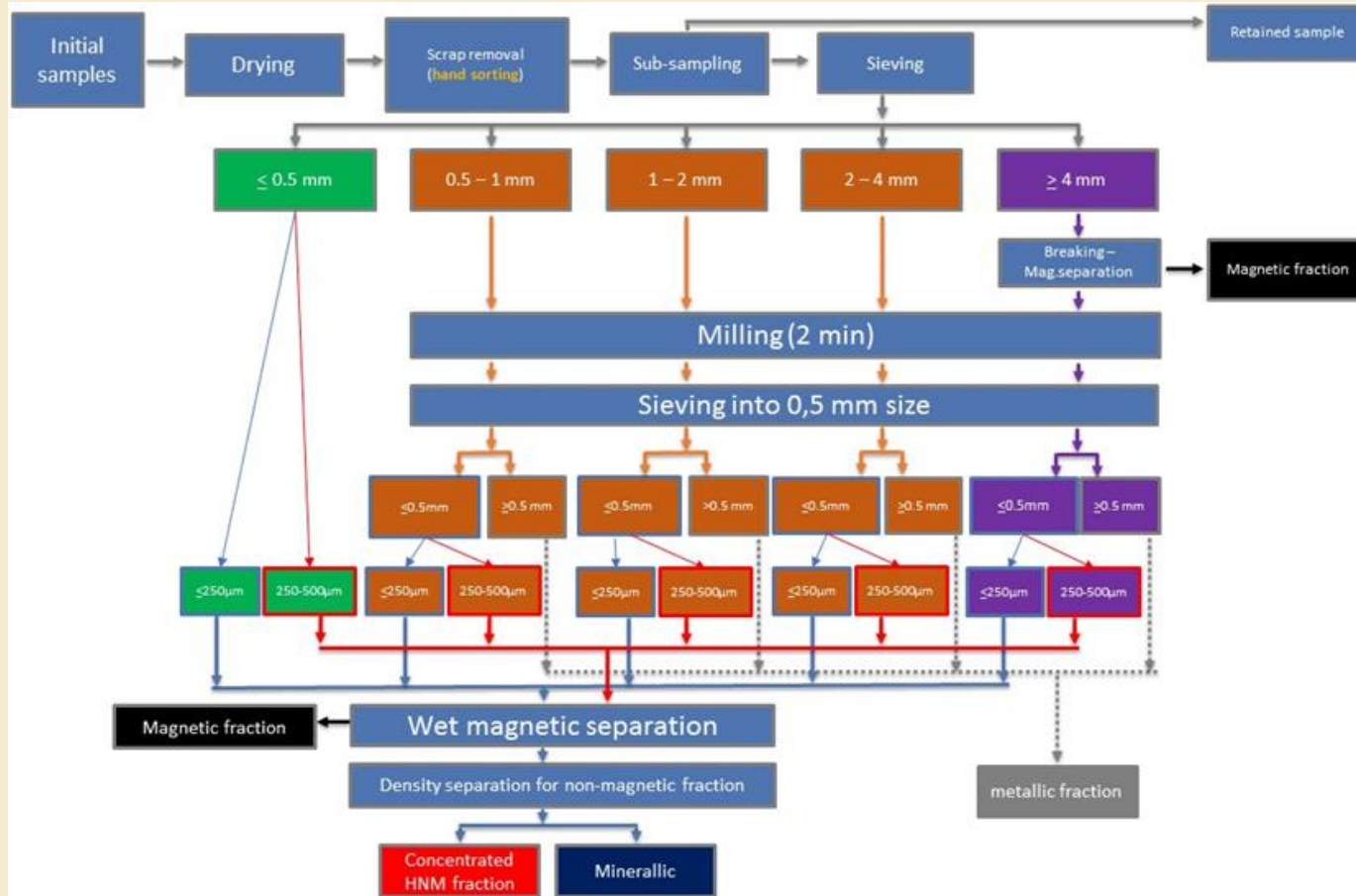
eZAF Quant. Ergebnisse

Element	Gewicht%	Atom%	Net. Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
CuL	82.98	86.88	5,848.72	2.76	0.77	1.01	0.99	0.92	1
ZnL	7.83	7.96	255.98	9.28	0.04	1.01	1	0.44	1
SnL	9.19	5.15	253.46	10.63	0.08	0.85	1.09	1	1.01

