

Brevet N°

du 6 janvier 1987

Titre délivré 23 AOUT 1988

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre  
de l'Économie et des Classes Moyennes  
Service de la Propriété Intellectuelle  
LUXEMBOURG

6.7.88

aj. 18 m.

# Demande de Brevet d'Invention

## I. Requête

Axel Schlosser, Schillerstrasse 7, D-4000 Düsseldorf, (1)  
représenté par Monsieur Jean Waxweiler, 55 rue des Bruyères, (2)  
Howald, agissant en qualité de mandataire

dépose(nt) ce six janvier mil neuf cent soixante-sept (3)  
à 15,00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg: (4)

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:  
Verfahren zur Gewinnung von Schwermetall-Ionen aus Pyriten (5)  
und Ligandenmaterial

2. la description en langue allemande de l'invention en trois exemplaires:

3. / planches de dessin, en trois exemplaires;

4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 06.01.1987;

5. la délégation de pouvoir, datée de le

6. le document d'ayant cause (autorisation);

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont): (6)  
Axel Schlosser, Schillerstrasse 7, D-4000 Düsseldorf

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de (7)  
le (9) / déposée(s) en (8) /

sous le N° (10) /

au nom de (11) /

élit(élisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg (12)  
55 rue des Bruyères, Howald

solicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées, (13)  
avec ajournement de cette délivrance à 18 mois. (14)

Le déposant/mandataire: Waxweiler

## II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, (15)  
Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du: 06.01.1987

à 15,00 heures

Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,

p. d.

Le chef du service de la propriété intellectuelle,

A 68007

### EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE DÉPÔT

(1) s'il y a lieu: "Demande de certificat d'addition" au brevet principal. à la demande de brevet principal No. .... du ..... (2) inscrire les nom, prénom, profession, les nom, prénom, adresse du mandataire, lorsque celui-ci est un particulier ou les dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(voir) désignation séparée (suivra)" lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner" lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt completé, le cas échéant, par l'indication de l'office receveur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du demandeur - (13) adresse du mandataire - (14) adresse du demandeur - (15) adresse du demandeur

Brevet N°

du 6 janvier 1987

Titre délivré

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Monsieur le Ministre  
de l'Économie et des Classes Moyennes  
Service de la Propriété Intellectuelle  
LUXEMBOURG

6.7.88

aj. 18 m.

# Demande de Brevet d'Invention

## I. Requête

Axel Schlosser, Schillerstrasse 7, D-4000 Düsseldorf, (2)  
représenté par Monsieur Jean Waxweiler, 55 rue des Bruyères,  
Howald, agissant en qualité de mandataire

dépose(nt) ce six janvier mil neuf cent soixante-sept (4)  
à 15,00 heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg:

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant:  
Verfahren zur Gewinnung von Schwermetall-Ionen aus Pyriten und Ligandenmaterial (5)

2. la description en langue allemande de l'invention en trois exemplaires:

3. / planches de dessin, en trois exemplaires:

4. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg, le 06.01.1987 :

5. la délégation de pouvoir, datée de le :

6. le document d'ayant cause (autorisation);

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont): (6)  
Axel Schlosser, Schillerstrasse 7, D-4000 Düsseldorf

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de (7)  
déposée(s) en (8) /

le (9) /

sous le N° (10) /

au nom de (11) /

élit(élisent) domicile pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg (12)  
55 rue des Bruyères, Howald

solicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les annexes susmentionnées, (13)  
avec ajournement de cette délivrance à 18 mois.

Le déposant/mandataire: (14)

## II. Procès-verbal de Dépôt

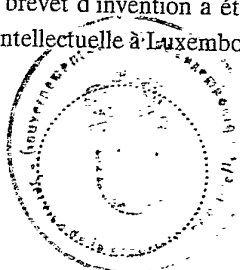
La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes,  
Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du: 06.01.1987

à 15,00 heures

Pr. le Ministre de l'Économie et des Classes Moyennes,

p. d.

