



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: 10 2016 007 030.7

(22) Anmeldetag: 08.06.2016

(43) Offenlegungstag: 18.01.2018

(51) Int Cl.: **C22B 3/10 (2006.01)**

(71) Anmelder:

GbR Projektservice (vertretungsberechtigter Gesellschafter Dr. sc. oec. Lutz Koch, 06295 Lutherstdt Eisleben), 06295 Lutherstadt Eisleben, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 199 46 326 A1
DE 10 2014 209 314 A1

(72) Erfinder:

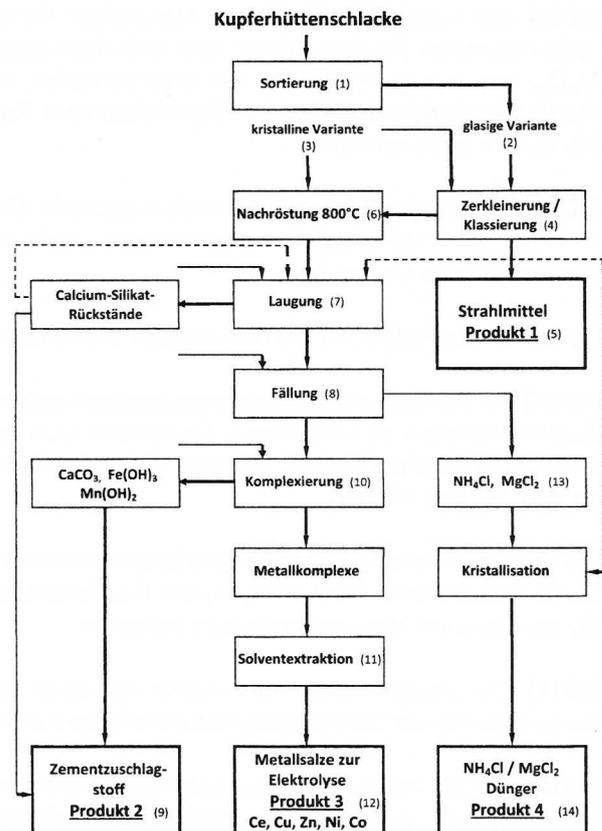
Gock, Eberhard, 38640 Goslar, DE; Miganei, Leila, 38640 Goslar, DE; Koch, Lutz, 06295 Lutherstadt Eisleben, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur vollständigen metallurgischen Aufarbeitung von Mansfelder Kupferschlacken durch Herstellung polymineralischer Massenprodukte**

(57) Zusammenfassung: Das entwickelte Verfahren hat die vollständige Verwertung von Mansfelder Kupferschlacke zum Gegenstand. Durch klassierende Sortierung wird eine Glasfraktion für die Strahlmittelproduktion abgetrennt und eine kristalline Fraktion erzeugt, die einer salzsauren Laugung zur Gewinnung der Schwermetalle unterzogen wird, so dass der weitgehend metallfreie Calciumsilikat-Rückstand einen Zementzuschlagsstoff bildet und die anfallenden chloridischen Lösungen in ein Ammoniumchlorid-Magnesiumchlorid-Produkt überführt werden, das Düngemittelqualität besitzt.



Beschreibung

[0001] Für die Verwertung von Kupferschlacken aus der ehemaligen Kupferschieferverschüttung im Mansfelder Land, die mit 66 Mio. Tonnen angegeben wird [Zobel, H.: Datenbank Mansfelder Kupferschlacke im BMBF-Projekt FKZ033RKO17B. Mansfeld, 2016], gibt es bis heute kein einheitliches Verwertungskonzept. Es werden generell nur Teillösungen angeboten, die neue Rückstände erzeugen, die erneut deponiert werden müssen und durch Veränderung der Kornverteilungen zu neuen Umweltbelastungen durch Staub und Metallelutionen und die Verminderung der Deponiestandfestigkeit führen.

[0002] Eine Teillösung ist die Herstellung von Strahlmitteln für den Korrosionsschutz [Prospektmaterial der Firma ESK Maschinen Vertriebs GmbH/Hamburg, Strahlmittel-Einweg-Kupferschlacke-kantiges Korn, Artikelnummer: 2410269]. Da der erforderliche glasige röntgenamorphe Anteil der Schlacke aber nur 20% ausmacht, lässt sich eine rückstandsfreie Aufarbeitung nicht erreichen.