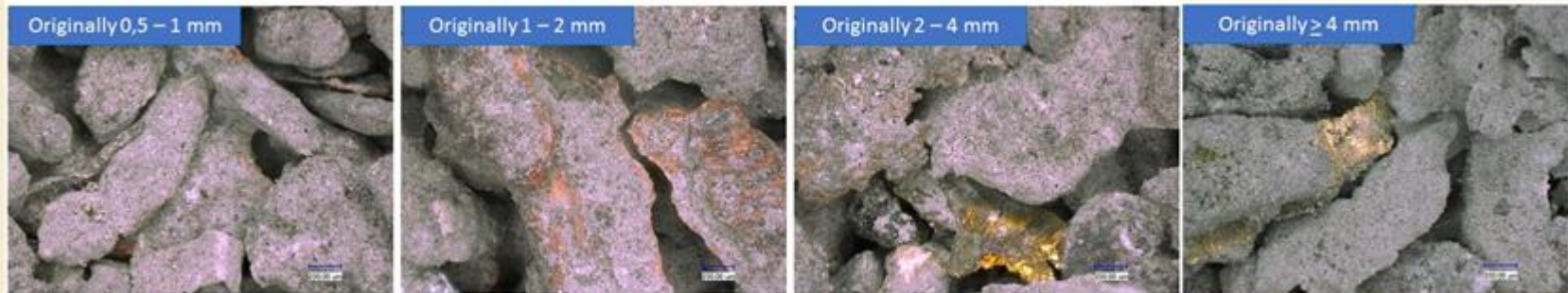
6. Charakteristische Partikel in feiner MV-Schlacke



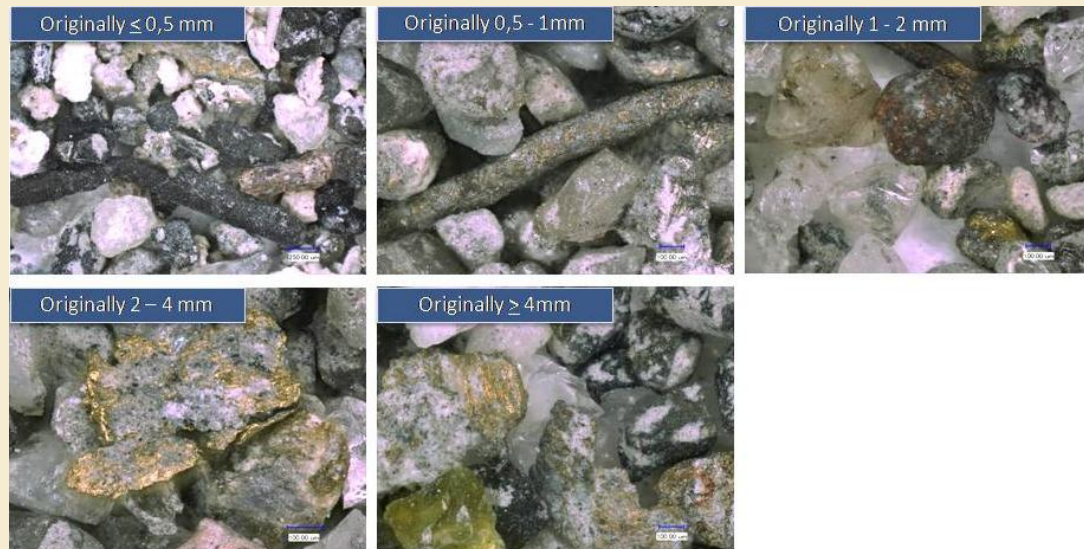
Verfahrensprinzip zur Abtrennung von Metallen aus der Feinfraktion der MV-Schlacke