Le chef du service de la propriété intellectuelle,



A 68007

### EXPLICATIONS RELATIVES AU FORMULAIRE DE DÉPÔT

(1) s'il y a lieu "Demande de certificat d'addition au brevet principal" à la demande de brevet principal No ..... du ..... (2) inscrire les nom, prénom, profession, adresse du demandeur, lorsque celui-ci est un particulier ou les dénomination sociale, forme juridique, adresse du siège social, lorsque le demandeur est une personne morale - (3) inscrire les nom, prénom, adresse du mandataire agréé, conseil en propriété industrielle, muni d'un pouvoir spécial, s'il y a lieu: "représenté par ..... agissant en qualité de mandataire" - (4) date de dépôt en toutes lettres - (5) titre de l'invention - (6) inscrire les noms, prénoms, adresses des inventeurs ou l'indication "(voir) désignation séparée (suivra)", lorsque la désignation se fait ou se fera dans un document séparé, ou encore l'indication "ne pas mentionner", lorsque l'inventeur signe ou signera un document de non-mention à joindre à une désignation séparée présente ou future - (7) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité, brevet européen (CBE), protection internationale (PCT) - (8) Etat dans lequel le premier dépôt a été effectué ou, le cas échéant, Etats désignés dans la demande européenne ou internationale prioritaire - (9) date du premier dépôt - (10) numéro du premier dépôt complet, le cas échéant, par l'Union de l'Office receveur CBE/PCT - (11) nom du titulaire du premier dépôt - (12) adresse du demandeur

B E S C H R E I B U N G

ZU EINER PATENTANMELDUNG

IM

GROSSHERZOGTUM LUXEMBOURG

---

Axel Schlosser  
Schillerstrasse 7  
D-4000 Düsseldorf

Verfahren zur Gewinnung von Schwermetall-  
Ionen aus Pyriten und Ligandenmaterial

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur wirtschaftlichen Gewinnung von Schwermetallen bzw. Schwermetall-Ionen aus Liganden Material. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Gewinnung von  
5 Schwermetall-Ionen oder Schwermetallen aus Eisen-Oxid-Liganden.

Liganden sind Verbindungen höherer Ordnung bei welchen im Mittelpunkt eines Kristallgitters das Zentralatom, richtiger das Zentralion, steht. Häufig ist das Zentralion ein  
10 Schwermetall-Ion mit kleinem Radius wie z.B. Fe, Cr, Co, Ni, Pt, Cu, Ag, Au, Pd, Rh, Ir, Ru usw. Auch Nichtmetalle können die Rolle des Zentralatoms übernehmen.

Um dieses Zentralatom gruppieren sich in regelmässiger, räumlicher Anordnung weitere Atome, Ionen, Radikale oder Moleküle, die man mit dem Sammelbegriff Liganden bezeichnet. In  
15 vielen Fällen bilden die Zentralatome mit den Liganden stabile Bindungen, sodass sie bei der Auflösung der Verbindung höherer Ordnung zusammen bleiben und nicht oder nur wenig in Ionen oder sonstige Bruchstücke zerfallen. Solche stabilen Zentralatom-Ligandengruppen bezeichnet man auch als  
20 Komplexe. Diese Komplexe sind sehr stabil und ihre chemischen Eigenschaften so grundverschieden von den einzelnen vorliegenden Ionen, Radikalen oder Molekülen dass die einzelnen Bestandteile und insbesondere. die Schwermetalle wie z.B. Platin, Gold, Palladium, usw. mit gewöhnlichen Analysemethoden  
25 nicht mehr nachweisbar sind. Der Komplex kann ein Anion, ein Kation oder ein neutrales Molekül sein. (Prof. Dr. Herrman ROEMPP, Chemielexikon 6. Aulage, Band 2)..

Bekannte Schwermetalle enthaltende Liganden sind z.B. spezifische Eisenoxide, Hochofenschlacke, Flugasche, Lava.  
30 In diesen Liganden können die Schwermetalle als sogenannte Triads in Form von Kugelpackungen vorliegen. Triad No. 1 umfasst Ruthenium, Rhodium und Palladium, Triad No. 2 umfasst Osmium, Iridium und Platin wobei Triad No. 3 sich  
35 aus Gold, Silber und Kupfer zusammensetzt. Bei diesen Triads handelt es sich ausschliesslich um ionische Elemente mit

nicht gefüllter äusserer Elektronenschale. (siehe Werner-sche Koordinationslehre).

Obschon bekannt war, dass diese Ligandenmaterialien relativ hohe Edelmetallgehalte, insbesondere Platinide, enthalten, war die Extraktion der enthaltenen Schwermetalle bisher kaum wirtschaftlich durchzuführen-. Pyritabbrände, Ligandenmagnete u.ä. Materialien werden häufig als Abraum deponiert oder als Füllstoffe beim Strassenbau etc. verwendet.

Durch Treibofenprozesse wird zwar bereits aus Pyriten "Güldischsilber" im Edelmetall-Konverter hergestellt, jedoch ist dieses Verfahren teilweise sehr kostspielig und bei gewissen Ligandenmaterialien überhaupt nicht wirtschaftlich.