[0003] Weitere Vorschläge für Teillösungen sind die Schwermetallimmobilisation von MVA-Schlacken durch Zusatz von Kupferschlacke sowie die Herstellung von Alitzement durch Synthetisierung eines Gemisches von Mansfelder Kupferschlacke, MVA-Flugasche und Kalksteinmehl. Das Produkt soll hydraulisch Eigenschaften von Portlandzement erfüllen [Tewelde, M.: Speichermineralbildung und Alinitherstellung aus MVA-Flugasche, Mansfelder Kupferschlacke und Kalksteinmehl. Dissertation. Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, 2004].

[0004] Ein hydrometallurgischer Verfahrensvorschlag für die Aufarbeitung von fayalitischer Kupferschlacke aus Lubumbashi/Kongo mit einer Gesamtmenge von 14 Mio. Tonnen geht von der selektiven Metallextraktion nach schwefelsaurem Aufschluss und Nachröstung unter Zusatz von Schwefel aus [Gock, E.; Banza Numbi, A: Verfahren zum Recycling von Buntmetallen aus Schlacken der Kupfergewinnung, DE 199 46 326]. Es handelt sich ebenfalls um eine Teilverwertung. Aus der Bilanzierung der Massenströme des Prozesses geht hervor, dass pro Tonne Schlackenmaterial 1477 kg Rückstand anfallen, der nicht verwertet wird. Für eine Verwertung der Rückstände wird kein Konzept vorgelegt. Die im Vergleich zur ursprünglichen Schlackenmenge in ihrer Masse und in ihrem Volumen deutlich vergrößerten Rückstände müssen nun zwangsläufig in einem Bergeteich deponiert werden.

[0005] In der metallurgischen Literatur gibt es keine Hinweise auf eine rückstandsfreie Technologie zur Aufarbeitung von Kupferschlacken.

[0006] Die Kupferschlacken des Mansfelder Reviers sind entstanden bei der direkten Verhüttung der dort vorkommenden Kupferschiefer. Sie enthalten rund 50% SiO_2 und rund 20% $\text{CaO} + \text{MgO}$ neben etwa 13% Al_2O_3 , und nur etwa 3% Fe. Sie unterscheiden sich damit signifikant von den sonst typischerweise in der Kupfermetallurgie auftretenden Schlacken vom Fayalit-Typ, die um 40% SiO_2 und um 35% Fe, aber nur um 3% $\text{CaO} + \text{MgO}$ enthalten.

[0007] Vor diesem Hintergrund stellt sich daher die Aufgabe, ein Verfahren zur metallurgischen Aufarbeitung von kristalliner Mansfelder Kupferschlacke sowie ein Verfahren zur vollständigen Verwertung von Mansfelder Kupferschlacke anzugeben.

[0008] Diese Aufgaben werden mit den Merkmalen der Ansprüche 1 bzw. 6 gelöst.

[0009] Es wurde nun ein Verfahrenskonzept gefunden, mit dem es gelingt, Teilkonzepte zu Aufarbeitung von Kupferschlacken zu vermeiden. Es handelt sich um eine nasschemische Technologie, die ein mehrstufiges Gesamtkonzept ermöglicht, mit dem vier polymineralische Produkte für unterschiedliche Industriezweige hergestellt werden können.

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahrenskonzept wird in **Fig. 1** dargestellt: Durch klassierende Sortierung (1) der Kupferschlacke in eine glasige Variante (2) und eine kristalline Variante (3) werden zwei Verwertungswege aufgetan.

[0011] Die glasige Schlackenvariante wird einer stufenweisen Zerkleinerung mit eingeschalteten Klassiereinrichtungen (4) zur Strahlmittelproduktion (Produkt 1 (5)) unterzogen.

[0012] Für die kristalline Schlackenvariante werden die Zerkleinerungsmaschinen aus der Strahlmittelproduktion mitbenutzt, wobei spezifische Klassiereinrichtungen entfallen.