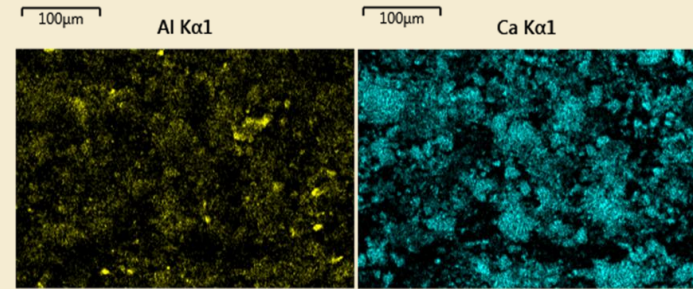
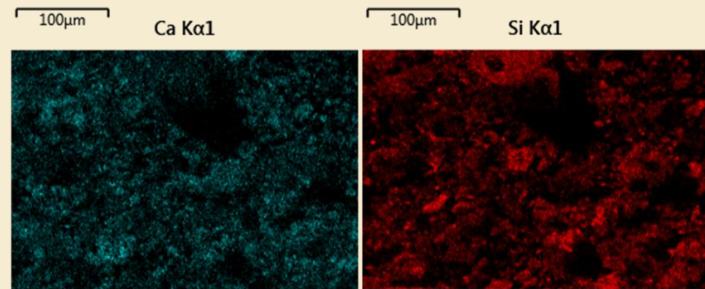
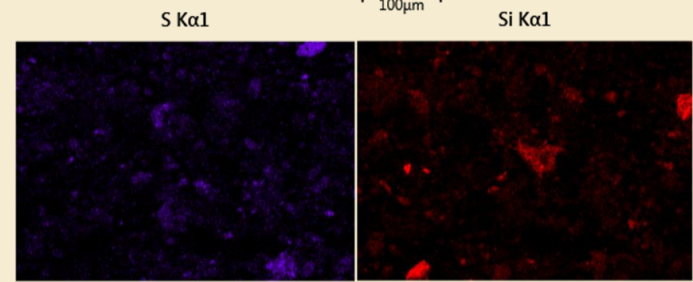
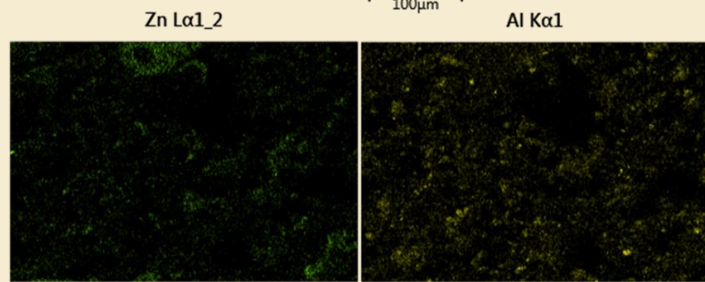
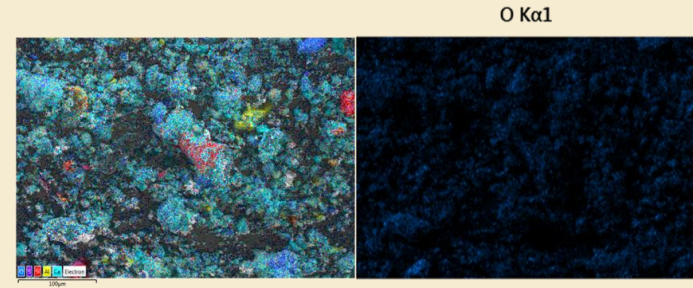
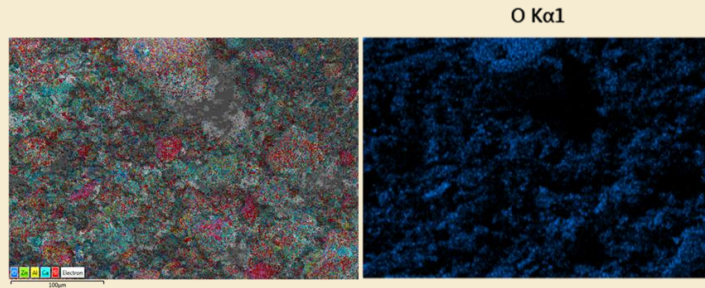
Metallic Fraction



