

## Erhöhung der Stabilität von Kupfer-Schlacke-Suspensionen während der Schaum-Flotation durch Zugabe von Dispersionshilfsmitteln

Daniela Urosevic, Bernd Friedrich, Mile Dimitrijevic, Dragan Milanovic, Radmila Markovic und Zoran Stevanovic

1.	Einleitung .....	290
2.	Experimenteller Teil.....	291
2.1.	Werkstoffe .....	291
2.2.	Versuchsdurchführung und -vorrichtung .....	293
3.	Ergebnisse und Diskussion .....	293
3.1.	Überprüfung der Stabilität einer Schlackesuspension durch Messung des elektrokinetischen oder Zeta-Potentials.....	293
3.2.	Laborversuche zur Flotation von Schlacke unter Zugabe von organischen und anorganischen Dispersionshilfsmitteln.....	296
4.	Schlussfolgerungen .....	298
5.	Literatur .....	300

Eines der Hauptprobleme beim industriellen Verfahren der Schlackenflotation besteht darin, die Masse in einem stabilen Zustand zu erhalten. Diese Arbeit stellt die Ergebnisse von Laboruntersuchungen zur Erhöhung der Stabilität von Schlackesuspensionen durch die Zugabe organischer und anorganischer Dispersionshilfsmittel Bentonit, Natriumsilikat und Natriumpolyacrylat vor. Die Stabilität der Suspension wird begleitet von:

- der Bestimmung des elektrokinetischen oder Zeta-Potentials von Schlacke durch Messung der elektrothoretischen Mobilität von Kolloidpartikeln der Schlacke;
- Laborversuchen zur Flotationsaufbereitung von Schlacke ohne und mit Zugabe von Dispersionshilfsmitteln.

Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung dieser Dispersionshilfsmittel in den richtigen Konzentrationen die Stabilität der Schlackesuspension erhöht.

Eine Schlackesuspension mit Natriumsilikat, Konzentration von 5 mg/l, mit Zugabe eines Sammlers (Kaliumamylxanthat), Konzentration von 100 mg/l, ergibt Werte für das Zeta-Potential von -17 mV bis -28 mV im pH-Bereich von 3÷11. Geringere Werte für das Zeta-Potential, -13 bis -18 mV, wurden bei einer reinen Schlacke ohne Sammler und Dispersionshilfsmittel gemessen.

Höhere Werte für das Zeta-Potential, im Bereich von -21 bis -29 mV, wurden mit Natriumpolyacrylat in einer Konzentration von 50 mg/l erreicht, was zu einer mittleren Stabilität der Suspension führt.

Die höhere Konzentration von Natriumsilikat und Natriumpolyacrylat von 100 mg/l hat negative Auswirkungen auf die Stabilität der Suspension.

Die Versuche zur Flotationsaufbereitung haben die positive Auswirkung der eingesetzten Dispersionshilfsmittel auf die Stabilität der Schlackesuspension bestätigt. Die Verwendung von Bentonit als Dispersionshilfsmittel mit einem Masseanteil von 3 % erzielt den größten Masseertrag ( $Rm_{Cu} = 29,17\%$ ) und technologischen Ertrag ( $Rt_{Cu} = 61,57\%$ ) von Kupfer, gefolgt von dem geringsten Kupferanteil im Konzentrat von 1,75 %.

Einen höheren Masse- ( $Rm_{Cu} = 18,69\%$ ) und technologischen Ertrag ( $Rt_{Cu} = 52,05\%$ ) von Kupfer aus Schlacke wurde mit Natriumsilikat in einer Konzentration von 5 g/t erzielt im Vergleich zum erzielten Masse- und technologischen Ertrag nur unter Verwendung von Kaliumamylxanthat (KAX) als Sammler ohne ein Dispersionshilfsmittel ( $Rt_{Cu} = 49,48\%$ ). Natriumpolyacrylat in einer Konzentration von 50 g/t hat Auswirkungen auf die höhere Stabilität der Suspension in Bezug auf den erzielten höheren Masse- ( $Rm_{Cu} = 17,54\%$ ) und technologischen Ertrag ( $Rt_{Cu} = 53,45\%$ ) von Kupfer. Die Konzentrationen der Dispersionshilfsmittel in den Versuchen zur Schaumflotation (5, 10, 50 und 100 g/t) sind mit Konzentrationen von Dispersionshilfsmitteln (5, 10, 50 und 100 mg/l) in den Versuchen zur Bestimmung des Zeta-Potentials identisch.

Auf die erzielte Stabilität der Schlackesuspension durch Zugabe der oben genannten Dispersionshilfsmittel folgt ein geringer Kupferanteil im Konzentrat.