Es war somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Aufbrechung des Liganden-Kristallgitters zu beschreiben unter gleichzeitiger Bildung von Schwermetallen, Schwermetallsalzen und Schwermetall-Legierungen.

Ueberraschenderweise wurde gefunden, dass Ligandenmaterialien mit einer Mischung aus organischer und anorganischer Säure eine heftige Reaktion eingeht. Nach dem Abklingen der Reaktion konnten metallische Schwermetalle, Schwermetallsalze und Schwermetall-Legierungen im unlöslichen Rückstand nachgewiesen werden. Es ist somit offensichtlich, dass durch Reaktion einer organischen und anorganischen Säure mit Ligandenmaterial das Kristallgitter des Liganden aufgebrochen und Schwermetalle freigesetzt werden.

Der Reaktionsmechanismus ist nicht bekannt. Es wird angenommen, dass durch die Reaktion der organisch/anorganischen Säuremischung, die eine theoretische hohe Wasserstoffabgabe hat, mit dem Ligandenmaterial Zuerst Wasserstoff freigesetzt wird. Nun ist bekannt, dass gewisse Schwermetallionen die Eigenschaft haben, Wasserstoff in grossen Mengen aufzunehmen. So kann z.B. Palladium ein mehr hundertfaches bis mehr tausendfaches seines Volumens an Wasserstoff aufnehmen. Der naszierende Wasserstoff, welcher vermutlich bei der Reaktion der anorganisch/organischen Säuremischung mit dem Ligandenmaterial gebildet wird, durchdringt

das Kristallgitter und gelangt somit an die eingelagerten Schwermetall-Ionen. Diese haben eine ungesättigte Edelgas-schale welche durch den Wasserstoffaufgefüllt wird. Es wird angenommen, dass die Schwermetall-Ionen hierbei Edelgaskon-figuration erhalten und sich derartig aufblähen, dass sie das Kristallgitter sprengen und in einer atomaren oder molekularen Verbindung vorliegen. Während dieses Reaktionspro-zesses fängt die organische mit der anorganischen Säure an zu reagieren. Hierdurch erfolgt eine Oxidation oder Reduk-tion der Schwermetallverbindungen zum Metall.

Gemäss der Erfindung wird das Ligandenmaterial, wie z.B. Magnetit, Pyritabbrand, Hochofenschlacke, Flugasche oder Lava tribochemisch durch eine entsprechende Mühle behandelt. Es wurde festgestellt, dass die Reaktion umso effektiver ist, je feiner die Korngrösse ist. Das Material sollte somit min-destens auf eine Korngrösse von weniger als 0.1 mm, ab bevor-zugtesten etwa 0.07 mm vermahlen werden.

Dieses vermahlene Ligandenmaterial wird mit einer Mischung einer weichen organischen Säure (z.B. Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure, Zitronensäure, Apfelsäure) und einer anorganischen Säure (wie z.B. Salpetersäure, Salzsäure, Schwefelsäure) versetzt. Das Mischungsverhältnis der organischen Säure zur anorganischen Säure liegt bei 1:3, bevorzugt wird ein Volumenverhältnis von 32:68. Das Verhältnis von Ligandenmaterial zur Säure liegt bei -: 0.5 bis 1:3. Bevorzugt wird das Verhältnis 1:2.

Die Säuremischung muss jeweils frisch zubereitet und sofort verwendet werden, da sie nach ca. 1 Stunde mit sich selbst sehr heftig reagiert. Die Säuremischung wird unter Rühren bei Raum-temperatur zugesetzt und auf ca. 50°C zur Beschleunigung der Reaktion erhitzt. Sobald die Reaktion anspringt, ist diese sehr heftig. Diese heftige Reaktion klingt nach ca. 20 - 30 Minuten ab. Die Mischung reagiert noch weitere ca. 2 Stunden langsam weiter. Während der ersten Reaktion entsteht eine grosse thermische Entwicklung und das Gemisch heizt sich auf bis zu 150°C auf. Wie schon oben angedeutet ist die Reaktionsdauer

abhängig von der Feinheit des Korns des Ligandenmaterials. Auch die eingesetzte Säuremischung kann die Reaktionsdauer beeinflussen.

Nach der Reaktion wird das Rühren eingestellt. Im Reaktionsgefäß bilden sich zwei Schichten, eine flüssige und eine unlösliche Schicht. Die flüssige Schicht weist eine charakteristische Färbung auf, die zwischen gelb und dunkelrot variieren kann. Die Flüssigkeit wird abgegossen und filtriert. Die erhaltene Flüssigkeit, deren Volumen erheblich kleiner ist als das Ausgangsvolumen der Säuren, reagiert noch stark sauer (pH 2,0).