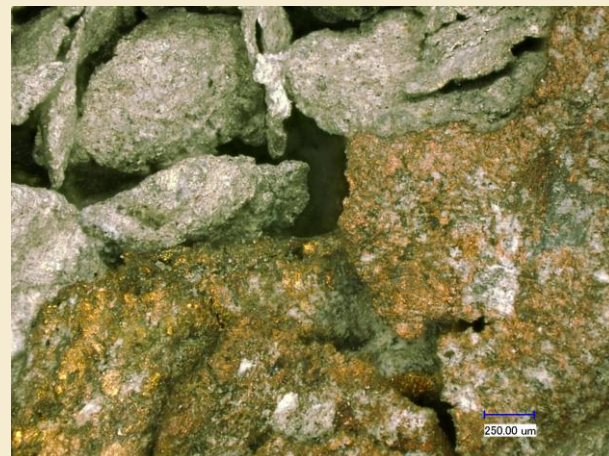
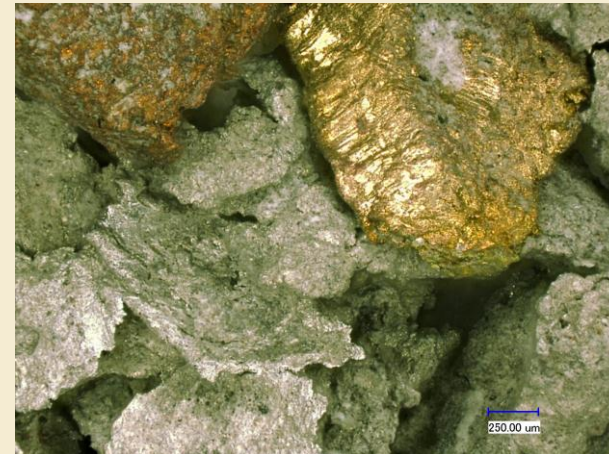
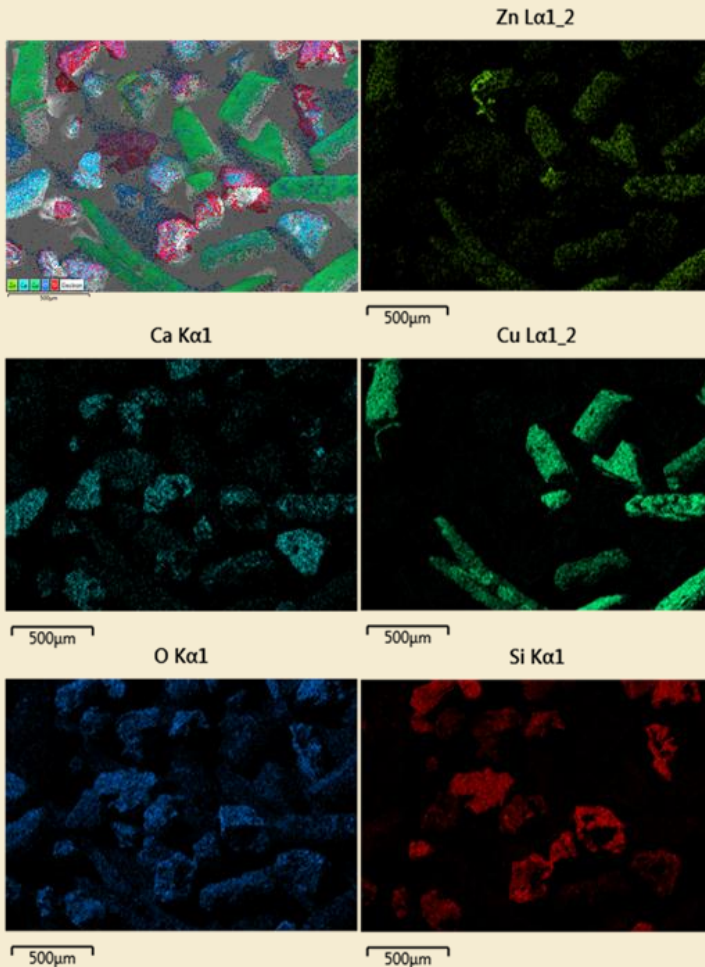
Heavy non-magnetic fraction (0,25 -0,5 mm)