[0013] Das auf < 2 mm zerkleinerte kristalline Schlackenmaterial wird einer Nachröstung (6) im Drehrohfen bei 800°C unterzogen, um die sulfidisch gebundenen Metalle, insbesondere Kupfer zu oxidieren. Der Einsatz von Oxidationsreagenzien bei der Laugung wird damit substituiert.

[0014] Zentrale Idee ist, die selektive Metalllaugung mit konzentrierter HCl (7) unter statischen Bedingungen im pH-Bereich 2 bis 3 durchzuführen. Eine intermediäre Auflösung und Fällung der Silikate, die sich bei hohen Säureanfangskonzentrationen ergeben, kann damit vermieden werden. Aus der metallhaltigen chloridischen Lösung werden mit NH_4HCO_3 teilweise mitgelöstes Calcium als CaCO_3 sowie Eisen und Mangan als Hydroxide zurückgefällt (8). Dieses kollektive Fällungsprodukt wird mit dem silikatischen Rückstandsprodukt (Produkt 2 (9)) wiedervereinigt, sodass das Silizium-/Calciumverhältnis der Ausgangsschlacke erhalten bleibt. Die bei der Fällung ebenfalls ausgefällten Metallcarbonate werden im nachfolgenden Schritt (10) mit NH_4OH als Metallamine komplexiert und nach kollektiver und selektiver Solventextraktion (11) mit Schwefelsäure als Sulfate gestrippt (Produkt 3 (12)). Die reinen Metallsulfatlösungen (12) sind dann die Vorstoffe für die elektrolytische Reinmetallherstellung. Nach der Carbonatfällung (8) fällt eine Ammonium-Magnesium-Chloridlösung (13) an, die nach Kristallisation das Produkt 4 (14) darstellt.

[0015] Zur Charakterisierung der Mansfelder Kupferschlacke, die sich von den üblichen fayalitischen Kupferschlacken durch einen sehr geringen Eisengehalt und einen hohen Gehalt an CaO und MgO unterscheidet, zeigt Tabelle 1 die chemische Analyse. Neben 0,25% Schwefel, der den Sulfidresten zuzuordnen ist, sind 0,5% Kohlenstoff aus dem Schachtofenprozess nachweisbar.

[0016] Die Röntgendiffraktometrie (Diffraktometer Type: Philips Xpert, Cu-Röhre) weist die Glasvariante als röntgenamorph aus. Für die kristalline Variante wurden folgende Mineralisationen ermittelt (Fig. 2):

- Diopsid – $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$,
- Kupfersiliziumzinksulfid – $(\text{Zn}, \text{Cu}, \text{Si})\text{S}$,
- Siliziumoxid – SiO_2 ,
- Zinkaluminiumsulfid – ZnAl_2S_4 .

[0017] In den nachfolgend angegebenen Beispielen werden die Reaktionskinetik und die Produktqualitäten bei der Aufarbeitung von Kupferschlacke beschrieben.

Beispiel 1:

[0018] Der Erfolg der Laugung wird von den Parametern Säureeinsatz, Korngröße, Feststoffgehalt pro Liter, Laugedauer und Temperatur bestimmt.

[0019] Wenn der Laugeprozess nicht erfindungsgemäß mit einer erhöhten Säureanfangskonzentration, d. h. im pH-Bereich < 1 gefahren wird, ist eine intermediäre Auflösung der Silikate unvermeidbar. Mit zunehmendem Verbrauch von Salzsäure und der Erhöhung des pH-Wertes auf 2 bis 3 werden die gelösten Silikate als voluminöser Niederschlag der Form $\text{Si}(\text{OH})_4$ wieder ausgefällt, womit eine 5fache Volumenvergrößerung des Rückstandes nach der Filtration verbunden ist.

[0020] Erfindungsgemäß wird diese Behinderung des Prozesses vermieden, wenn die Laugung unter stationären Bedingungen bei pH 2 bis 3 durchgeführt wird.

[0021] Aus Studien mit den genannten Parametern wird beispielhaft in Tabelle 2 das Laugeverhalten für die Elemente Kupfer, Silizium und Calcium bei einer Laugedauer von bis zu 60 min im pH-Bereich 2 bis 3, bei einer Temperatur von 70°C mit einem Feststoffgehalt von 100 g/l und einer Körnung der totgerösteten Mansfelder Kupferschlacke von 100% < 2 mm angegeben.