## 1. Einleitung

Schlacke aus dem Flammofen im Hüttenwerk in Bor (Serbien) ist ein heterogenes und inertes Abfallprodukt, das beim Schmelzen von Kupferkonzentrat entsteht und auf einer Deponie im Flussbett des Flusses Bor entsorgt wird [1]. Schlacke aus dem Flammofen erstarrt durch Abkühlung zu einer glasartigen Masse, deren Basis Fayalit bildet und in der Kupfer und Magnetit in hinreichend großen Kristallen eingebettet sind [7].

Die chemische und mineralogische Zusammensetzung von Schlacke variiert hauptsächlich abhängig von den eigenen und importierten Eintragskonzentraten, die über einen langen Zeitraum hinweg verarbeitet wurden. Kupferschlacke ist ein komplexer Rohstoff, der hauptsächlich aus Silikaten, Sulfiden, Oxiden und etwas metallischem Kupfer und Eisen besteht, wobei der Anteil an Kupfermineralien oder deren Gemischen bei jeder Schlacke anders ist.

Allerdings wurden durch die XRD-Analyse mehrerer Schlackenproben nur ein paar wesentliche kristalline Phasen bestimmt. Diese sind das am häufigsten auftretende Fayalit ( $Fe_2SiO_4$ ), dann mit Magnesium angereichertes Fayalit ( $(Fe,Mg)_2SiO_4$  – Olivin), Magnetit ( $Fe_3O_4$ ), Pyrit ( $FeS_2$ ) und gegebenenfalls Quarz ( $SiO_2$ ). Es wurde außerdem festgestellt, dass Schlacke in einer bestimmten Menge die amorphe Phase aufweist, deren Anteil nicht bestimmt werden konnte [4].

Entsorgte Schlacke wird als wertvoller Sekundärrohstoff durch Flotationsaufbereitung verarbeitet, um Kupfer aufzuwerten.

Das Hauptproblem beim industriellen Verfahren der Schlackenflotation besteht allerdings in dem geringen technologischen Ertrag nutzbarer Bestandteile (bis zu 40 % Cu), da es schwierig ist, die Masse in einem stabilen Zustand zu erhalten. Konkret bedeutet das, dass sich die Suspension aus Schlacke, die künstlich erzeugte charakteristische physikalisch-chemische Zusammensetzung, deutlich von der Suspension aus natürlichen Materialien in Wasser unterscheidet, was wiederum Auswirkungen auf den geringen technologischen Kupferertrag hat.

Um die Stabilität der Suspension zu erreichen, müssen Bedingungen geschaffen werden, welche die Oberflächenladung der suspendierten Partikel verändern und starke elektrostatische Abstoßung zwischen den Partikeln erzeugen, um somit die Stabilität der Suspension zu erhöhen. Die Messung des Zeta-Potentials auf der Partikeloberfläche kann die Grundeigenschaft der Suspension kontrolliert werden.

Allgemein werden Dispersionshilfsmittel eingesetzt, um die Stabilität des Dispersionsystems zu erreichen. Die am häufigsten verwendeten Dispersionshilfsmittel sind Polyelektrolyte, die an der Oberfläche der Partikel adsorbiert werden und dabei die Oberflächenladung ändern. Die wichtigste Eigenschaft von Dispersionshilfsmitteln ist es, Dispergierbarkeit kleiner Partikel sowie Stabilität des resultierenden Dispersionsystems zu erreichen. Die Kräfte der elektrostatischen Abstoßung sind die wichtigste Quelle, um die Stabilität der Suspension zu erreichen [8].

Diesbezüglich wurde die Auswirkung organischer und anorganischer Dispersionshilfsmittel auf die Stabilität der Suspension aus Schlacke untersucht.

Die Stabilität der Schlackesuspension wurde folgendermaßen untersucht:

- durch Bestimmung des elektrokinetischen Potentials (Zeta-Potential) von Schlacke durch Messung der elektrophoretischen Mobilität der kolloidalen Partikel von Schlacke ohne und mit Zugabe der Dispersionshilfsmittel Natriumpolyacrylat und Natriumsilikat;
- durch Laborversuche der Flotationsaufbereitung mit Zugabe der Dispersionshilfsmittel Bentonit, Natriumpolyacrylat und Natriumsilikat, mit zuvor festgelegten industriellen Flotationsparametern (pH-Wert des Mediums 11-12, Konzentration des Sammlers KAX 100 g/t, Dowfroth 250 Schäumer als einer der am häufigsten verwendeten Schäumer: D-250, Feststoffanteil in der Masse etwa 30 %).