Elementmapping verschiedener Partikel



Zink und Kupfer in metallischer Form



7. Metallographische Analyse metallischer Partikel

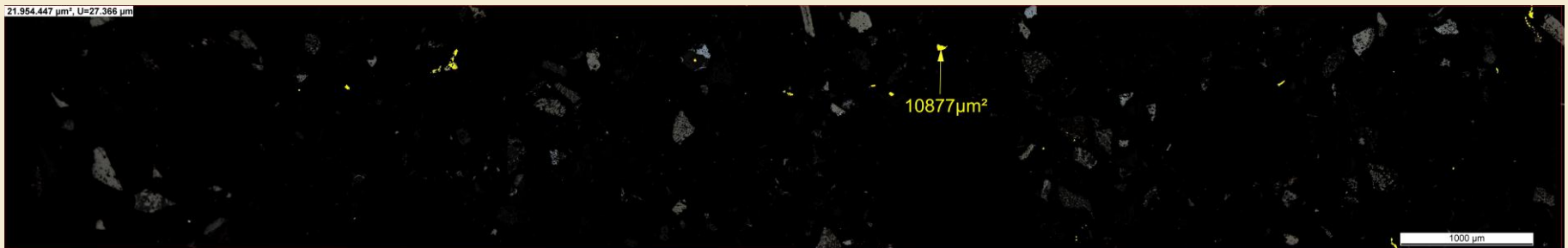
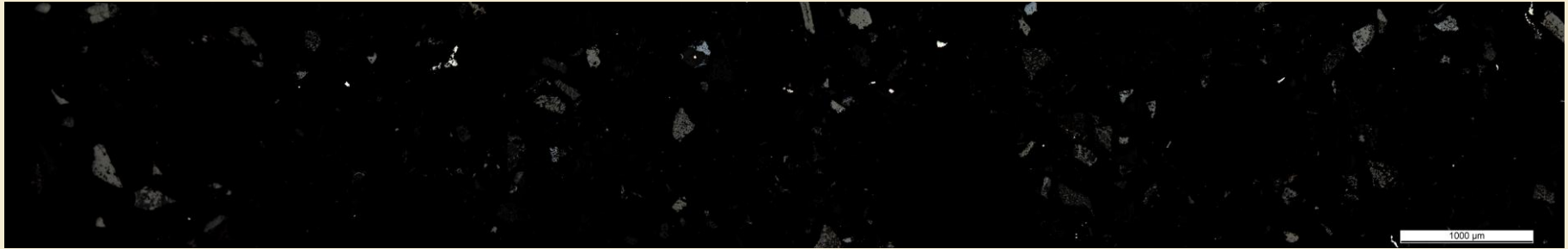