[0022] Mit dieser Prozessführung kann der Säurebedarf im Vergleich zu einer stark sauren Laugung mit pH < 1 um 50% reduziert und die Auflösung der Silikatmatrix weitgehend verhindert werden. Weiterhin kann auch die Calciumauflösung herabgesetzt werden, wenn auf eine Feinstmahlung verzichtet wird.

[0023] Bei den Laugeversuchen hat sich generell ergeben, dass die Metalle Ce, Zn, Co und Ni ohne vorlaufende Nachröstung gelaugt werden können. Das Laugeausbringen von Kupfer ist das Maß für die Funktionsfähigkeit des Prozesses. Oxidationsreagenzien wie H_2O_2 bzw. Calciumperoxid in der Laugungsstufe können durch ein vorgeschaltetes Nachrösten der Kupferschlacke im Drehrohfen bei 800°C substituiert werden.

Beispiel 2:

[0024] Das im Rahmen der Verwertungsstrategie anfallende Strahlmittel (Produkt 1) wird in geringen Mengen bereits heute hergestellt und vertrieben. Es handelt um Einwegstrahlmittel für den Korrosionsschutz mit Körnungen zwischen 0,2 mm bis 0,5 mm, 1 mm und 2 mm. In der erfindungsgemäßen Kopplung von hydro-metallurgischer Schlackenaufarbeitung und Strahlmittelproduktion werden die Teilströme zusammengefasst, so dass sich die Produktströme erheblich vergrößern und dadurch ein polymineralisches Gesamtkonzept zur rückstandsfreien Aufarbeitung von Kupferschlacke ergibt.

Beispiel 3:

[0025] Die Verwertung der Calcium-Silikat-Rückstände (Produkt 2) nach der Metallaugung als Zementzuschlagstoff ist ein neuer Ansatz gegenüber dem direkten Einsatz von feingemahlener Schlacke im Ausgangszustand. Im Ausgangszustand können nur Zumischungen zu anderen Zuschlagstoffen wegen der zu hohen Metallgehalte erfolgen. In Tabelle 3 wird die Zusammensetzung der gewonnenen Calcium-Silikat-Rückstände der typischen chemischen Zusammensetzung eines Portlandzementklinkers gegenübergestellt.

[0026] Im Vergleich zur Tabelle 1 ergibt sich durch den Laugeprozess eine brauchbare Annäherung des Laugungsrückstandes an die Zusammensetzung von Portlandzement-Klinker [Büchel, K. H.; Moretto, H. H. und Woditsch, P.: Industrielle Anorganische Chemie. 3. Auflage. Weinheim: WILEY Verlag GmbH, 1999]. Der bei den calcium-silikatischen Laugungsrückständen vorhandene Kalkmangel muss ergänzt werden.

[0027] Stimmig ist der Silikat-Modul, der sich aus dem Verhältnis von SiO_2 zur Summe aus Al_2O_3 und Fe_2O_3 ergibt und die Abbindegeschwindigkeit des Zementes bestimmt. Liegt er zu hoch, ist mit einem langsamen Abbinden des Zementes zu rechnen.

[0028] Aus dem Tonerdemodul mit einem Verhältnis von Al_2O_3 zu Fe_2O_3 von 3 werden die Bedingungen für die Bildung von Tricalciumsilikat erfüllt.

[0029] Die Eigenschaften von Portlandzement werden nach ihren Klinkerphasen bestimmt. Die Phasen, die aus Calcium-Silikat-Rückständen der Mansfelder Kupferschlacke generiert werden können, sind:

- Tricalciumsilikat (Alit)-schnelle Erhärtung/hohe Festigkeit,
- Dicalciumsilikat (Belit)-langsame, stetige Erhärtung/hohe Festigkeit,
- Tricalciumaluminat – schnelles Erstarren/empfindlich gegen saure Wässer.

[0030] Sowohl Tricalciumsilikat als auch Dicalciumsilikat ließen sich nach Ergänzung von CaO nach Brennversuchen mit den Calcium-Silizium-Rückständen der Kupferschlackelaugung bei Temperaturen zwischen 1200 und 1450°C röntgenographisch nachweisen. Die Eignung der Laugungsrückstände als Zementzuschlagstoff ist damit belegt.

[0031] Den Vergleich der Spurenelementkonzentrationen der gelaugten Kupferschlacke mit den minimalen und maximalen Werten bei Portlandzement aus der Literatur zeigt Tabelle 4 [Achterbosch, M.; Bräutigam, K.-R.; Hartlieb, N.; Kupsch, C.; Richers, U. und Stemmermann, P.: Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Coincineration of wastes in Cement kilns with Regard to the Legitimacy of waste Utilisation. Hg. v. Umwelt Bundes Amt. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, 2003]. In allen Fällen außer bei Zn konnten die maximal angegebenen Spurenelementkonzentrationen gedrückt werden.

Beispiel 4:

[0032] Für die selektive Darstellung der Metallsalze durch Solventextraktion bzw. der Elektrolytmetalle (Produkt 3) ergibt sich die Option, kollektive Metallsalzlösungen zu erzeugen und als Zwischenprodukte aus dem Prozess auszuschleusen. Im Hinblick auf die erforderliche rückstandsfreie Aufarbeitung von Mansfelder Kupferschlacke ist die Metallgewinnung eine Nische, für die das Outsourcing die kostengünstigste Variante darstellt.

Beispiel 5:

[0033] Produkt 4 wird mit der Veredelung der erforderlichen Chloridfracht in Form der Kristallisation eines NH_4Cl - MgCl_2 -Spezialdüngers erreicht. NH_4Cl wird in Verbindung mit Magnesiumsalzen in den asiatischen Ländern für den Reisanbau eingesetzt. Reis ist gegen nitrathaltige Düngemittel empfindlich [Winnacker, K. und

Küchler, L.: Chemische Technik. Prozesse und Produkte. Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte, 3. Band. S. 283, Leipzig: Wiley-VCH-Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005].

Tabellen:

Tab. 1: Chemische Analyse von Kupferhüttenschlacke aus Mansfeld

Elemente	ppm	Seltene Erden	ppm
Aluminium	72.705	Cer	57
Arsen	102	Dysprosium	< 5
Barium	428	Erbium	< 5
Kohlenstoff	2.300	Europium	< 5
Calcium	150.846	Gadolinium	< 10
Kobalt	134	Holmium	< 5
Chrom	264	Lanthan	25
Kupfer	2.276	Lutetium	< 5
Eisen	26.943	Neodym	29
Kalium	29.759	Praseodym	< 5
Magnesium	30.044	Samarium	< 5
Mangan	2.592	Terbium	< 5
Molybdän	322	Thulium	< 5
Natrium	21.548	Ytterbium	< 5
Nickel	118	Radioaktive Elemente	ppm
Phosphor	1.041		
Blei	805	Thorium	< 25
Schwefel	2.585	Uran	< 200
Silizium	220.189		
Strontium	294		
Titan	4.155		
Vanadium	1.564		
Yttrium	33		
Zink	12.109		

Tab. 2: Laugeversuche von Kupferschlacke mit Salzsäure bei pH von 2 bis 3 am Beispiel von Kupfer, Silizium und Calcium

Laugedauer [min]	Ausbringen [%]		
	Cu	Si	Ca
5	60	8,5	33
15	70	8	38
30	75	7	40
50	85	6	41
60	90	5	43

Tab. 3: Gegenüberstellung der chemischen Zusammensetzungen der Calcium-Silikat-Rückstände der Schlackenaufarbeitung und der eines Portlandzement-Klinkers

Anteil [%]	Calcium-Silikat-Rückstände	Portland-Zement-Klinker
SiO ₂	50,4	16–26
CaO	15,4	58–67
Al ₂ O ₃	12,2	4–8
MgO	4,3	1–5
Fe ₂ O ₃	4	2–5
K ₂ O/Na ₂ O	2,6/0,7	0–1
Mn ₂ O ₃	0,5	0–3
SO ₃	0,1	0,1–2,5
TiO ₂	0,3	0–0,5
P ₂ O ₅	1,5	0–1,5

Tab. 4: Gegenüberstellung der Spurenelementkonzentrationen der Laugungsrückstände von Mansfelder Kupferschlacke und der von Rohmehl/Portlandzement

Spurenelemente	Rohmehl/Portlandzement		Laugerrückstände Mansfelder Kupferschlacke
	Max	Min	
Cd	6	0,03	< 0,5
Co	21	3	17
Cr	712	25	100
Cu	98	14	38
Mn	3901	107	700
Ni	97	14	22
Pb	254	5	216
Tl	4,1	0,02	< 2,5
Zn	6	0,03	250

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19946326 [0004]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Zobel, H.: Datenbank Mansfelder Kupferschlacke im BMBF-Projekt FKZ033RKO17B. Mansfeld, 2016 [0001]
- Prospektmaterial der Firma ESKK Maschinen Vertriebs GmbH/Hamburg, Strahlmittel-Einweg-Kupferschlacke-kantiges Korn, Artikelnummer: 2410269 [0002]
- Tewelde, M.: Speichermineralbildung und Alinitherstellung aus MVA-Flugasche, Mansfelder Kupferschlacke und Kalksteinmehl. Dissertation. Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, 2004 [0003]
- Büchel, K. H.; Moretto, H. H. und Woditsch, P.: Industrielle Anorganische Chemie. 3. Auflage. Weinheim: WILEY Verlag GmbH, 1999 [0026]
- Achternbosch, M.; Bräutigam, K.-R.; Hartlieb, N.; Kupsch, C.; Richers, U. und Stemmermann, P.: Heavy Metals in Cement and Concrete Resulting from the Coincineration of wastes in Cement kilns with Regard to the Legitimacy of waste Utilisation. Hg. v. Umwelt Bundes Amt. Forschungszentrum Karlsruhe in der Helmholtz-Gemeinschaft, 2003 [0031]
- Winnacker, K. und Küchler, L.: Chemische Technik. Prozesse und Produkte. Anorganische Grundstoffe, Zwischenprodukte, 3. Band. S. 283, Leipzig: Wiley-VCH-Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005 [0033]