## 2. Experimenteller Teil

### 2.1. Werkstoffe

Die Versuche wurden mit Schlacke aus dem Schwebeschmelzofen der Kupferhütte in Bor durchgeführt. Die Schlacke wurde aus der Zerkleinerungsanlage entnommen (100 % – 12,5 mm), bevor sie in den Mahlbereich für die Flotation gegeben wurde. Zuerst

wurde sie im Labor in einer zylindrischen Zerkleinerungsmaschine auf eine Größe von 100 % – 3,35 mm zerkleinert und anschließend in einer ellipsenförmigen Kugelmühle *ABBE* für die Versuche zur Flotationsaufbereitung zermahlen, anschließend wurde die Schlacke mit einem Feinheitsgrad von 98 % – 75 Mikrometer für die Versuche zur Bestimmung des Zeta-Potentials verwendet.

In Tabelle 1 sind die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Schlacke, von der Proben aus der Zerkleinerungsanlage genommen wurden, dargestellt.

Es wurde Bentonit, ein anorganisches Dispersionshilfsmittel, verwendet. Bentonit ist eine Art Tonmineral mit einem hohen Anteil an Montmorillonit (über 50 %), allgemeine Formel  $((Al_x Fe^{3+y} Mg_z)_2 (Si_{4-(u-v)} Fe^{3+} Al_u)O_{10} (OH)_2)M^{+}_{u+v+z}$ .

Die wichtigsten Merkmale von Bentonit sind sehr herausragende kolloidchemische Eigenschaften: Plastizität, ausdrückliche Affinität zu Wasser, was das Aufquellen der Tonerde und die Zunahme ihres Volumens bis auf das Zehnfache verursacht, hohe Viskosität. Bentonit zeichnet sich aufgrund des großen Anteils der Partikelgrößenfraktion von 1 bis 100 µm außerdem durch einen hohen Dispersionsgrad aus, was wichtig für die Stabilität des kolloidal dispergierten Systems ist.

Als organisches Dispersionshilfsmittel wurde Natriumpolyacrylat verwendet -CH<sub>2</sub>CH(COONa)-, Natriumsalz der Acrylsäure, das polymerisiert und dabei Moleküle mit einer großen Molekülmasse bildet. Dieses Reagens absorbiert eine große Menge an Wasser, bis zu 200-300 mal mehr als seine eigene Masse. Es ist mit einer Polymerkette verbunden, die aus einer Carboxylgruppe besteht (-COOH). In einer wässrigen Lösung erhält diese Gruppe eine negative Ladung, das COO<sup>-</sup>-Anion beispielsweise bildet sich aufgrund der Aufspaltung dieser Gruppe in COO<sup>-</sup> und H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>. Diese Anionen stoßen sich gegenseitig ab und verbinden sich mit Carboxylgruppen. Das Vorhandensein der genannten Anionen und die Bildung von Mizellen sind wichtig für die Stabilität des Dispersionsystems [2].

Wasserglas, als eingesetztes anorganisches Dispersionshilfsmittel, ist ein Salz starker Base und schwacher Säure. Kieselsäure H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> tritt in einer Lösung in kolloidaler Form auf. Der Dispersitätsgrad hängt vom pH-Wert und der Konzentration der Lösung ab. Das bedeutet, wenn Kieselsäure als Dispersionshilfsmittel in wässrigen Suspensionen eingesetzt wird, ändert sich die Zusammensetzung von niedrigeren zu höheren pH-Werten.

Tabelle 1: Chemische und mineralogische Zusammensetzung der Schlacke, entnommen aus Zerkleinerungsanlage

Elemente oder Oxide	Gew.-%
Cu (gesamt)	0,84
Cu (elementar)	0,38
Cu (Sulfid)	0,30
Cu (Oxid)	0,16
S	0,81
Au (g/t)	0,5
Ag (g/t)	3,3
SiO <sub>2</sub>	32,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,86
Fe (gesamt)	37,05
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	9,68
Ca	3,21
Mg	0,62
Na <sub>2</sub> O	0,42
K <sub>2</sub> O	0,96
Fayalit	~ 60
Magnetit	~ 30
Kupferminerale mit Pyrit	~ 10

Bei niedrigeren pH-Werten beispielsweise entstehen in Lösungen mit Polyionen Kolloidpartikel der Kieselsäure, während bei höheren pH-Werten in Lösungen mit freien Ionen  $\text{SiO}^{3-}$  entsteht [5].

## 2.2. Versuchsdurchführung und -vorrichtung

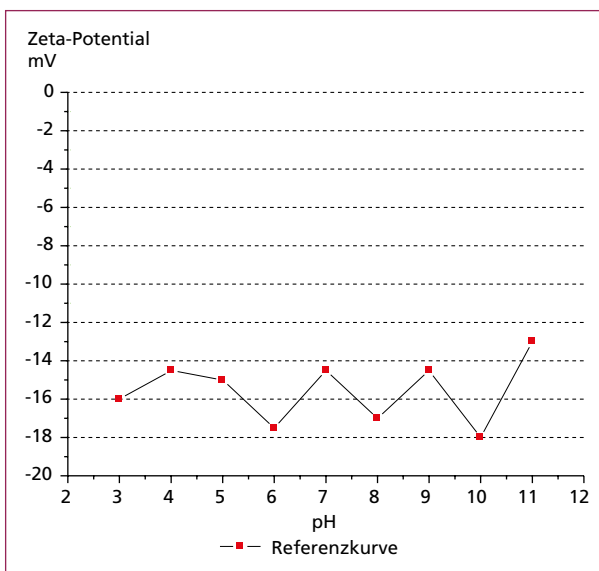
Das elektrokinetische oder Zeta-Potential wurde durch Messung der elektrophoretischen Mobilität der Partikel in der elektrophoretischen Zelle des Ridick-Zetameters bei zuvor hergestellten Lösungen mit entsprechenden Konzentrationen bestimmt und in Bezug auf das Volumen der Zellen des Zetameters folgendermaßen berechnet: Natriumpolyacrylat in Konzentrationen von 50 mg/l und 100 mg/l und Natriumsilikat in Konzentrationen von 5 und 100 mg/l. Diese Konzentrationen wurden ausgehend von der in vorherigen experimentellen Untersuchungen höchsten und niedrigsten erreichten Stabilität von Suspensionen aus Schlacke und Dispersionshilfsmittel gewählt [9].

Untersuchungen zur Flotationsaufbereitung bei Suspensionen aus Schlacke und organischen oder anorganischen Dispersionshilfsmitteln wurden in der Flotationsmaschine des Typs Denver DR-12 mit einer maximalen Drehgeschwindigkeit von 1.600 U/Min. in einer Zelle mit einem Volumen von 1 l durchgeführt.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1. Überprüfung der Stabilität einer Schlackesuspension durch Messung des elektrokinetischen oder Zeta-Potentials

Aufgrund der Tatsache, dass der getestete Rohstoff, die Schlacke, eine *Mischung* aus mehreren Mineralien ist, wird der Begriff *Mittelwert* des elektrokinetischen oder Zeta-Potentials (das mittlere Zeta-Potential) verwendet.



Bestimmte *Mittelwerte* des Zeta-Potentials einer Schlackesuspension in Abhängigkeit des pH-Werts des Mediums, ohne zugesetzte Dispersionshilfsmittel oder Reagenzien, sind in Bild 1 dargestellt (Referenzkurve).

Bild 1:

Mittleres Zeta-Potential von Schlackesuspension ohne zugesetzte Dispersionshilfsmittel und Reagenzien (Referenzkurve)

Die erhaltenen Ergebnisse zeigen eine Beziehung zwischen der Stabilität der Schlackesuspension und dem pH-Wert der Masse. Folgende Verbindungen wurden als Regulatoren der pH-Werte eingesetzt: Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) und Calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Die gemessenen negativen Mittelwerte des Zeta-Potentials wurden bei reiner Schlacke im gesamten Messbereich der pH-Werte festgestellt. Basierend auf den gemessenen Werten des Zeta-Potentials befindet sich die Suspension aus Schlacke mit den Regulatoren für den pH-Wert an der oberen Grenze schwacher Dispersität [6].

Bestimmte Mittelwerte des Zeta-Potentials mit Zugabe des Sammlers KAX in einer Konzentration von 100 mg/l sowie Schwefelsäure und Calciumhydroxid als Regulatoren für den pH-Wert sind in Bild 2 dargestellt.

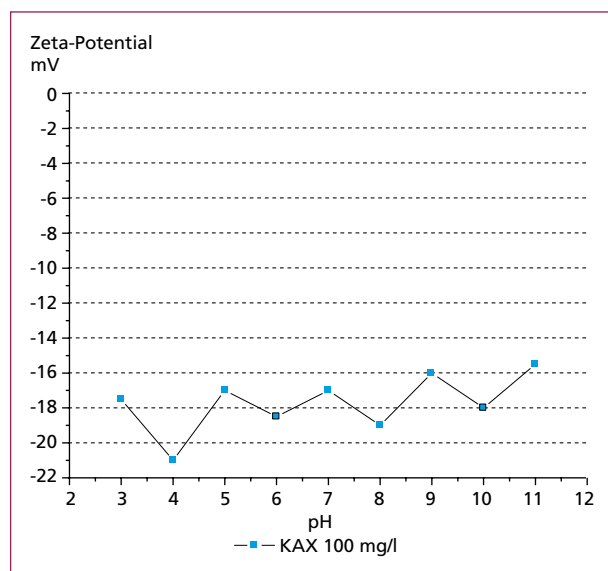


Bild 2:

Mittleres Zeta-Potential von Schlackesuspension mit Zugabe des Sammlers KAX 100 mg/l

Die gemessenen negativen Werte des elektrokinetischen Potentials im Bereich des pH-Werts von 3 ÷ 11 des Mediums kann durch die in der Lösung vorhandenen Anionen erklärt werden. Abhängig von der vorherrschenden Konzentration der Ionen  $\text{H}^+$  und  $\text{OH}^-$  sind die Bedingungen für den Ablauf bestimmter chemischer Reaktionen vorhanden. Gleichzeitig beeinflusst die Adsorption dieser und anderer in der Lösung vorhandener Ionen, die das Potential bestimmende Ionen im inneren Bereich der Doppelschicht sein können, Art und Größe des elektrokinetischen Potentials, also die Stabilität der Suspension, geregelt durch das Zeta-Potential. Es wird angenommen, dass die in der Lösung vorhandenen Anionen, die im inneren Bereich der Doppelschicht adsorbiert werden, auch als die das Potential bestimmende Ionen bekannt, die Ladung der Festphase bestimmen und zusammen mit den Ionen des Kristallgitters feste lösliche Verbindungen bilden [3].

Unter Verwendung von Natriumsilikat als Dispersionshilfsmittel, KAX als Sammler und Schwefelsäure und Calciumhydroxid als Regulatoren für den pH-Wert ergeben sich die in Bild 3 dargestellten Ergebnisse.

Das Dispersionshilfsmittel Natriumsilikat wird in einer Konzentration von 5 mg/l und 100 mg/l hinzugefügt, wie in den vorherigen Laborversuchen [9,10]. Die höchste Stabilität der Schlackesuspension wird bei 5 g/t, die geringste bei 100 g/t Natriumsilikat erreicht.

Bild 3 zeigt, dass bei Zugabe von Natriumsilikat in einer Konzentration von 5 mg/l im Vergleich zu 100 mg/l die höheren Mittelwerte des negativen Zeta-Potentials der Suspension im gesamten getesteten pH-Bereich gemessen wurden. Bei vergleichender Analyse der gemessenen Werte des Zeta-Potentials ohne Dispersionshilfsmittel und Sammler zeigen Bild 1 und 2 deutlich, dass Natriumsilikat als Dispersionshilfsmittel zusammen mit dem Sammler KAX, Bild 3, die Stabilität der Schlackesuspension erhöht. Höhere Werte des Potentials werden außerdem in saurem Medium gemessen (Intervall 3÷5), was durch Polyionen in der Lösung bei geringeren pH-Werten des Mediums, also die vorhandenen Kolloidpartikel der Kieselsäure ( $H_2SiO_3$ ), erklärt werden kann [5]. Unter diesen Bedingungen erreicht eine Suspension eine mäßige bis durchschnittliche Stabilität [6].

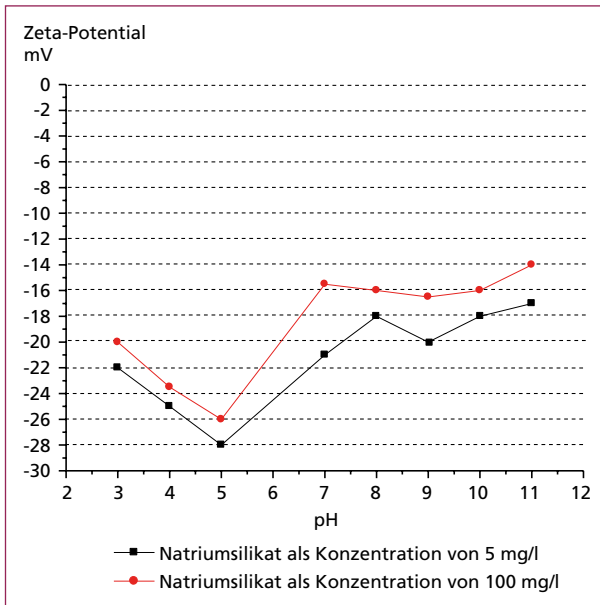


Bild 3:

Vergleichende grafische Darstellung des mittleren Zeta-Potentials von Schlackesuspension mit Zugabe des Sammlers KAX 100 mg/l und Natriumsilikat als Dispersionshilfsmittel in einer Konzentration von 5 und 100 mg/l

Bestimmte Werte des Zeta-Potentials mit Natriumpolyacrylat in Konzentration von 50 und 100 mg/l sind in Bild 4 dargestellt. Natriumpolyacrylat wurde als Dispersionshilfsmittel in Konzentration von 50 und 100 g/t hinzugefügt, wie in den vorherigen Laborversuchen. Mit diesen Konzentrationen wurde die maximale bzw. minimale Stabilität erreicht [10].

Vorhandenes Natriumpolyacrylat  $-CH_2CH(COONa)-$  in einer Konzentration vom 50 mg/l führt zu höheren Mittelwerten des gemessenen Zeta-Potentials im Vergleich zur Konzentration von 100 mg/l in der Suspension, ebenso ohne seine Additive (Bild 1 und 2).

Dies gilt für alle getesteten pH-Werte der Suspension. Die erreichte Stabilität der Suspension mit dem oben genannten Dispersionshilfsmittel kann durch die chemischen Eigenschaften dieser organischen Verbindung erklärt werden [2].

Es kann festgehalten werden, dass eine Suspension aus Schlacke und dem Sammler KAX mittlere Stabilität aufweist [6].

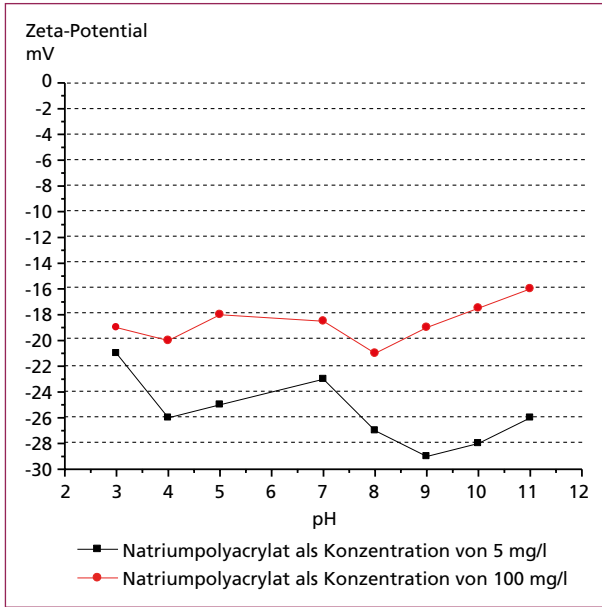


Bild 4:

Vergleichende grafische Darstellung des mittleren Zeta-Potentials von Schlackesuspension mit Zugabe des Sammlers KAX 100 mg/l und Natriumpolyacrylat als Dispersionshilfsmittel in einer Konzentration von 50 und 100 mg/l

### 3.2. Laborversuche zur Flotation von Schlacke unter Zugabe von organischen und anorganischen Dispersionshilfsmitteln

Als Beleg für die Möglichkeit, die Stabilität der Schlackesuspension durch Zugabe von organischen und anorganischen Dispersionshilfsmitteln zu erhöhen, wurden die Versuche zur Flotationsaufbereitung durchgeführt. Es wird eine vergleichende Übersicht des erzielten technologischen Ertrags mit und ohne Zugabe von Bentonit, Natriumsilikat und Natriumpolyacrylat als Dispersionshilfsmittel unter zuvor angepassten Industrieparametern für die Flotation gegeben.

Vergleichende Analysen des erzielten technologischen Ertrags von Kupfer aus Schlacke unter Zugabe des Sammlers KAX ohne Dispersionshilfsmittel und unter Zugabe von Bentonit als Dispersionshilfsmittel werden in den Tabellen 1 bis 4 dargestellt.

Produkt	Masseertrag $R_{m_{Cu}}$ %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag $R_{t_{Cu}}$ %
C (Konzentrat)	12,96	2,96	49,48
T (Rückstände)	87,04	0,45	50,52
I (Eintrag)	100,00	0,77	100,00

Tabelle 2:

Parameter von Schlackenflotation ohne Zugabe von Bentonit (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Schäumer – nach Bedarf)



Produkt	Masseertrag Rm <sub>Cu</sub> %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag Rt <sub>Cu</sub> %
C (Konzentrat)	25,51	2,02	58,05
T (Rückstände)	74,49	0,50	41,95
I (Eintrag)	100,00	0,88	100,00

Tabelle 3:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 1,5 % Bentonit (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Bentonit 1,5 %; Schäumers D-250 – nach Bedarf)

Produkt	Masseertrag Rm <sub>Cu</sub> %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag Rt <sub>Cu</sub> %
C (Konzentrat)	29,17	1,75	61,57
T (Rückstände)	70,83	0,45	38,43
I (Eintrag)	100,00	0,83	100,00

Tabelle 4:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 3 % Bentonit (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Bentonit 3 %; Schäumers D-250 – nach Bedarf)

Produkt	Masseertrag Rm <sub>Cu</sub> %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag Rt <sub>Cu</sub> %
C (Konzentrat)	24,51	1,76	54,87
T (Rückstände)	75,49	0,47	45,13
I (Eintrag)	100,00	0,78	100,00

Tabelle 5:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 5 % Bentonit (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Bentonit 5 %; Schäumers D-250 – nach Bedarf)

Den Tabellen 2 bis 4 kann man entnehmen, dass durch die Zugabe von Bentonit in den Versuchen zur Schlackenflotation deutlich höhere Massen- und technologische Erträge erzielt wurden als bei dem Versuch zur Flotation ohne Zugabe von Dispersionshilfsmittel, Tabelle 1.

Vergleichende Analysen des erzielten technologischen Ertrags von Kupfer aus Schlacke unter Zugabe des Dispersionshilfsmittels Natriumsilikat in einer Konzentration von 5 und 100 g/t werden in den Tabellen 5 und 6 dargestellt.

Produkt	Masseertrag Rm <sub>Cu</sub> %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag Rt <sub>Cu</sub> %
C (Konzentrat)	18,69	2,22	52,05
T (Rückstände)	81,31	0,47	47,95
I (Eintrag)	100,00	0,79	100,00

Tabelle 6:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 5 g/t Natriumsilikat (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Schäumers D-250 – nach Bedarf)

Produkt	Masseertrag Rm <sub>Cu</sub> %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag Rt <sub>Cu</sub> %
C (Konzentrat)	13,58	2,77	46,54
T (Rückstände)	86,42	0,50	53,46
I (Eintrag)	100,00	0,80	100,00

Tabelle 7:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 100 g/t Natriumsilikat (KAX 100 g/t; pH=11÷12; Schäumers D-250 – nach Bedarf)

Die Zugabe von Natriumsilikat als Dispersionshilfsmittel in einer Konzentration von 5 g/t führt zu höheren Masse- und technologischen Erträgen von Kupfer (Tabelle 5) im Vergleich zum erzielten Masse- und technologischen Ertrag von Kupfer unter Zugabe von einer Konzentration von 100 g/t und ohne Zugabe eines Dispersionshilfsmittels, Tabelle 6.

Vergleichende Analysen des erzielten technologischen Ertrags von Kupfer aus Schlacke unter Zugabe des Dispersionshilfsmittels Natriumpolyacrylat in einer Konzentration von 5 und 100 g/t werden in den Tabellen 7 und 8 dargestellt.

Produkt	Masseertrag $Rm_{Cu}$ %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag $Rt_{Cu}$ %
C (Konzentrat)	17,54	2,16	53,45
T (Rückstände)	82,46	0,40	46,55
I (Eintrag)	100,00	0,71	100,00

Tabelle 8:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 50 g/t Natriumpolyacrylat (KAX 100 g/t; pH = 11 ÷ 12; Schäumer D-250 – nach Bedarf)

Produkt	Masseertrag $Rm_{Cu}$ %	Anteil Cu %	Technologischer Ertrag $Rt_{Cu}$ %
C (Konzentrat)	15,91	2,33	49,00
T (Rückstände)	84,09	0,46	51,00
I (Eintrag)	100,00	0,76	100,00

Tabelle 9:

Parameter von Schlackenflotation unter Zugabe von 100 g/t Natriumpolyacrylat (KAX 100 g/t; pH = 11 ÷ 12; Schäumer D-250 – nach Bedarf)

Die Zugabe von Natriumpolyacrylat als Dispersionshilfsmittel in einer Konzentration von 50 g/t zur Schlackesuspension hat Auswirkungen auf die zunehmende Stabilität der Suspension in Bezug auf einen höheren technologischen Ertrag (Tabelle 7) im Vergleich zum Masse- und technologischen Ertrag ohne Zugabe eines Dispersionshilfsmittels.

## 4. Schlussfolgerungen

Entsprechend den gemessenen Mittelwerten des Zeta-Potentials von -13 bis -18 mV im pH-Bereich von 3 ÷ 11, reguliert durch Schwefelsäure und Calciumhydroxid, befindet sich die Schlackesuspension an der oberen Grenze einer schwachen Dispersion. Die Oberflächenladung von Kolloidpartikeln der Schlacke ist negativ.

Unter Verwendung von Natriumsilikat in einer Konzentration von 5 mg/l und KAX in einer Konzentration von 100 mg/l sind die Werte im geprüften pH-Bereich größer als das Zeta-Potential einer Suspension ohne Zugabe der genannten Dispersionshilfsmittel und Sammler. Die Suspension mit diesen Eigenschaften weist eine mäßige bis mittlere Stabilität auf. Es wurden ebenfalls die Mittelwerte des Zeta-Potentials von Schlackesuspension mit Zugabe von Natriumpolyacrylat und des Sammlers KAX gemessen.

In Bezug auf eine höhere Stabilität der Suspension war Natriumpolyacrylat  $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{COONa})-$  in einer Konzentration von 50 mg/l nachweislich effektiver im Vergleich zu Natriumsilikat. Die Suspension mit diesen Eigenschaften weist eine mittlere Stabilität auf. Die erreichte Stabilität der Suspension mit dem oben genannten Dispersionshilfsmittel kann durch die chemischen Eigenschaften dieser organischen Verbindung erklärt werden (Bildung einer Gelstruktur und mögliche Bildung der Polymere, die wichtig für die Stabilität der Suspension sind). Die Bildung des Anions  $\text{COO}^-$  hat großen Einfluss auf die Stabilität der Suspension. Diese Anionen stoßen sich gegenseitig ab, wobei sie sich mit den vorhandenen Carboxylgruppen verbinden und eine Polymerkette bilden.

Die höhere Konzentration von Natriumsilikat und Natriumpolyacrylat von 100 mg/l hat negative Auswirkungen auf die Stabilität der Suspension.

Bei der Analyse der Versuche zur Schlackenflotation mit dem Sammler KAX kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden:

- Die Versuche zur Flotationsaufbereitung bestätigen die positive Auswirkung der eingesetzten organischen und anorganischen Dispersionshilfsmittel auf die Erhöhung der Stabilität der Schlackesuspension.
- Die höhere Stabilität der Schlackesuspension wurde durch den höheren technologischen Ertrag von Kupfer um folgenden Anteil bestätigt: durch Zugabe von Bentonit mit einem Masseanteil von 3 % um etwa 12 %, durch Zugabe von Natriumsilikat in einer Konzentration von 5 g/t um etwa 2,5 % und durch Zugabe von Natriumpolyacrylat in einer Konzentration von 50 g/t um etwa 4 %.
- In Anbetracht des höchsten erreichten technologischen Ertrags von Kupfer hat sich Bentonit im Vergleich zu anderen Dispersionshilfsmitteln als das effektivste herausgestellt.
- Auf die erzielte Stabilität der Schlackesuspension durch Zugabe der oben genannten Dispersionshilfsmittel folgt ein geringer Kupferanteil im Konzentrat.
- Ein höherer technologischer Ertrag von Kupfer wurde durch Verwendung der oben genannten Dispersionshilfsmittel erreicht.

### Danksagung

Die Arbeit ist das Ergebnis sowohl des Projekts TR 33023 *Development of Technologies for Flotation Processing the Copper Ore and Precious Metals in Order to Achieve Better Technological Results* (dtsh.: Entwicklung von Technologien für Flotationsaufbereitung von Kupfererz und Edelmetallen, um bessere technologische Ergebnisse zu erzielen), gefördert durch das Ministerium für Bildung, Wissenschaft und technologische Entwicklung der Republik Serbien, sowie der Masterarbeit *Investigation the Stability of Pulp Formed from Smelting Slag for the Flotation Process* (dtsh.: Untersuchung der Stabilität der Schlackenmasse für das Flotationsverfahren).

## 5. Literatur

- [1] Ćirković, M.: Theoretical and Experimental Studies the Roasting Process of Sulphide Copper Concentrates in the Reactor with Fluidizing Layer Using the Oxygen-enriched Air. Masterarbeit, Fakultät für Technologie und Metallurgie, Universität Belgrad, 1999 (auf Serbisch)
- [2] Feldkamp, J. R.: Computation of Titration Curves for Sodium Polyacrylate Using a boundary Integral/Statistical Mechanical Approach. 25th ACS National Meeting, New Orleans, LA, 2003, S. 23–27
- [3] Gifing, M. M.: Phases of Flotation Pulp. Universität Belgrad – Fakultät für Bergbau und Geologie. Belgrad: 1989 (auf Serbisch)
- [4] Gržetić, I.; Brčeski, I.: Degradation of Bor slag as Contamination Process. Ecological Truth ,95, Hotel Jezero, Bor-See, Verfahren (1995) 95–100 (auf Serbisch)
- [5] Milošević, S.: Theoretical Basis of Flotation Concentration, University of Belgrade – Technical Faculty in Bor. Bor: 1994 (auf Serbisch)
- [6] Ney, P.: Zeta potentiale und Flotierbarkeit von Mineralen Wien-New York: Springer-Verlag, 1973
- [7] Sarrafi, A.; Rahmati, B.; Hassani, H.: Recovery of Copper from Reverberatory Furnace Slag by Flotation. Min. Eng. 17, Ausgabe 3, März (2004) 457–459
- [8] Singh, B. P.; Menchavez, R.; Takai, C.; Fuji, M.; Takahashi, M.: Stability of Dispersions of Colloidal Alumina Particles in Aqueous Suspension. Journal of Colloid and Interface Science, Band 300, Ausgabe 1. 1. August 2006, S. 163–168
- [9] Urošević, D.: Testing the Pulp Stability Formed By the Smelter Slag for the Flotation Process. Masterarbeit, Universität Belgrade – Fakultät für Technische Wissenschaften in der Stadt Bor. Bor: 2008 (auf Serbisch)
- [10] Urošević, D.; Marković, Z.; Šimšić, Z. S.: Testing the Effects of Sodium Polyacrylate and Sodium Silicate Dispersing Agents to Increase the Suspension Stability of Smelter Slag. Journal Mining Engineering, Nr. 4. 2012, S. 147–160