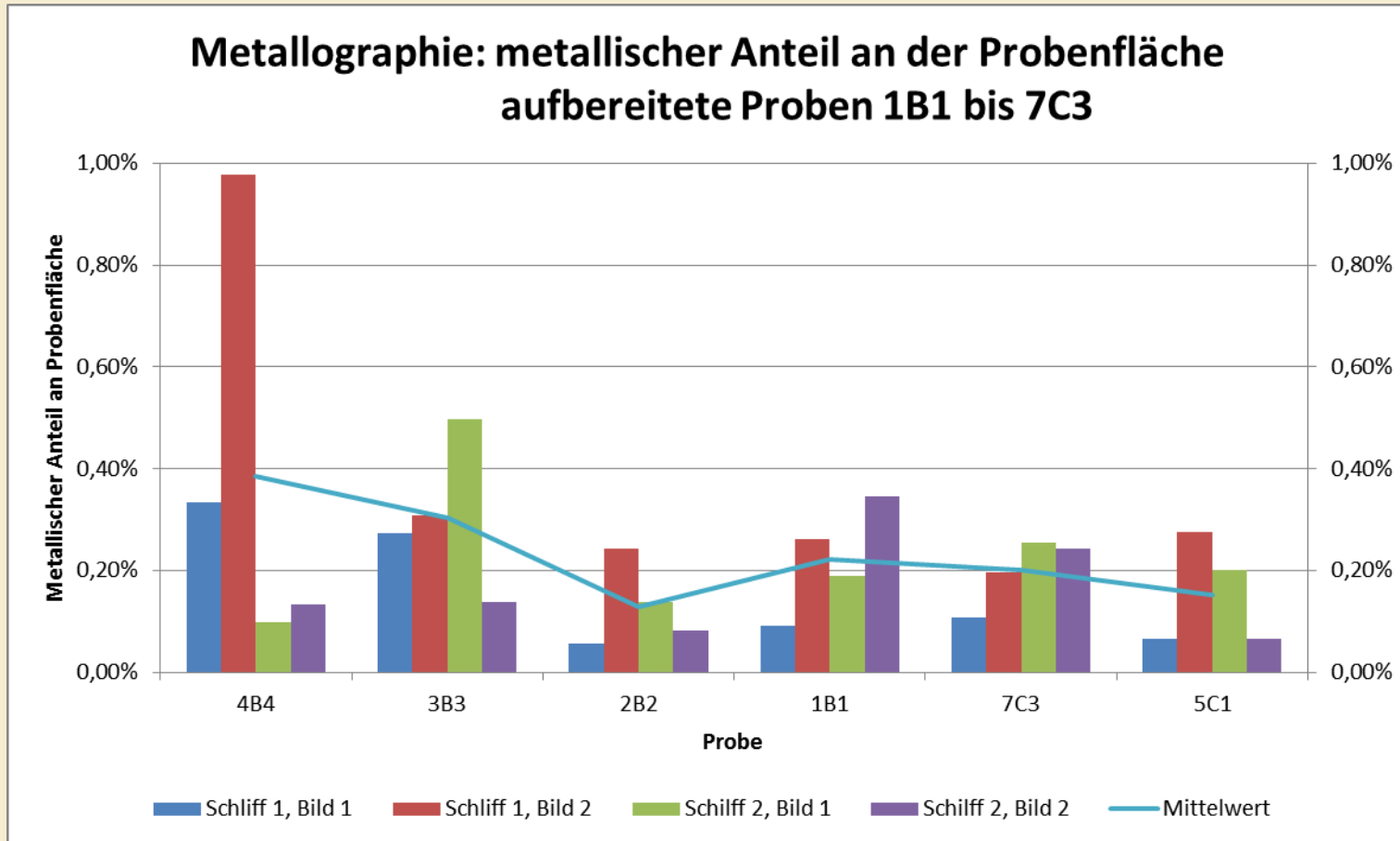
- Die Proben 1B1 bis 4B4, sowie 5C1 und 7C3 wurden je zweifach in Epoxydharz eingebettet
- Alle Proben lagen mechanisch aufbereitet und analysefein gemahlen ($<90\mu\text{m}$) vor.
- Die Präparation erfolgte wasserfrei.
- Von jedem Schliff wurden zwei rechtwinklig zueinander stehende, zusammengesetzte Bilder aufgenommen (jeweils 20 Einzelbilder, die jeweils den gesamten Durchmesser abbilden).



- Von jedem zusammengesetzten Bild wurde mittels des Grauschwellwertes die als metallisch identifizierte Fläche, sowie die gesamte Probenfläche bestimmt.

Ausschnitt aus Schliff 1B1_1 mit Binarisierung





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit