



Recyclingpotenziale von Metallen bei Rückständen aus der Abfallverbrennung

Berliner Schlackenkonferenz

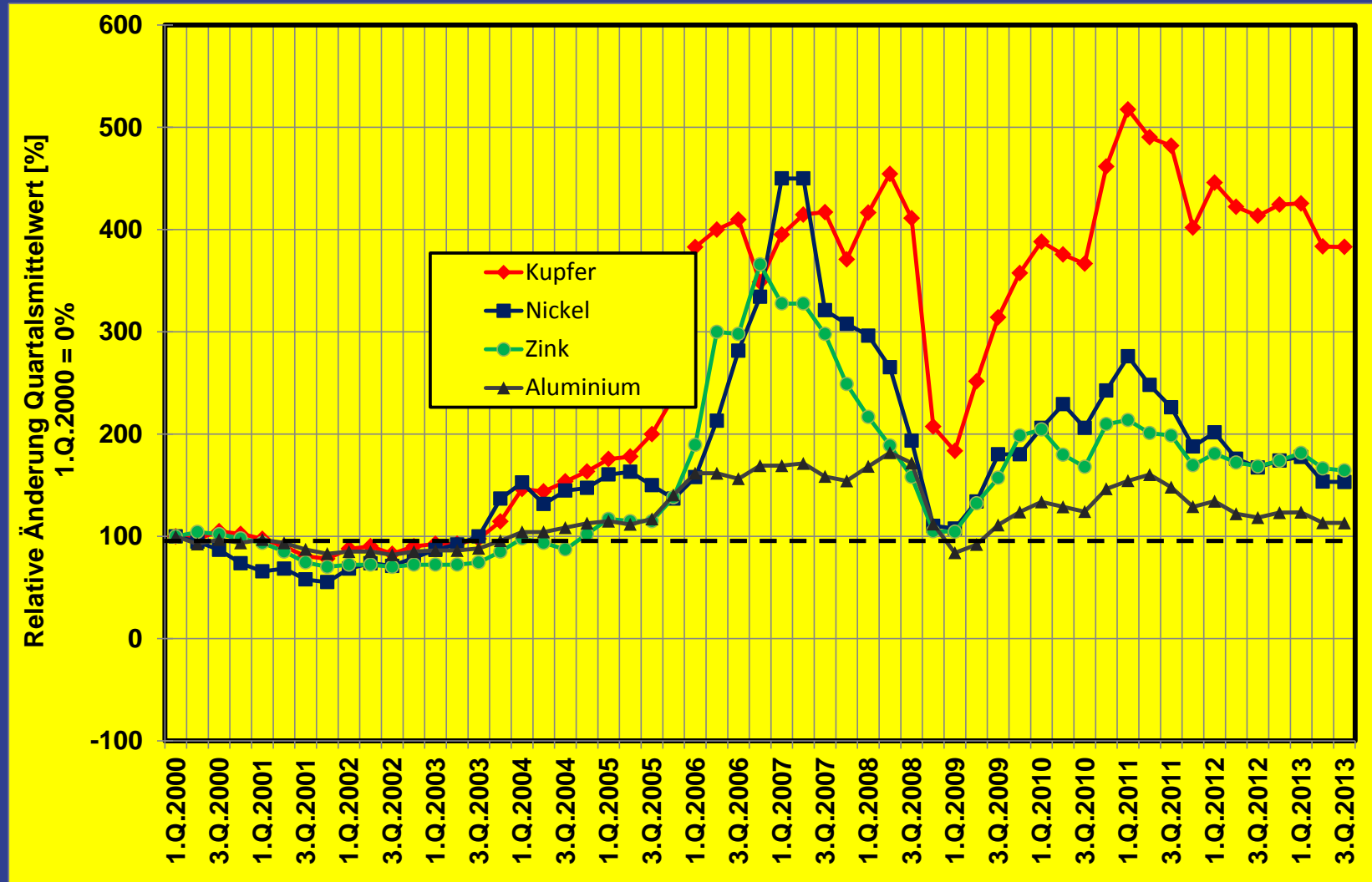
Berlin, 23.09.13

R. Deike, D. Ebert, D.Schubert, R. Ulum, Institut für Metallurgie und Umformtechnik, Universität Duisburg-Essen
R.Warnecke, Gemeinschaftskraftwerk Schweinfurt GmbH
M. Vogell, C.C. Reststoff-Aufbereitung GmbH + Co. KG, Würzburg

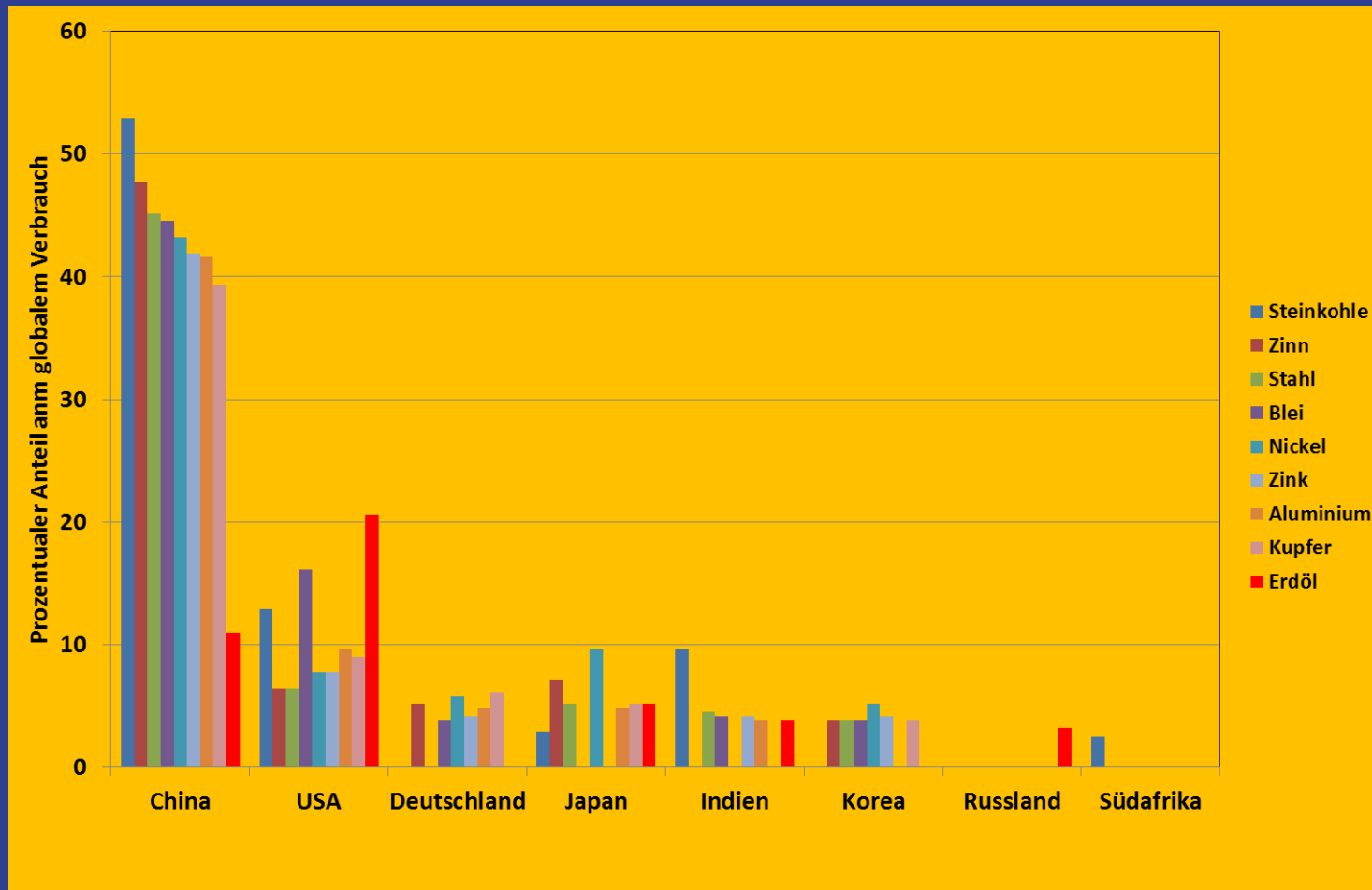
Inhalt

1. Wann sind Recyclingprozesse sinnvoll?
2. Metalle in MV Schlacken
3. Metallrecycling im Rahmen von konventionellen Aufbereitungsprozessen von MV-Schlacke
4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke
5. Mögliche Recyclingverfahren
6. Zusammenfassung

Preisveränderungen bei diversen Metallen (1.Q. 2000 = 100%)

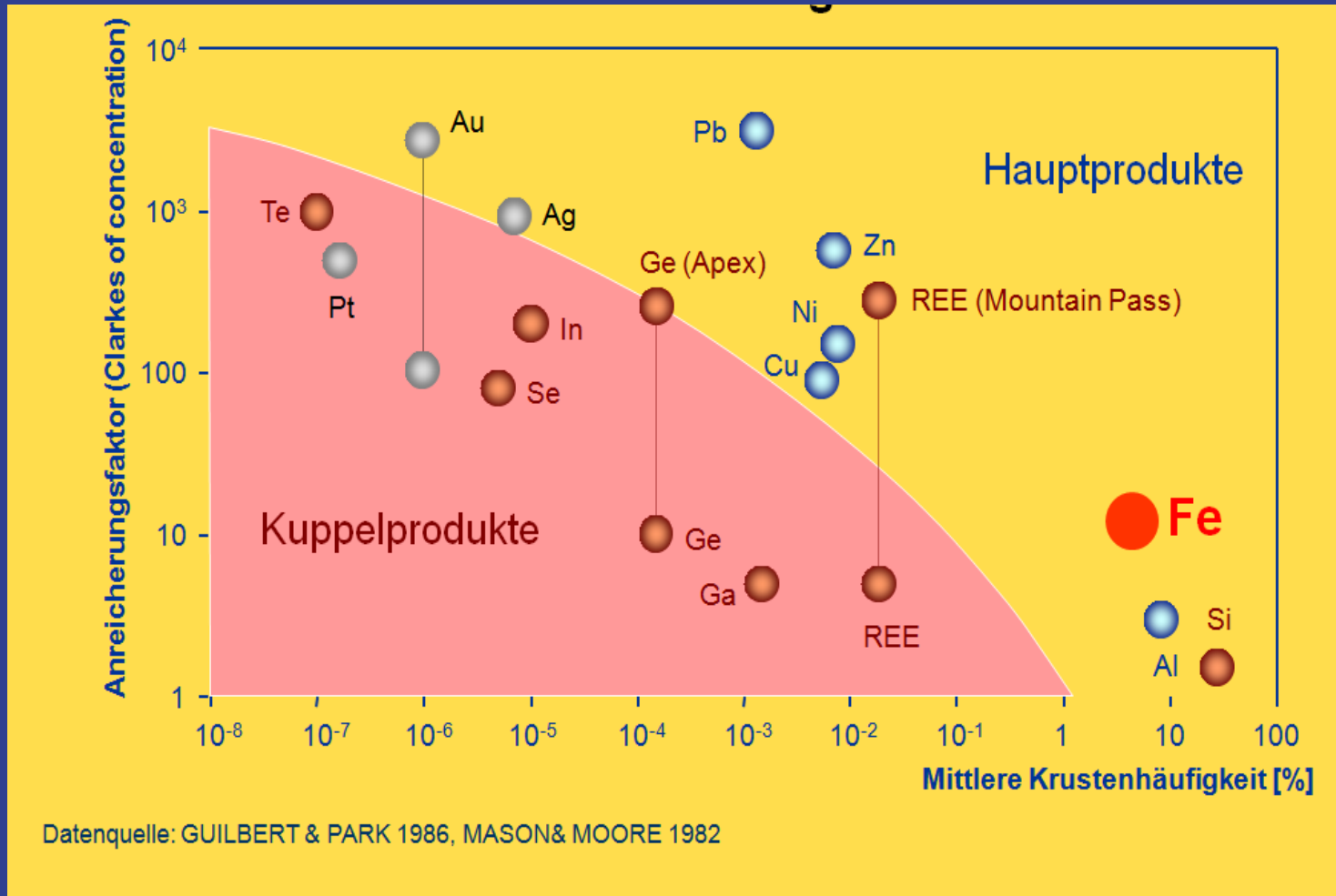


Die 5 wichtigsten Nationen bei der globalen Nachfrage nach Rohstoffen im Jahr 2011



Nach Daten der DERA: Deutschland Rohstoffsituation 2011, www.bgr.bund.de

Elementgehalte von abbauwürdigen Erzen in der Erdkruste



Stribny, B.; Wagner, M.: Geowissenschaftliche Aspekte der Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Stahlindustrie, Stahltag, Düsseldorf 10./11.11.2005

Durchschnittliche Müllzusammensetzung im Einzugsbereich des Gemeinschaftskraftwerks Schweinfurt GmbH

	Fraktionen:	Massenanteile [Mas.-% f.]
1	Feinfraktion (bis 8 mm)	10,84
2	Mittelfraktion (8 - 40 mm)	16,31
3	Organik	25,20
4	Papier, Pappe, Kartonagen	4,93
5	Hygieneprodukte	13,21
6	Kunststoffe	7,03
7	Textilien	4,13
8	Verbunde	6,41
9	Holz	0,75
10	Sonstige Abfallarten	1,94
11	Problemabfall	0,22
12	Spermüll	0,00
13	Glas	4,04
14	Metalle	2,34
15	Inertes	2,64
	Gesamt	100,00

Warnecke, R.; Deike, R.; Ebert, D.; Vogell, M.: 17. Internationaler Erfahrungsaustausch für Betreiber thermischer Abfallbehandlungsanlagen „Dreiländertreffen“, Linz, 14.-16.10.12

Nichtmetallische Bestandteile die bei Sortieruntersuchungen als Metall mit erfasst werden



Quelle: R.Warnecke

Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R, Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

Verbrennung einer Fischdose aus Aluminium



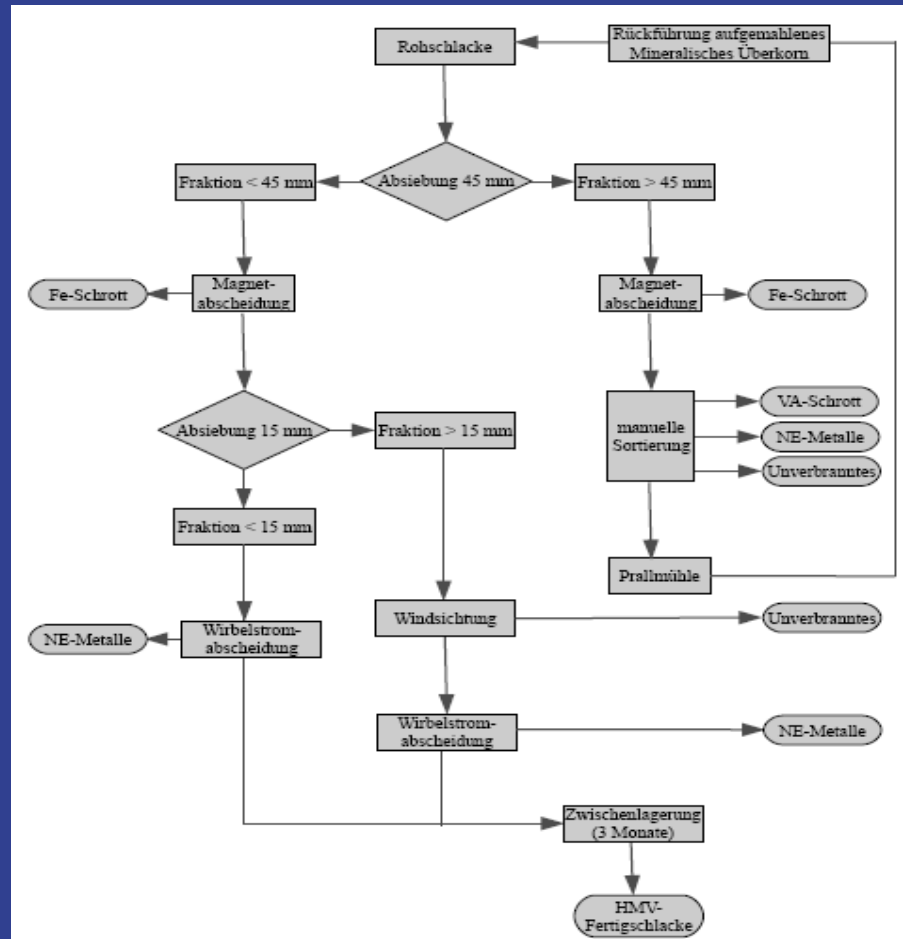
Holz auf rotglühender
Oberfläche
rund 850 °C;
Gasphase im Flammenbereich
rund 1.000 °C

	Gewicht [g]	Gewicht bez. auf "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%

Quelle: R.Warnecke

Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R, Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

Allgemeine Darstellung eines konventionellen Aufbereitungsprozesses für HMV-Schlacken.



Warnecke, R.; Deike, R.; Ebert, D.; Vogell, M.: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, DECHEMA, Frankfurt, 20.02.13

3. Metallrecycling im Rahmen von konventionellen Aufbereitungsprozessen von MV-Schlacke

Unterschiedliche Schrotte aus MV-Anlagen die mit konventionellen Aufbereitungsanlagen gewonnen und in den Wertstoffkreislauf zurückgeführt werden

Grobschrott



Feinschrott



Dosenschrott



NE-Mischfraktion



NE-Mischfraktion

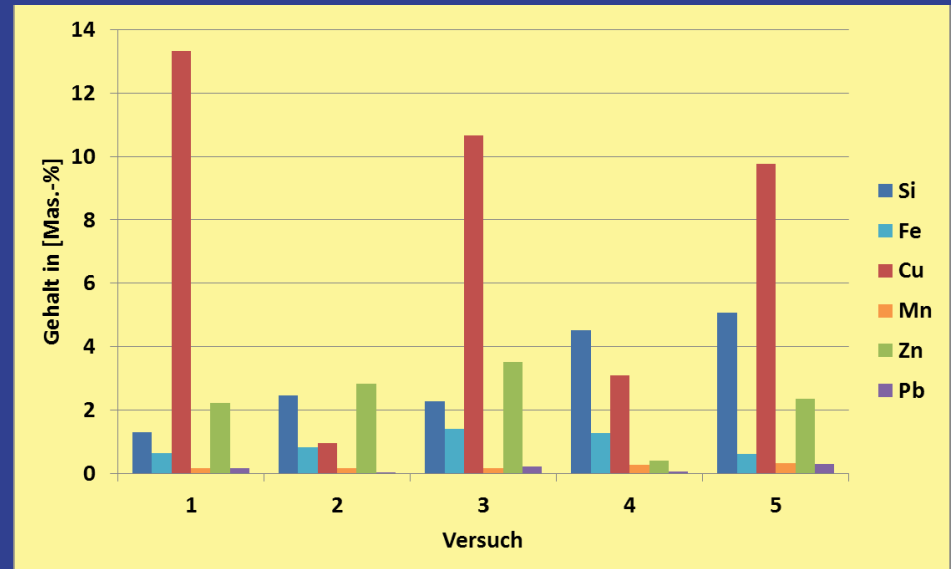
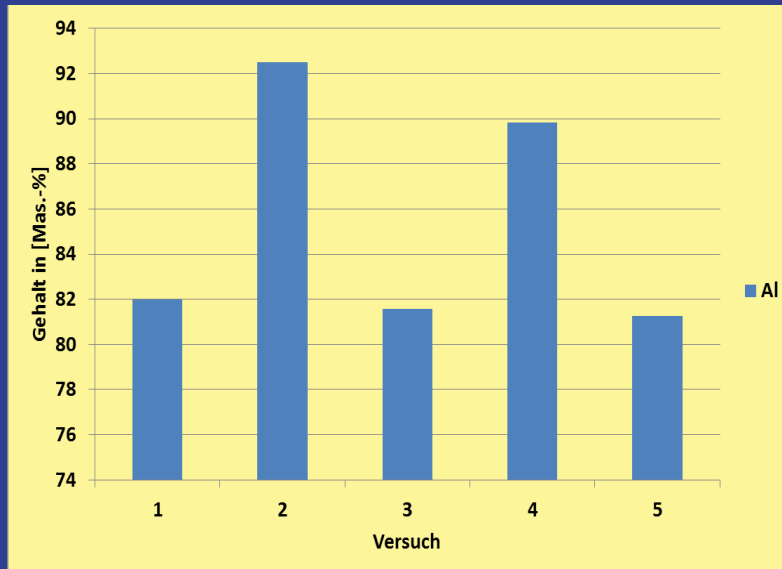


Elektromotoren



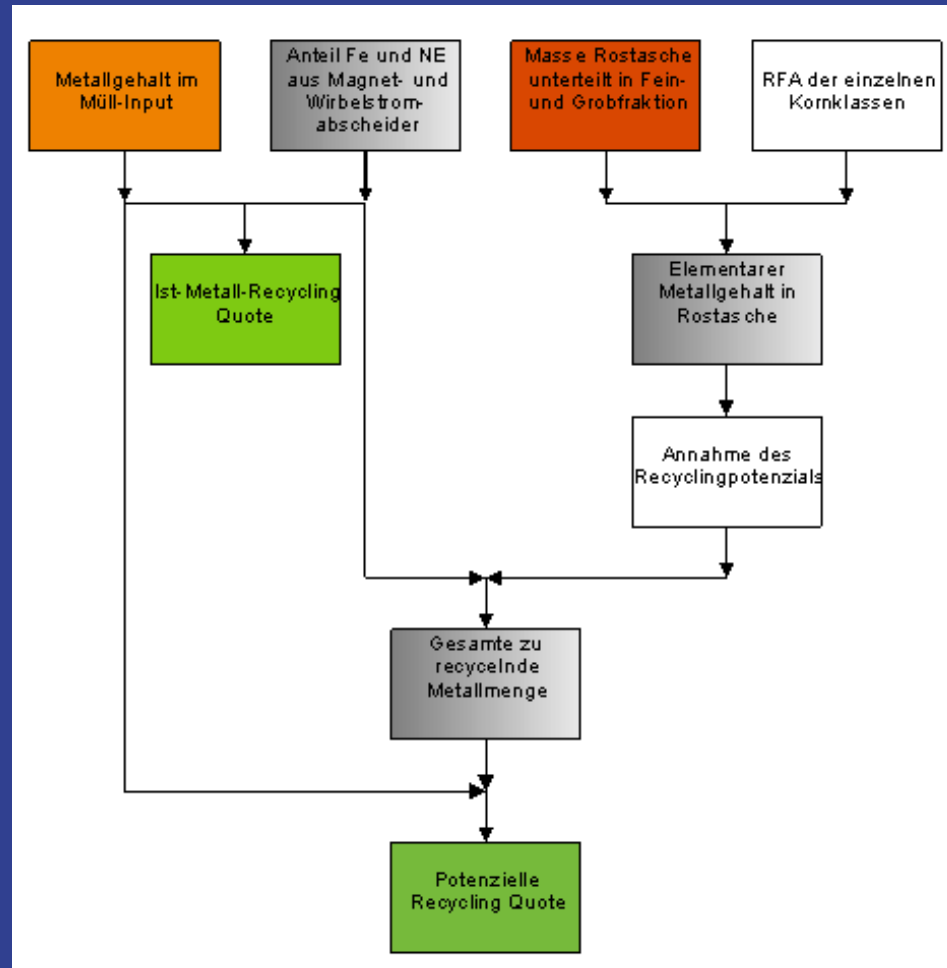
Warnecke, R.; Deike, R.; Ebert, D.; Vogell, M.: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, DECHEMA, Frankfurt, 20.02.13

Analysen diverser NE-Mischfraktionen, die im Verlauf einer konventionellen Schlackenaufbereitung über eine Wirbelstromtrennung abgeschieden wurden.



Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

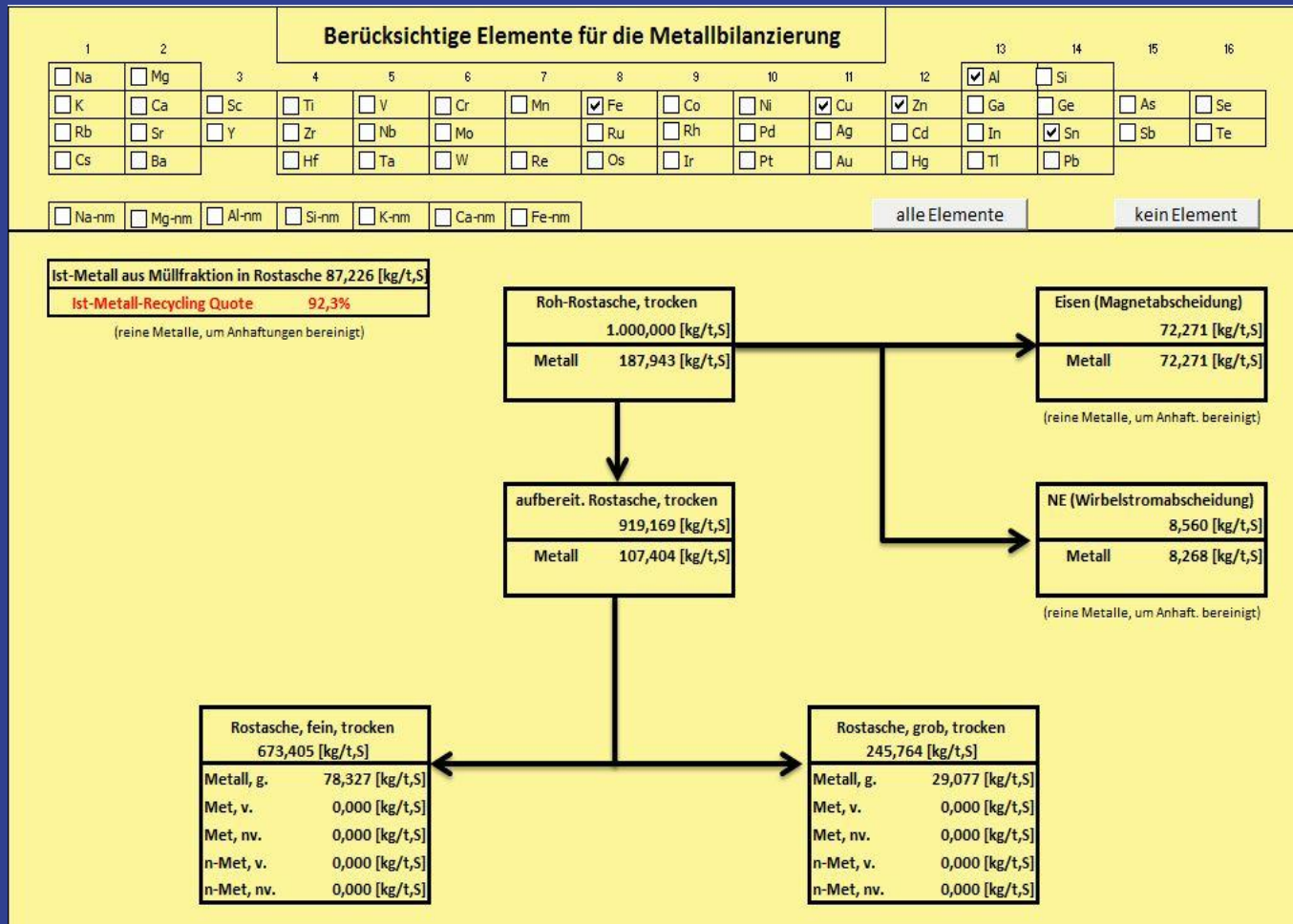
Vorgehensweise zur Berechnung von potenziellen Recyclingquoten



Warnecke, R.; Deike, R.; Ebert, D.; Vogell, M.: Jahrestreffen der ProcessNet-Fachgruppe Abfallbehandlung und Wertstoffrückgewinnung, DECHEMA, Frankfurt, 20.02.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

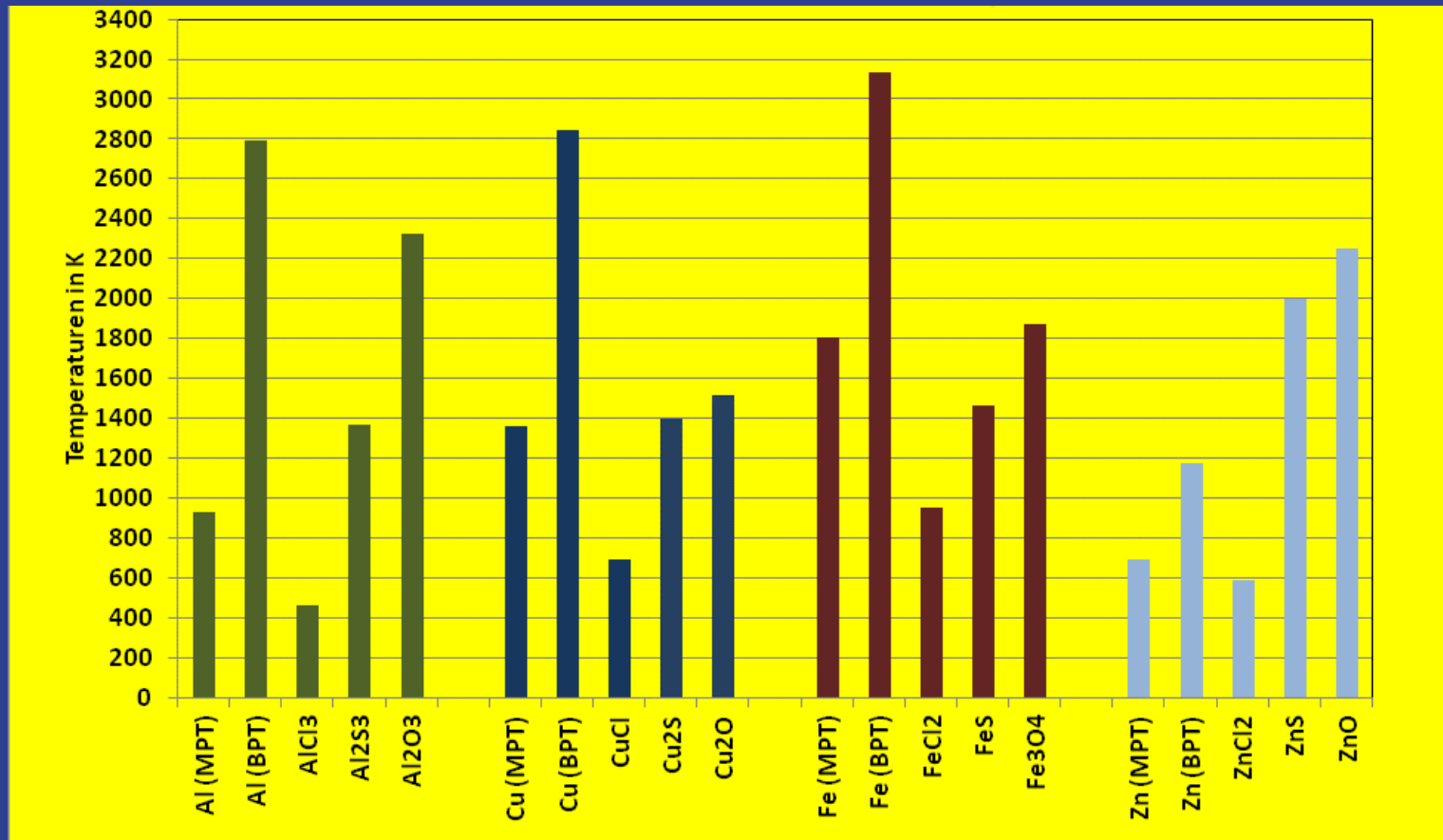
Metallgehalt von MVA-Schlacke und Recycling-Quote nach derzeitigem Stand der Technik



Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: 24. VDI Fachkonferenz, Thermische Abfallbehandlung, Würzburg, 11.-12.10. 2012

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

Schmelz- und Verdampfungspunkte verschiedener Metalle und Metallverbindungen



Nach Werten von Barin, I.: Thermochemical Data of Pure Substances, 3rd Ed., VCH Verlag Weinheim, 1994/1995

Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R. Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

Makroskopische 3D-Aufnahme eines Partikels



Deike, R., Ebert, D.: VGB Workshop Produkte aus der thermischen Abfallverwertung, Bleicherode, 18.04.2012

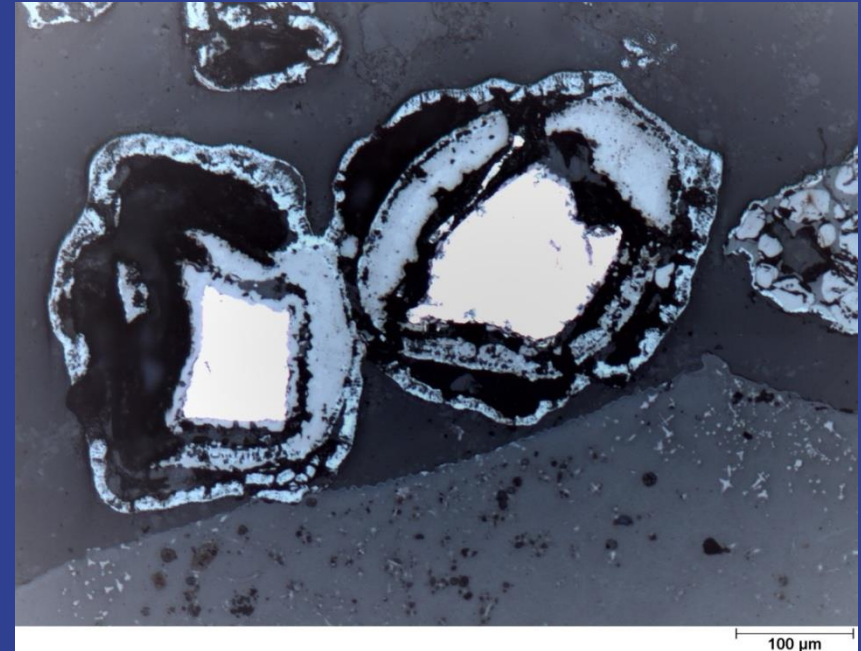
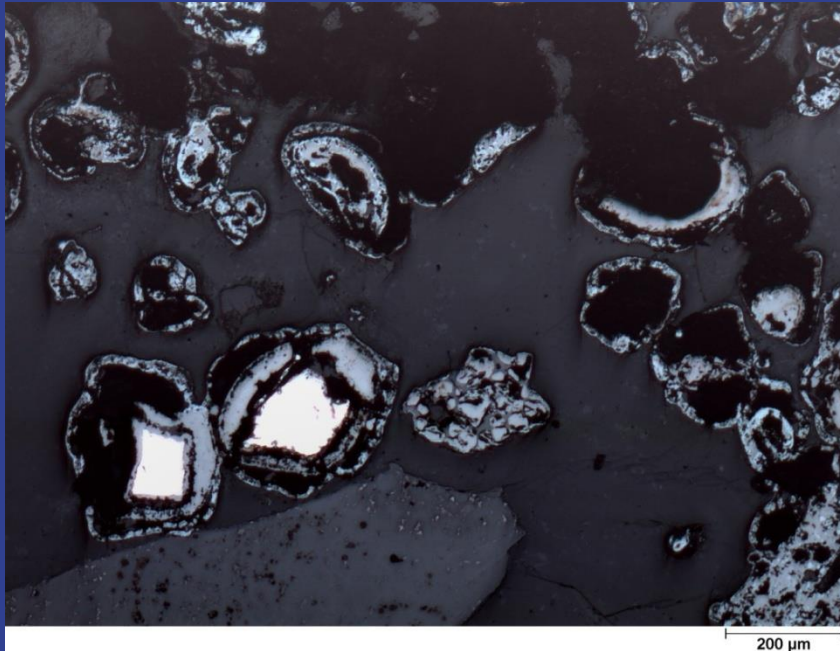
4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

14

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

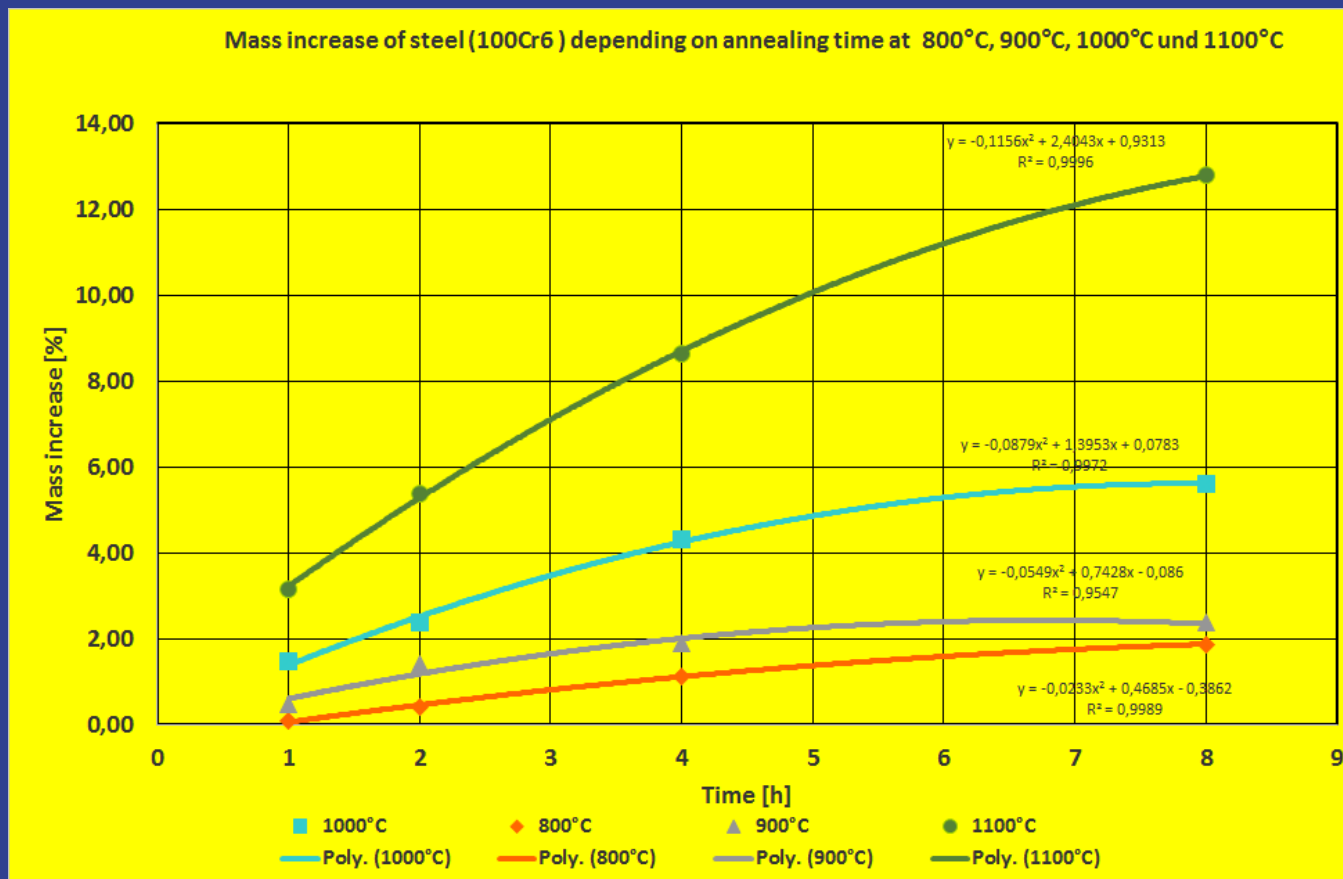
Offen im Denken

Lichtmikroskopische Aufnahme von oxidierten Eisenpartikeln bei einer Aufheizung bis auf 850°C



Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: 6th CEWEP Congress 2012, Würzburg, 06.-07.0. 2012

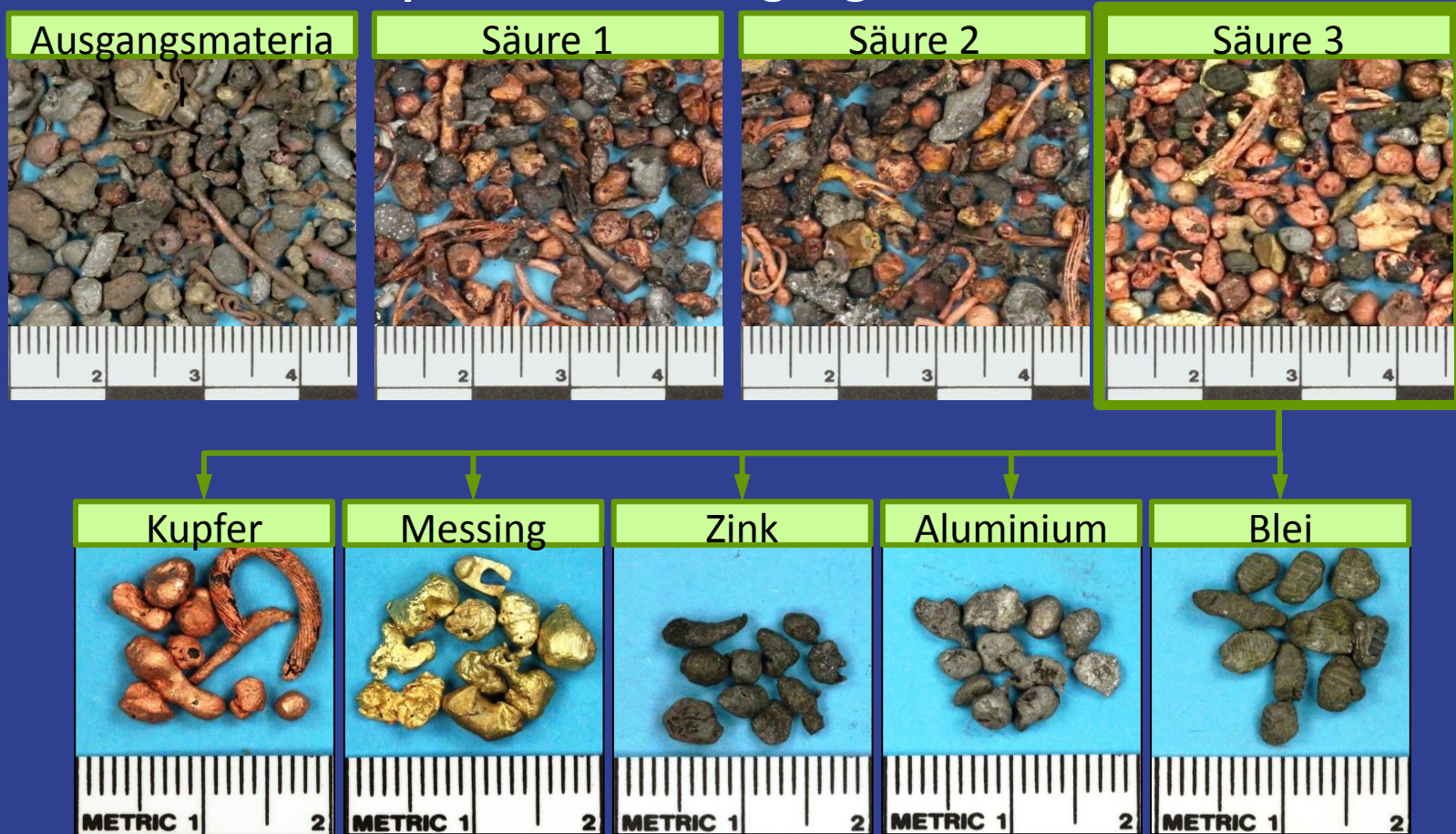
Oxidationsverhalten von Stahl bei unterschiedlichen Temperaturen



Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

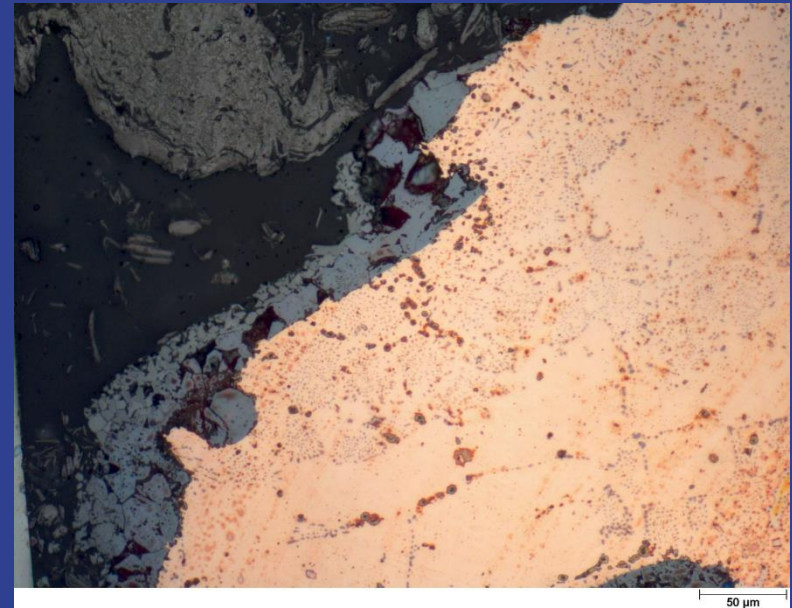
Darstellung verschiedener unterschiedlicher metallischer Partikel durch eine entsprechende Reinigung der Fraktionen



Deike, R., Brümmer, A.: Qualitätssicherung bei der Schlackenaufbereitung – neue Herausforderung, ZAR –Stiftung Zentrum für Nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung, Hinwil, 21.03.2012

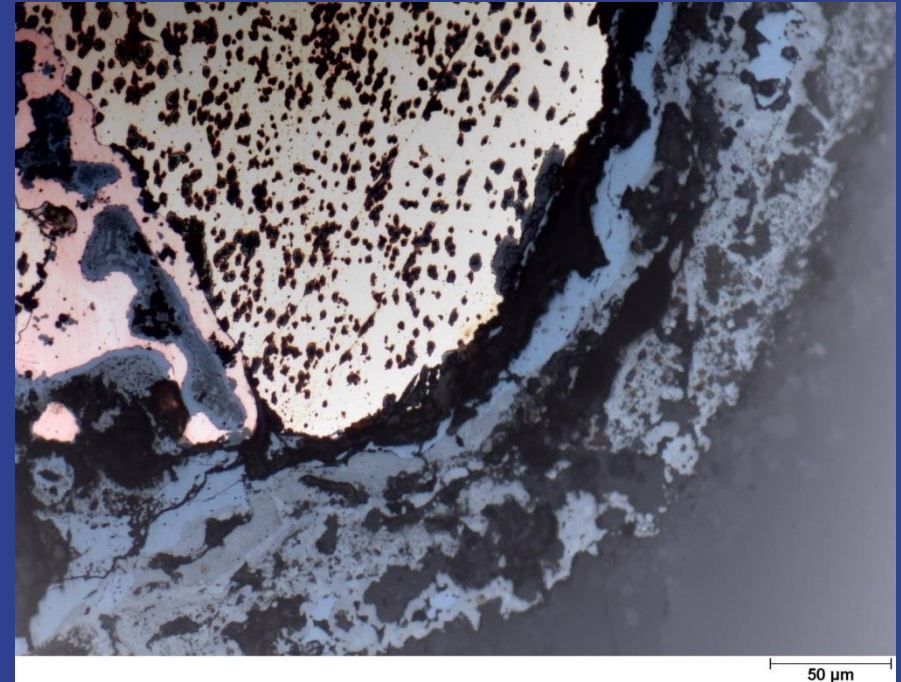
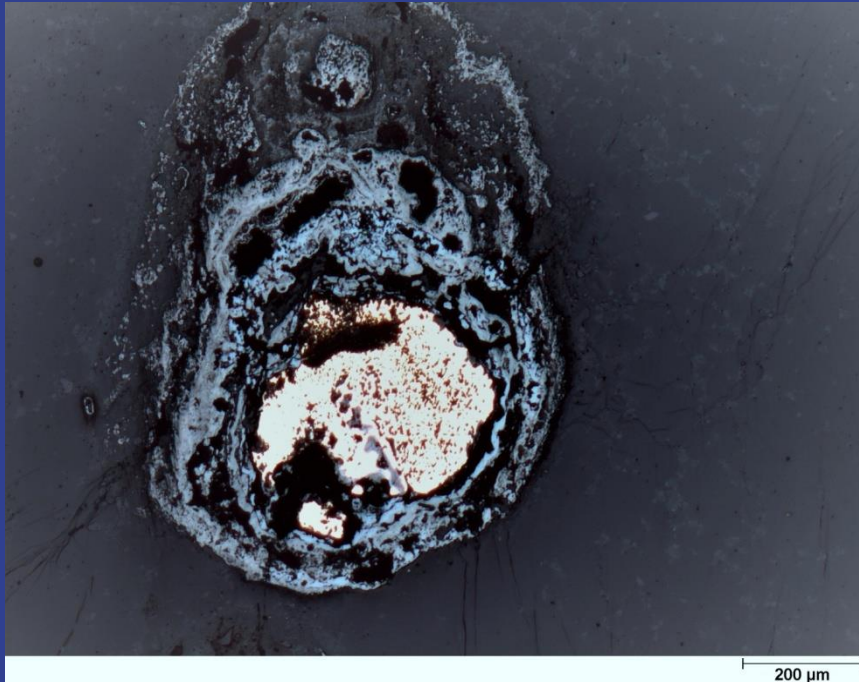
4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

Die Bildung von Oxidschichten auf Cu-Partikeln



Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

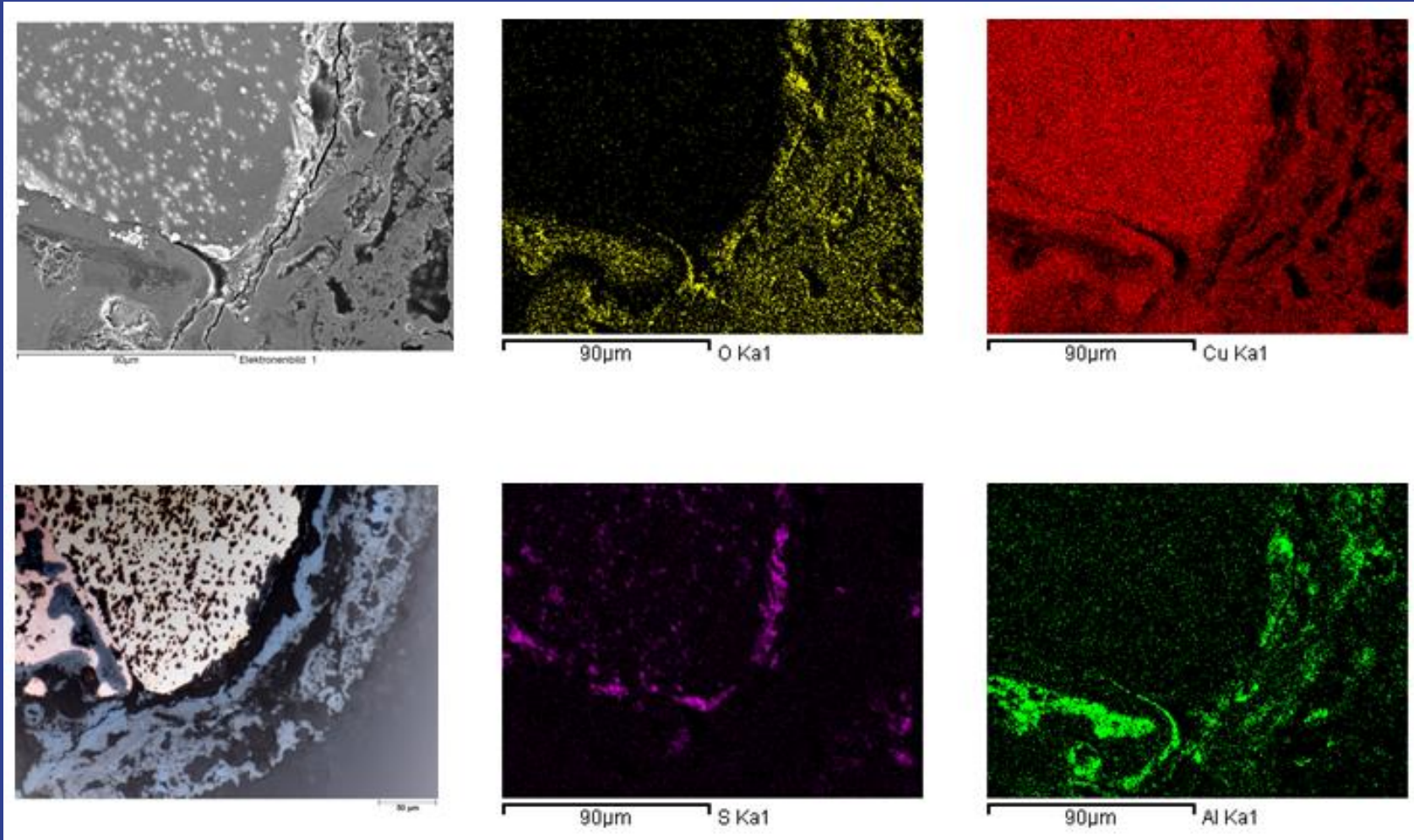
Vergleich der Gehalte ausgewählter Elemente im magnetischen und nicht-magnetischen Anteil



Deike, R., Ebert, D.: VGB Workshop Produkte aus der thermischen Abfallverwertung, Bleicherode, 18.04.2012

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

Vergleich der Gehalte ausgewählter Elemente im magnetischen und nicht-magnetischen Anteil



Deike, R., Ebert, D.: VGB Workshop Produkte aus der thermischen Abfallverwertung, Bleicherode, 18.04.2012

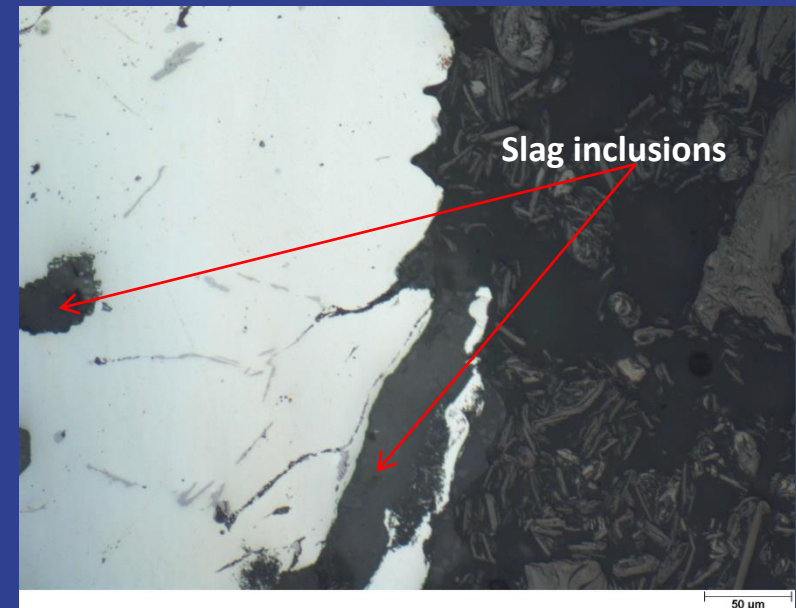
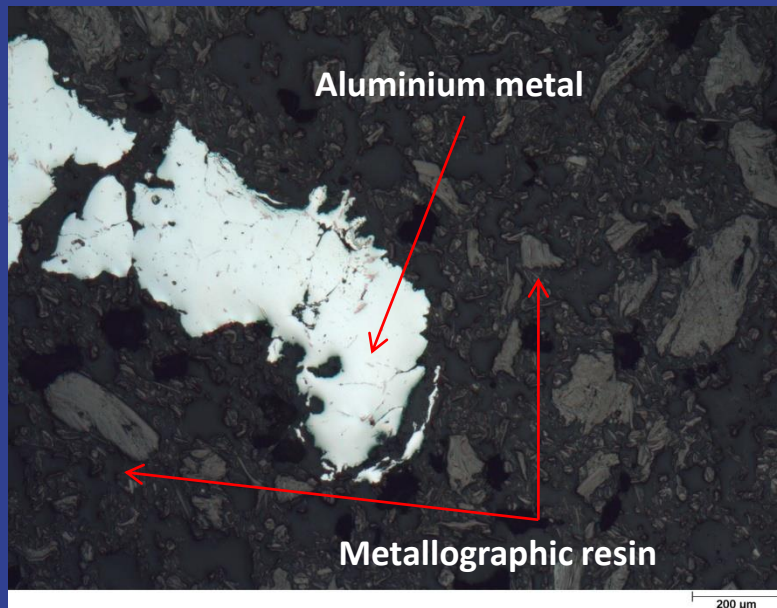
4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

20

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

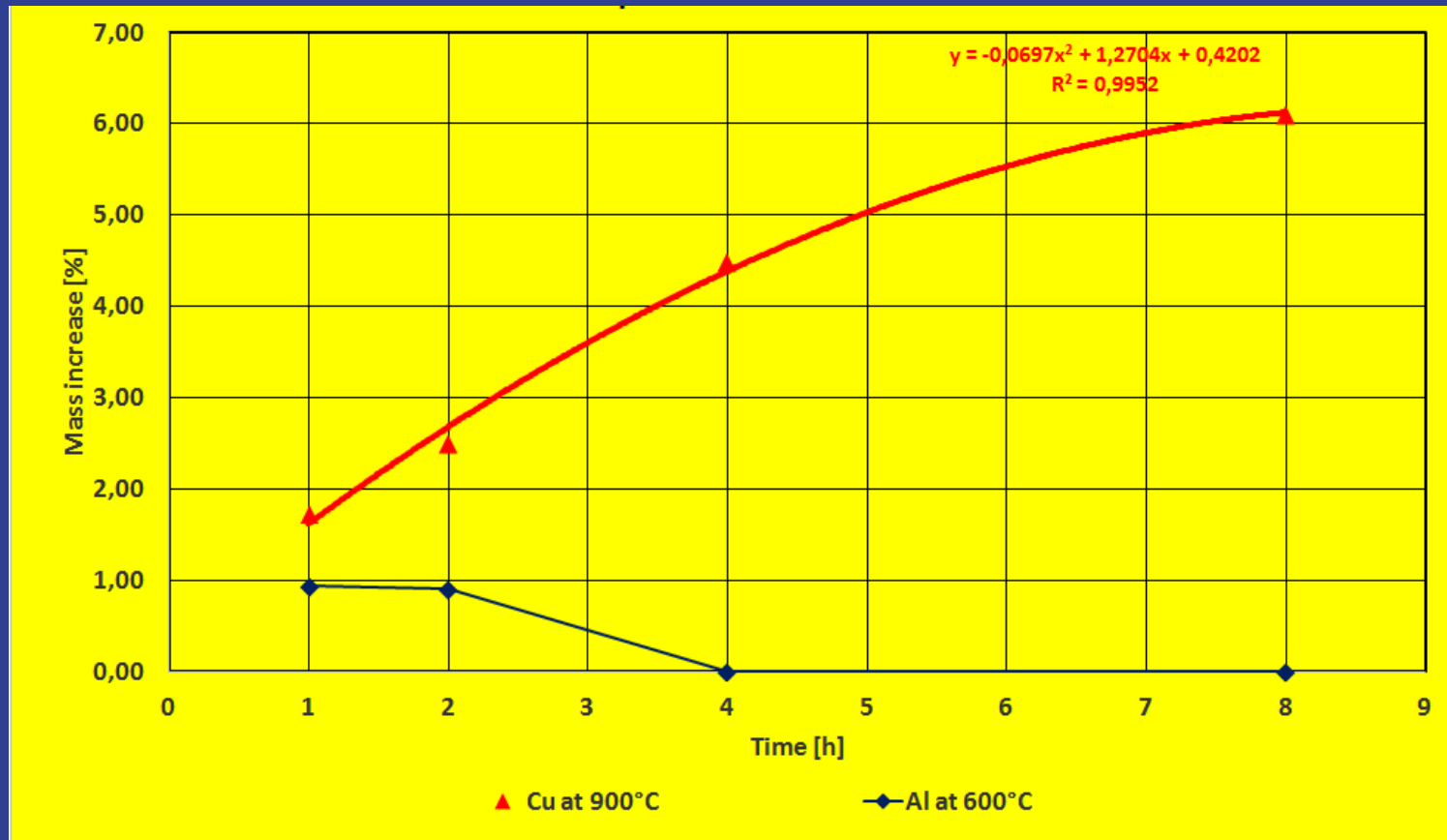
Aluminiumpartikel aus HMV-Schlacken mit Schlackenanhäufungen



Deike, R.; Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

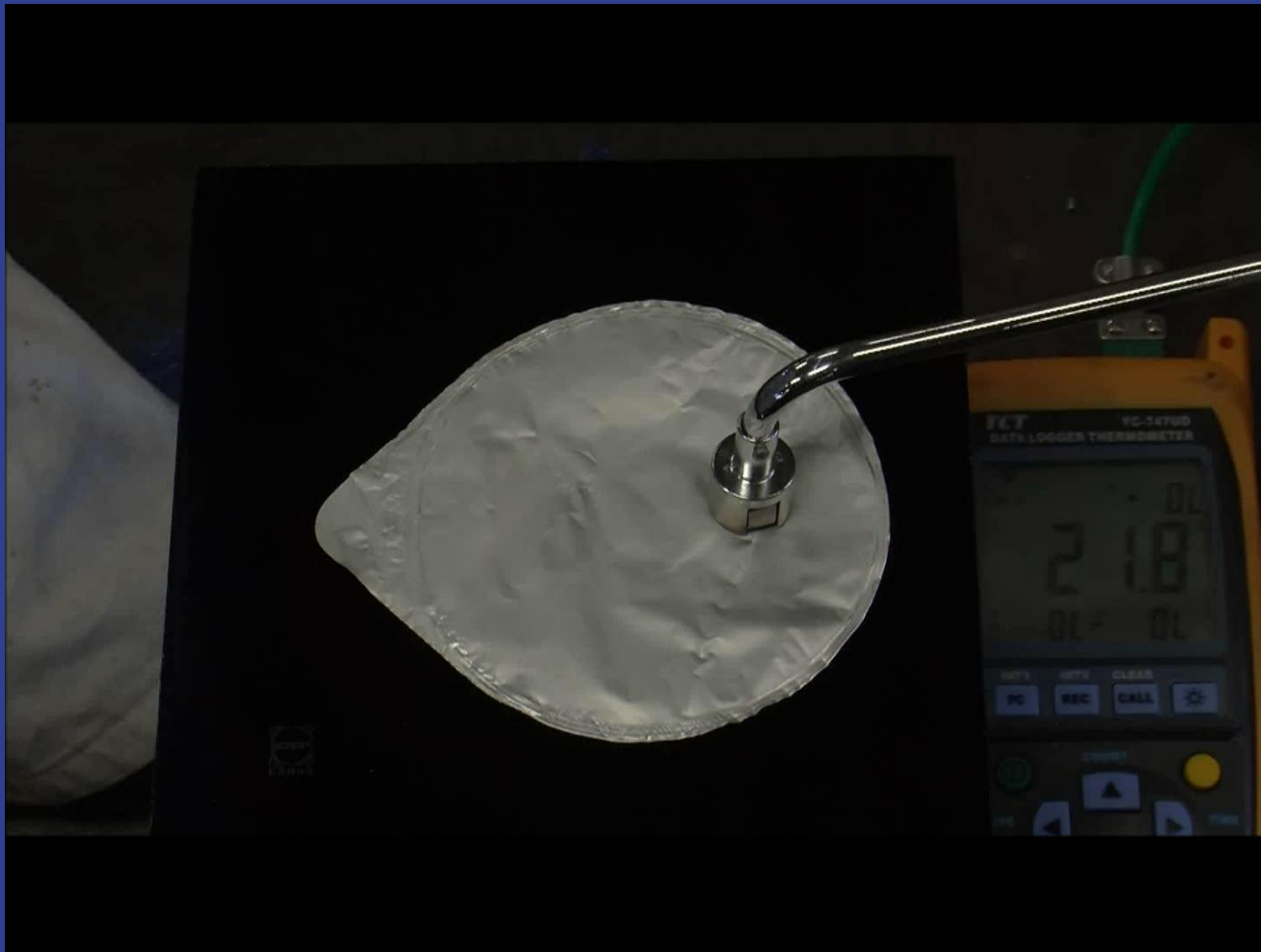
Oxidationsverhalten von Kupfer und Aluminium



Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

Das Aufheizen einer dünnen Aluminiumfolie auf Temperaturen oberhalb des Schmelzpunktes



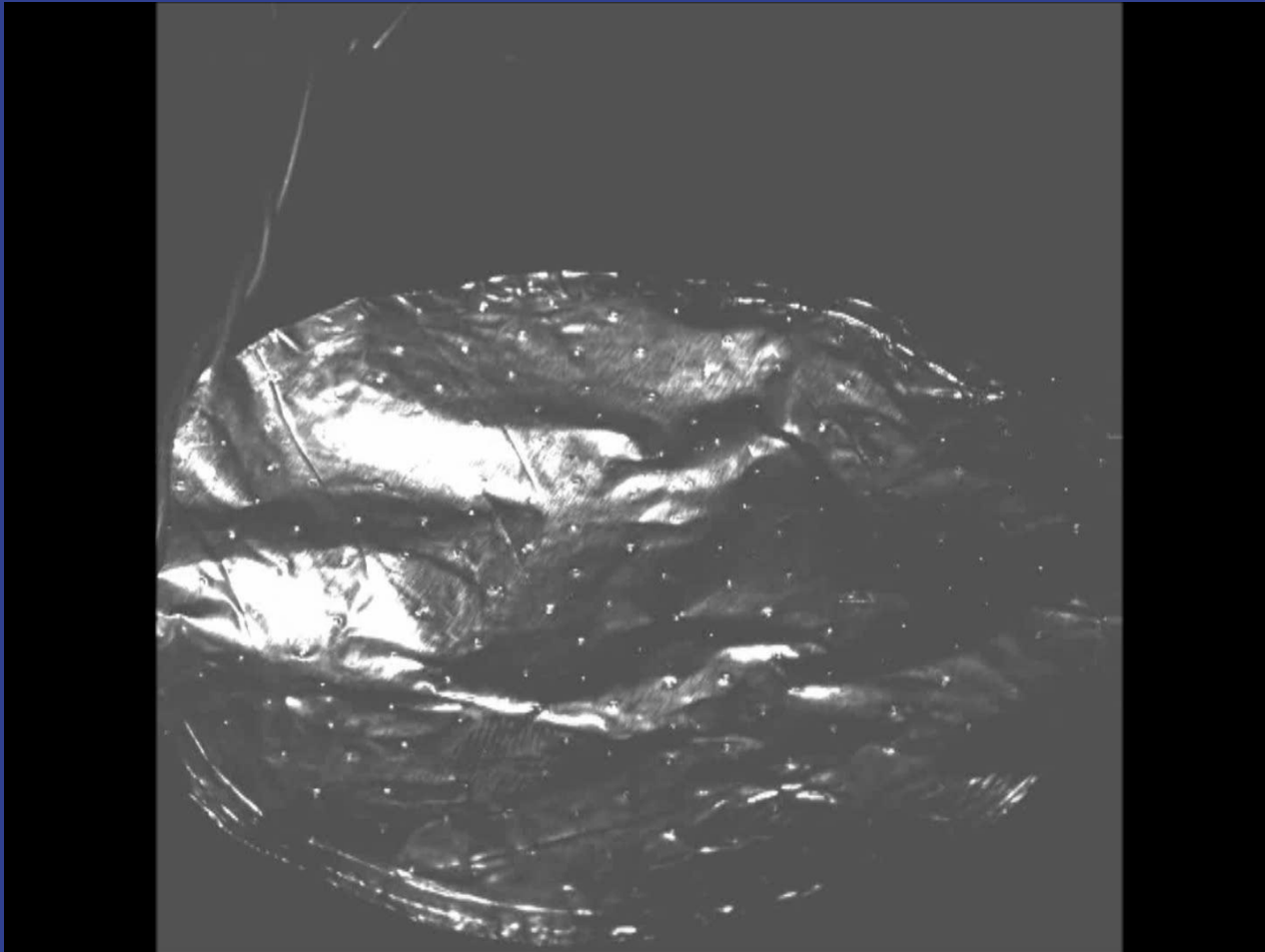
Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

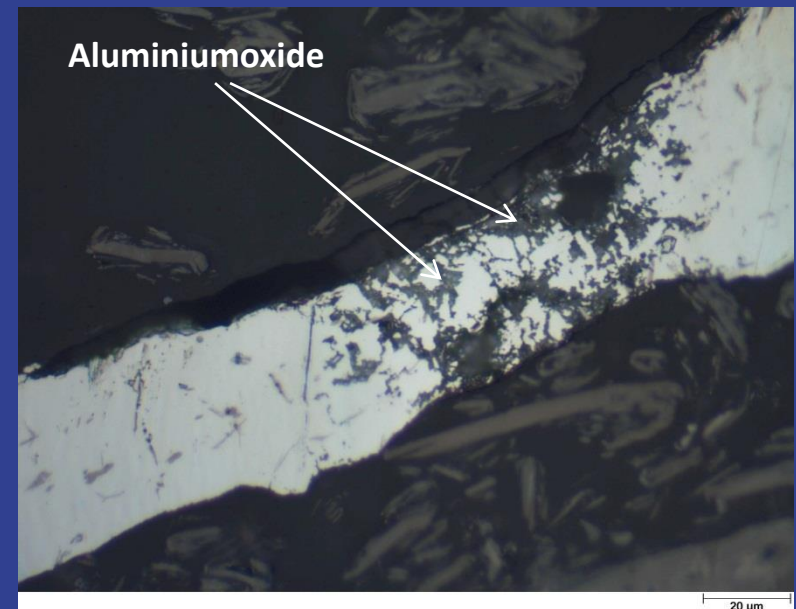
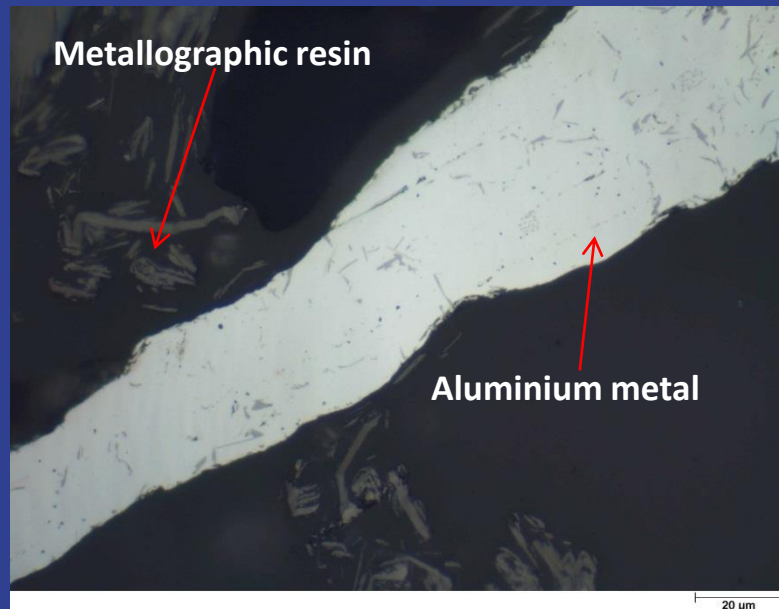
23

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken



Lichtmikroskopische Aufnahme der aufgeheizten Folie in dem zerstörten Bereich



Deike, R. Ebert, D.; Warnecke, R.; Vogell, M.: International VDI Conference 2013, Energy and Materials from Waste, Frankfurt, 15.05.13

Mikroskopische Aufnahme eines thermisch unbehandelten und thermisch behandelten Aluminiumdeckels einer Milchprodukteverpackung

Aluminiumfolie original



V. 500fach

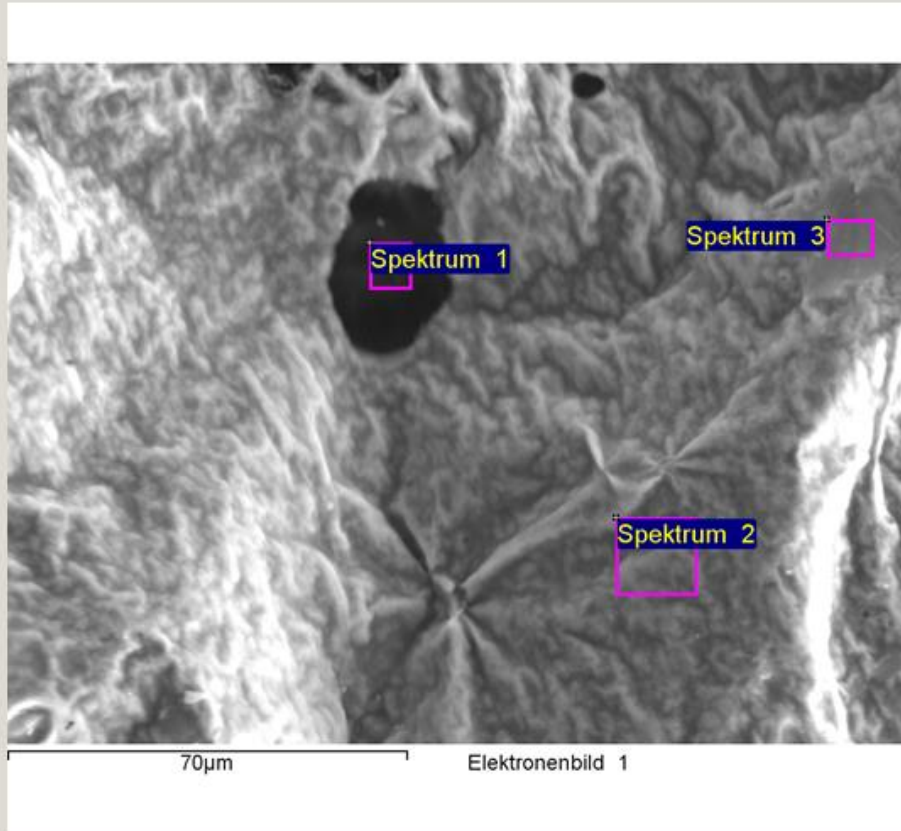
Aluminiumfolie verbrannt



V. 500fach

Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R, Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

REM-Aufnahme und EDX-Analysen eines thermisch behandelten Aluminiumdeckels



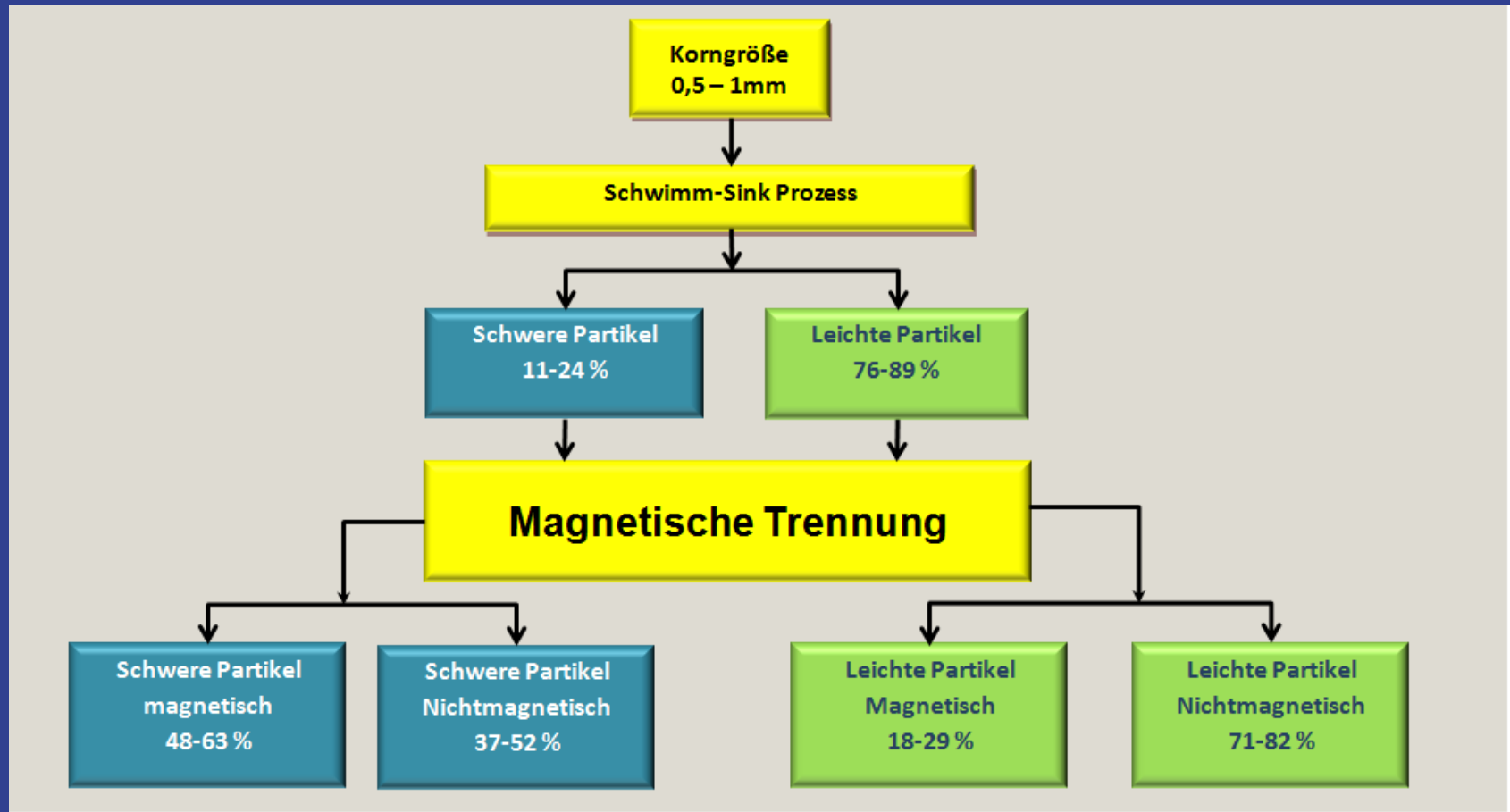
Prozessoption: Alle Elemente analysiert (Normalisiert)

Spektrum	In Statistik	O	Mg	Al	Si	Summe
Spektrum 1	Ja	48.17	4.27	47.00	0.56	100.00
Spektrum 2	Ja	16.14		83.86		100.00
Spektrum 3	Ja	13.69		86.31		100.00

Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R, Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

4. Zukünftige Recyclingpotenziale von Metallen aus der mineralischen Fraktion der MV-Schlacke

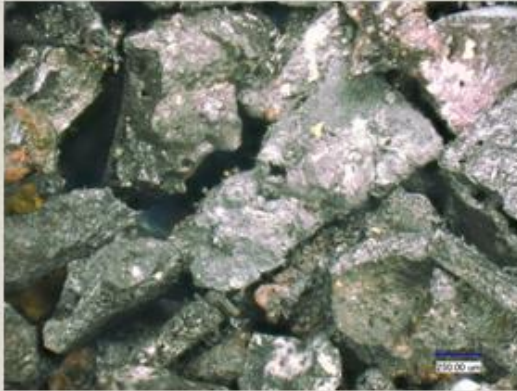
Metallgehalte der Feinfraktion einer nass ausgetragenen HVM-Schlacke



Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R. Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

Mikroskopische 3D-Aufnahmen unterschiedlicher Fraktionen nach der magnetischen Trennung

Schwere Partikel magnetisch



Schwere Partikel nichtmagnetisch



Leichte Partikel magnetisch



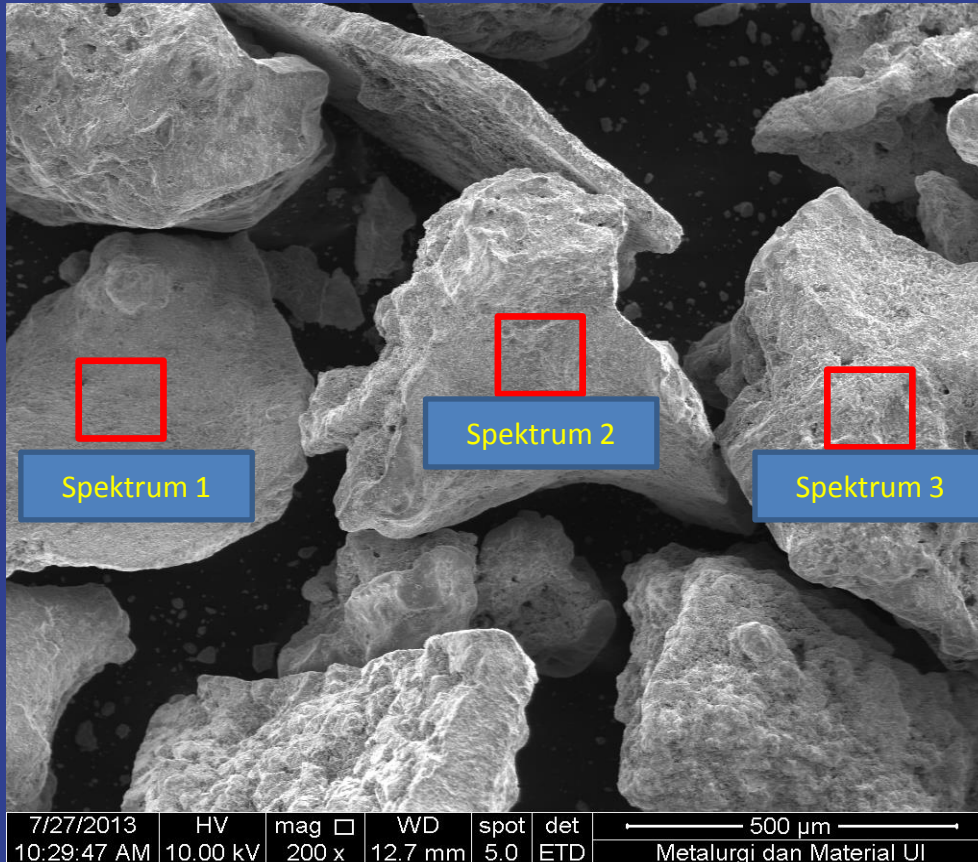
Leichte Partikel nichtmagnetisch



Deike, R. Ebert, D.; Schubert, D.; Ulum, R. Warnecke, R.; Vogell, M.: 12. VDI Fachkonferenz Feuerung und Kessel, Köln, 12.06.13

Feldemission REM-Aufnahmen und EDX-Analyse unterschiedlicher Fraktionen nach der magnetischen Trennung

Schwere Partikel magnetisch



Spektrum 1

Element	Wt%
<i>O</i>	70.63
<i>Na</i>	11.59
<i>Al</i>	00.97
<i>Si</i>	03.57
<i>S</i>	01.62
<i>Ca</i>	02.37
<i>Fe</i>	09.25

Spektrum 2

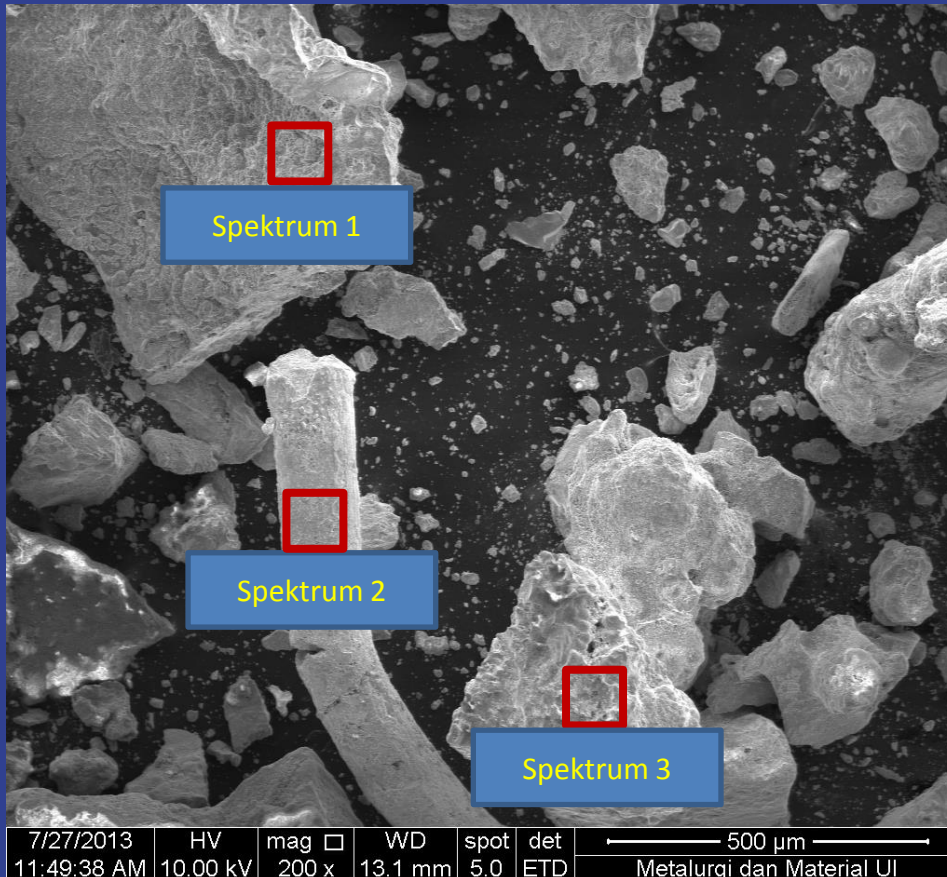
Element	Wt%
<i>O</i>	57.80
<i>Na</i>	22.30
<i>Al</i>	01.53
<i>Si</i>	02.08
<i>Mo</i>	03.25
<i>K</i>	01.10
<i>Ca</i>	02.10
<i>Fe</i>	09.84

Spektrum 3

Element	Wt%
<i>O</i>	72.84
<i>Na</i>	08.96
<i>Si</i>	09.41
<i>S</i>	01.61
<i>K</i>	00.68
<i>Ca</i>	06.50

Feldemission REM-Aufnahmen und EDX-Analyse unterschiedlicher Fraktionen nach der magnetischen Trennung

Schwere Partikel nichtmagnetisch



Spektrum 1

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>
<i>O</i>	70.26
<i>Na</i>	02.95
<i>Al</i>	04.44
<i>Si</i>	04.31
<i>Ca</i>	06.74
<i>Fe</i>	11.30

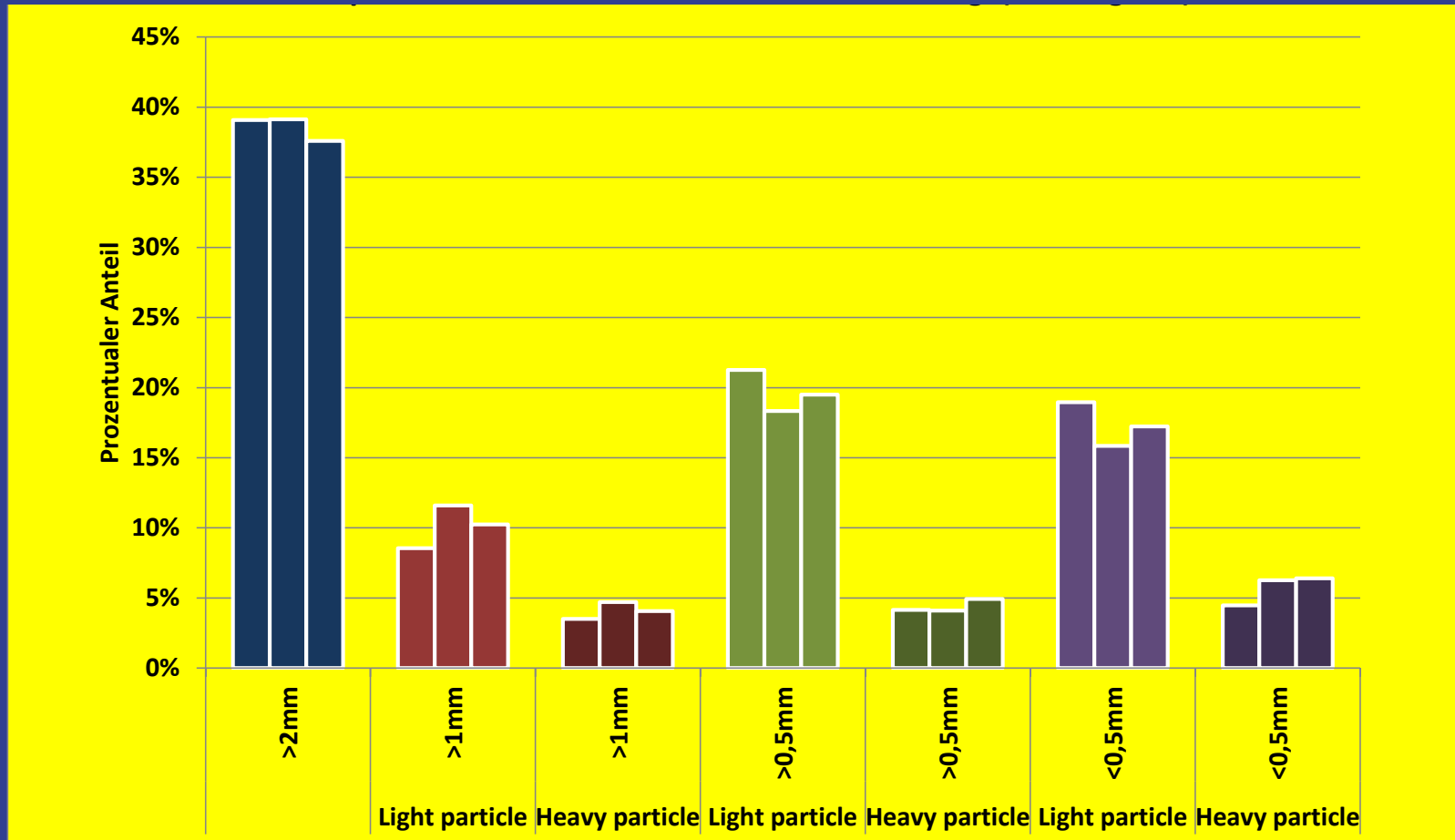
Spektrum 2

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>
<i>O</i>	09.65
<i>Cu</i>	90.35

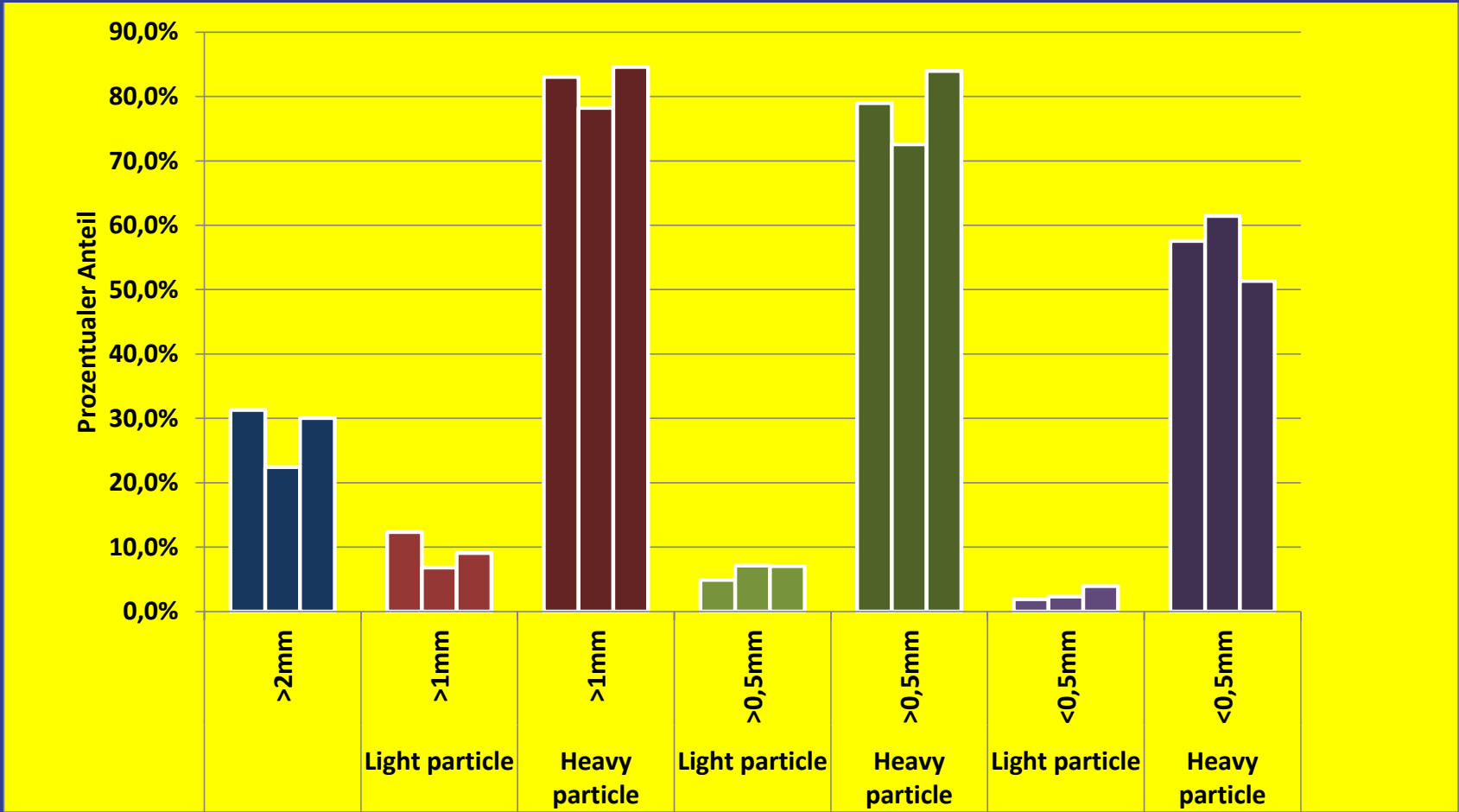
Spektrum 3

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>
<i>O</i>	54.43
<i>Ni</i>	31.26
<i>Si</i>	03.98
<i>Ca</i>	01.81
<i>Fe</i>	08.52

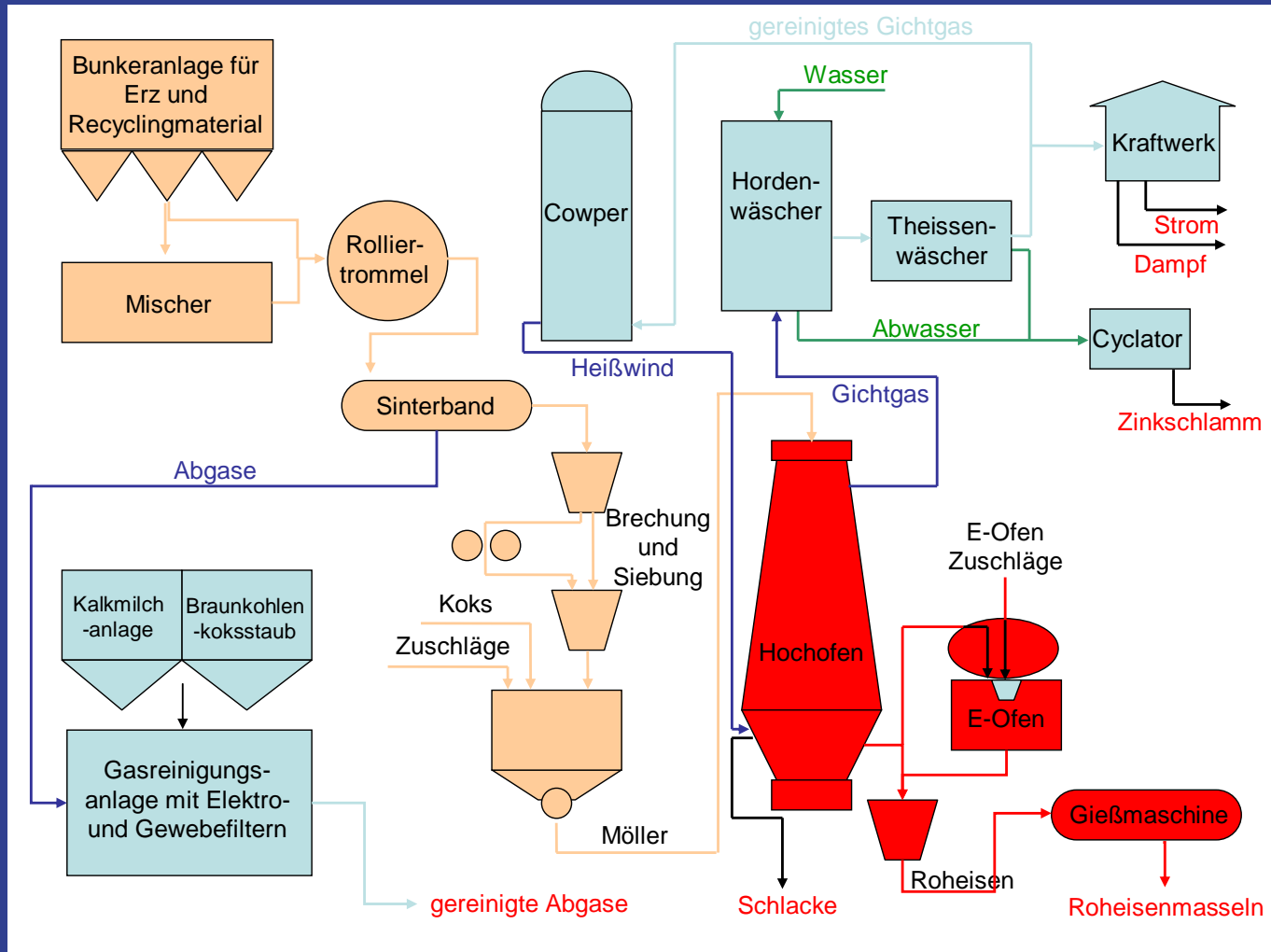
Anteile von Leicht- und Schwerfraktionen die in den Kornklassen vorliegen, die durch das Mahlen der ursprünglichen Kornfraktion 4- 8 mm hergestellt wurden



Magnetische Anteile die in den Leicht- und Schwerfraktionen der Kornklassen vorliegen, die durch das Mahlen der ursprünglichen Kornfraktion 4- 8 mm hergestellt wurden



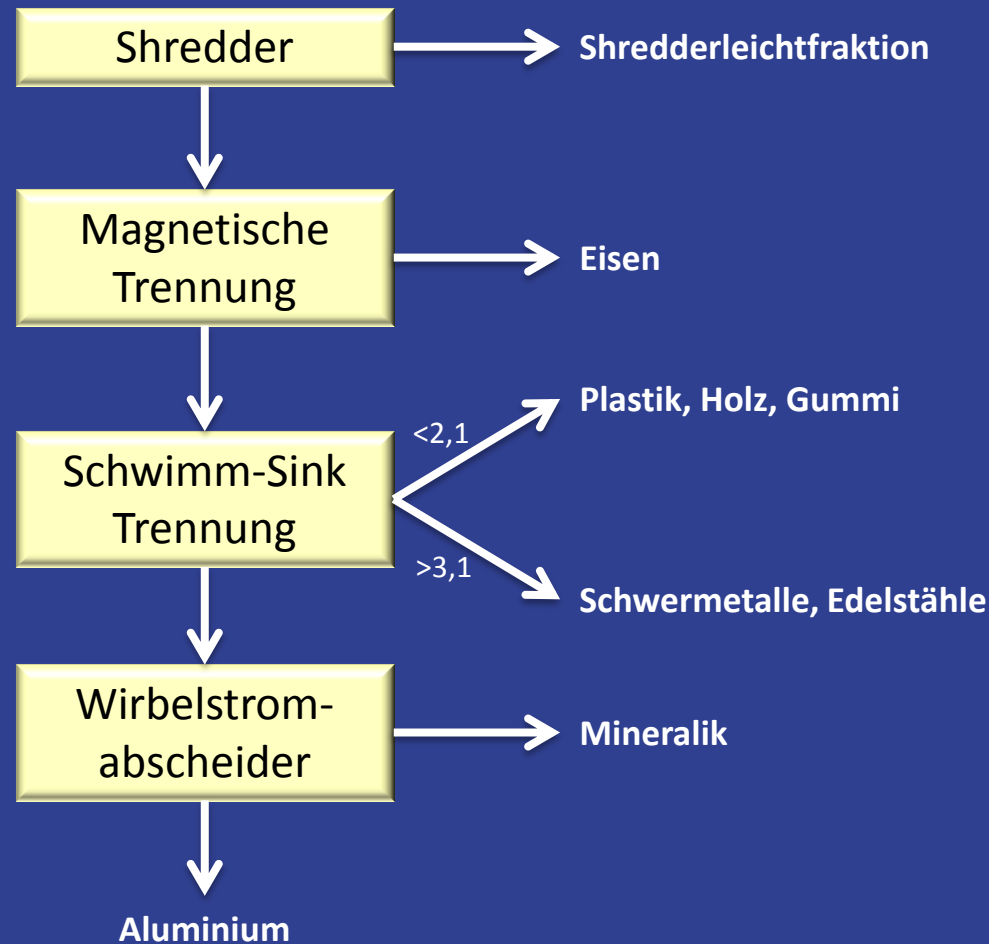
Prinzip der Herstellung von Roheisen



Deike, R., Dings, J.: Giesserei, vol. 94-06, pp. 198-205, 2007

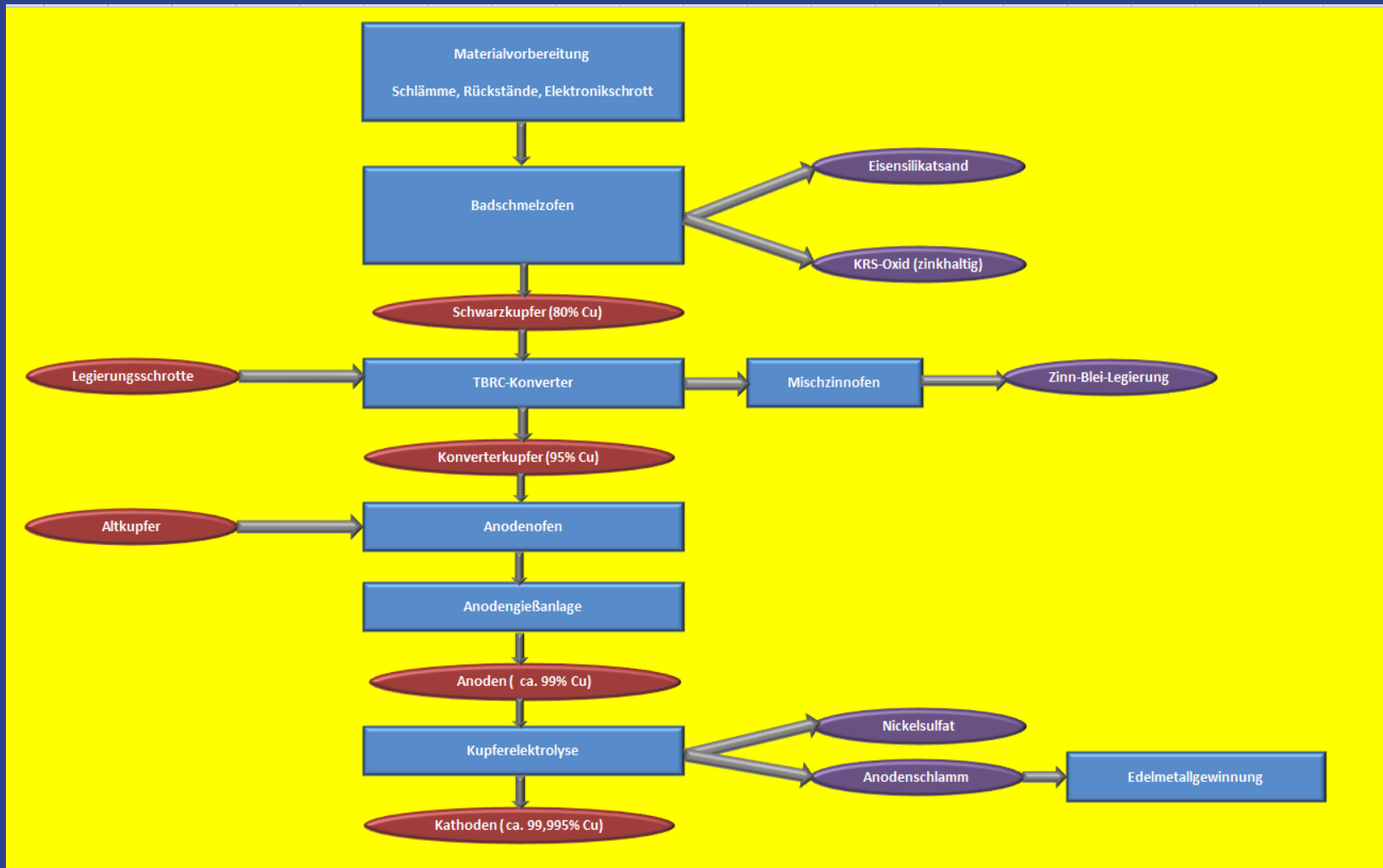
5. Mögliche Recyclingverfahren

Aluminiumrecycling in der Automobilindustrie



In Anlehnung an: Cui, J.; Roven, H.J.: Trans. Nonferrous Met. Soc. China 20 (2010) 2057-2063

Fließbild eines Prozesses zum Kupferrecycling



Nach Angaben der AURUBIS AG, Lünen, www.aurubis.com

Zusammenfassung

1. Die Wirtschaftlichkeit von Recyclingprozessen zur Rückgewinnung von Metallen hängt sehr wesentlich von der Entwicklung der Metallpreise ab.
2. Bei der Realisierung bisher ungenutzter Potenziale sind für MV-Schlacken Recyclingraten $> 100\%$ möglich, da in der Schlacke kleine Metallpartikel gesammelt werden, die mit einer Sortierung nicht zu erfassen sind. Diese Partikel können durch entsprechende Recyclingprozesse aus der MV-Schlacke zurückgewonnen werden.
3. In der Feinfraktion von MV-Schlacken können Cu-Gehalte (0,3-0,4%) wie in armen Cu-Erzen vorliegen, womit die MV-Schlacke im Sinne des Urban Mining zukünftig eine kontinuierlich existierende Rohstoffquelle sein kann.
3. Wie sauber die einzelnen Fraktionen getrennt werden können, wird entscheiden, ob die mineralischen Restfraktionen einer höherwertigen Verwertung zugeführt werden können.