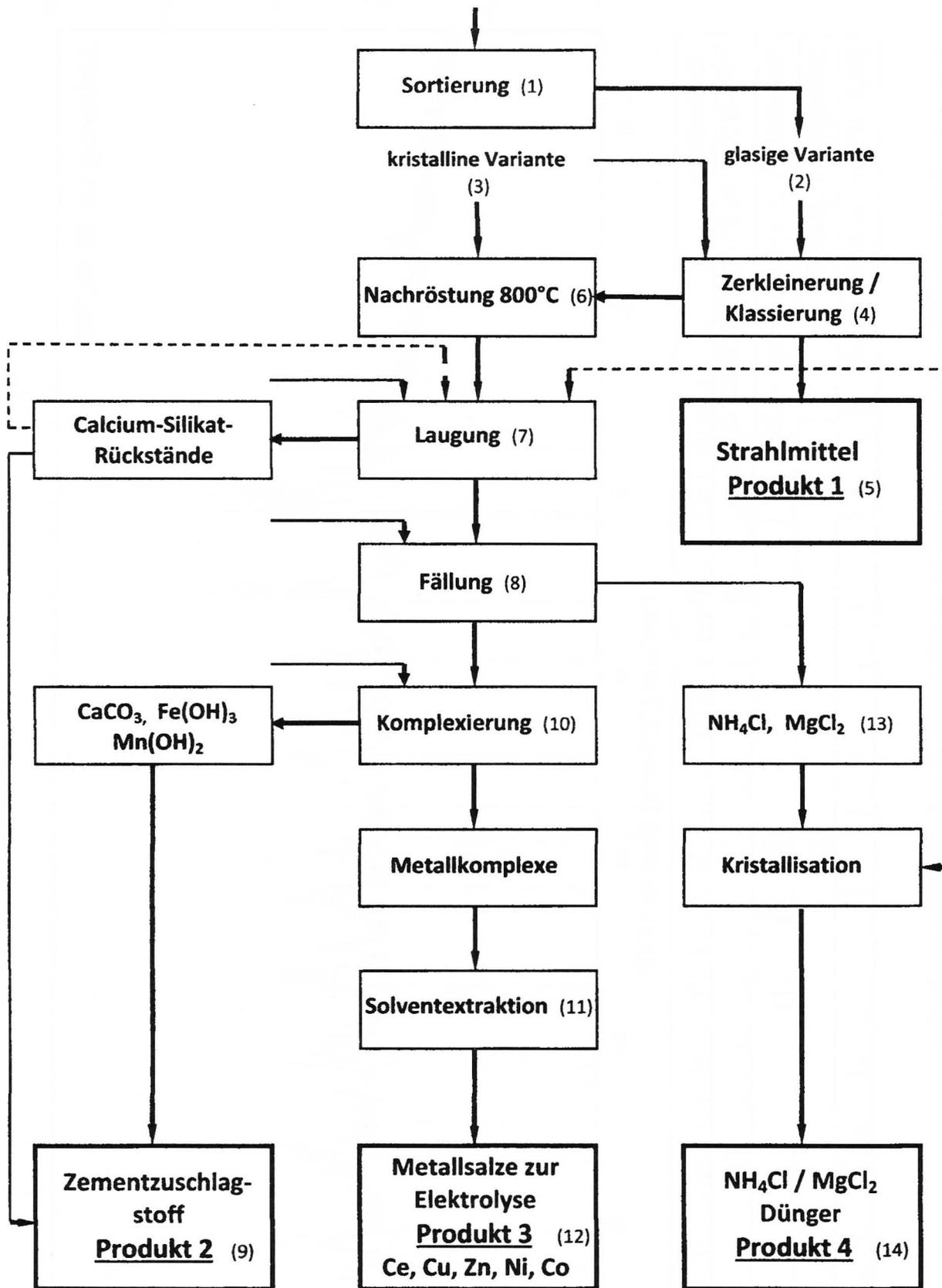
Patentansprüche

1. Verfahren zur vollständigen metallurgischen Aufarbeitung kristalliner Mansfelder Kupferschlacke, wobei
 - in einer ersten Stufe vorhandener Restschwefel durch Rösten entfernt und eine totgeröstete Schlacke erhalten wird,
 - in einer zweiten Stufe aus der totgerösteten Schlacke die Schwermetalle Kupfer, Kobalt, Zink, Nickel und Cer durch selektive salzsaure Laugung gelöst und abgetrennt werden, wobei der pH-Wert konstant im Bereich zwischen 2 und 3 gehalten wird, sodass ein weitgehend schwermetallfreies Calciumsilikat im Rückstand verbleibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, dass Silikatauflösungen und damit verbundene Gelbildungen weitgehend vermieden werden und die Calciumauflösung minimiert wird.
3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die salzsaure Laugung bei mindestens 70°C durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Feststoffkonzentration der totgerösteten Schlacke mindestens 100 g/l beträgt.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die obere Korngröße der zu laugenden, totgerösteten Schlacke maximal 2 mm beträgt.
6. Verfahren zur vollständigen Verwertung von Mansfelder Kupferschlacke, wobei
 - durch sortierende Klassierung eine amorphe Glasfraktion für die Strahlmittelproduktion von einer kristallinen Fraktion abgetrennt wird,
 - die kristalline Fraktion einer metallurgischen Aufarbeitung gemäß dem Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche unterzogen wird,
 - das weitgehend metallfreie Calciumsilikat als Zuschlagstoff zur Zementherstellung verwendet wird, und
 - aus den anfallenden chloridischen Lösungen ein Ammoniumchlorid-Magnesiumchlorid-Produkt gewonnen wird, das als Düngemittel verwendet werden kann.
7. Verfahren zur vollständigen Verwertung von Mansfelder Kupferschlacke nach dem vorangehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass das aufgelöste Calcium als Carbonat gefällt und dem Calcium-Silikat-Rückstand zur Ergänzung wieder zugesetzt wird und damit Calciumverluste vermieden werden.
8. Verfahren zur vollständigen Verwertung von Mansfelder Kupferschlacke nach dem vorangehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die nach der Carbonatfällung anfallenden ammonium- und magnesiumhaltigen Chloride in einen Spezialdünger für den Reisanbau überführt werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

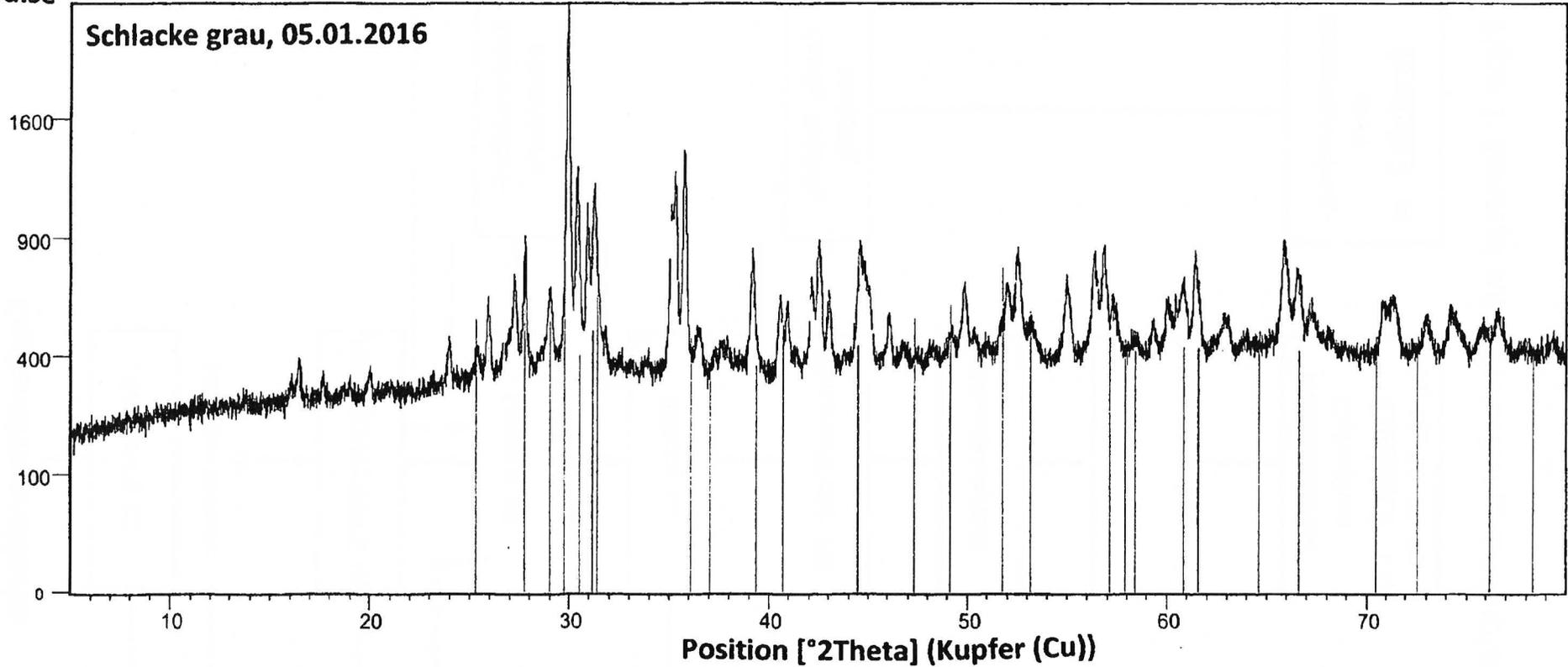
Anhängende Zeichnungen

Kupferhüttenschlacke



Figur 1: Konzept zur Aufarbeitung von Kupferschlacke

Impulse



Reflexliste
00-025-0154; Ca (Mg, Al) (Si, Al) ₂ O ₆ ; Diopside, aluminian, syn
00-014-0542; (Zn, Cu, Si) S; Copper Silicon Zinc Sulfide
00-016-0380; Si O ₂ ; Silicon Oxide
00-032-1459; Zn Al ₂ S ₄ ; Zinc Aluminium Sulfide

Figur 2: Röntgendiffraktogramm von kristallisierter Kupferhüttenschlacke