Nach Prüfung im Atomabsorptionsspektroskop (AAS) weist die Flüssigkeit neben Eisen, Kupfer und Mangan einen Anteil von Gold (2 - 8 ppm), Platin (0,5 - 7 ppm) und Ruthenium (36 ppm) aus. Diese Metallgehalte sind durch herkömmliche Methoden zu extrahieren (z.B. Elektrolyse o.a.).

Der feste, unlösliche Rückstand wird im Verhältnis 1 : 2 mit Wasser versetzt und gewaschen. Das Wasser nimmt innerhalb von 30 Minuten eine dunkelgelbe Färbung an. Das Waschwasser wird filtriert und im AAS gemessen. Es sind immer noch Gehalte an Gold (ca. 2 ppm), Platin (0,2 - 1,2 ppm) und Ruthenium (10 ppm) durch das AAS messbar.

Der ungelöste Rückstand wird getrocknet. Bereits im feuchten Zustand sind mit dem blossen Auge kleinere und grössere Edelmetallpartikel erkennbar. Diese werden durch herkömmliche Methoden (Magnetabscheidung, Cyanidlaugerei, Thioharnstofflaugerei u.ä.) extrahiert.

#### Beispiel

Als Ligandenmaterial wurde Magnetit verwendet, dessen Eisenoxidgehalt bei ca. 75% lag. Das Magnetit enthielt ungefähr 6% Silikate (Andradit), als Nebenelemente Natrium, Magnesium,

Aluminium, Silicium, Phosphor, Schwefel, Calcium, Mangan, Zink, sowie Spuren Kalium, Titan, Cobalt und Kupfer. Weiterhin konnte durch Vergleichsproben aus dem Material im AAS Gold, Silber, Platin, Palladium, Osmium, Iridium, Rhodium, Ruthenium, Rhenium, Gallium, Vanadium und Lutetium nachgewiesen werden. Das Magnetit wurde auf eine Korngrösse von etwa 0.07 mm vermahlen.

In einem 5 l dickwandigem Becherglas wurden 150 g des Rohmaterials mit <sup>300 ml</sup> einer Mischung aus 130 Vol. Teilen 98%iger Ameisensäure und 170 Vol. -Teilen 65%iger Salpetersäure unter Rühren bei Raumtemperatur versetzt. Der Säuremischung, die einen ph-Wert von -0,6 hat, haben wir die Bezeichnung Sitarinsäure gegeben. Danach wurde der Magnetrührer auf ca. 50°C aufgeheizt und innerhalb von 5 Min. entstand eine äusserst heftige Reaktion einhergehend mit einer extrem starken Rauchentwicklung und einer exothermen Reaktion. Die Flüssigkeit heizte sich auf annähernd 200°C auf. Diese starke Reaktion klang nach ca. 15 Minuten ab, das Gemisch reagierte jedoch noch ca. 2 Stunden lang weiter. Die Flüssigkeit, die sich tiefdunkelrot verfärbt hatte, wurde vom festen Rückstand abgegossen und filtriert. Das Flüssigkeitsvolumen von rund 300 ml bei Beginn der Reaktion hatte sich auf ca. 120 ml reduziert. Der ph-Wert der Flüssigkeit lag bei ph 2,0.

Die saure Flüssigkeit wurde mit dem AAS geprüft und es konnten Gehalte an Gold, Platin, Ruthenium und Osmium nachgewiesen werden.

Der feste, ungelöste Rückstand wurde mit 300 ml dest. Wasser ausgewaschen und filtriert. Das Waschwasser wurde zur Prüfung dem AAS zugeführt und es konnte Platin, Palladium, Gold, Ruthenium und Osmium nachgewiesen werden.

Der unlösliche Rückstand wurde getrocknet und wieder vermahlen und fein auf eine Glasplatte verteilt. Unter die Glasplatte wurde ein Magnet geführt um - soweit es unter diesen primitiven Bedingungen möglich war - das Eisen vom Andrädit und den sichtbaren, gelb und silbrig glänzenden Metallpartikeln zu trennen.



Der verbleibende Andradit-Metallpartikel Rückstand, der noch mit schwarzen Magnetitpartikeln verunreinigt war, wurde doki-mastisch über Bleiglätte im Schmelzofen bei  $1.000^{\circ}\text{C}$  kollektiert. Der erhaltene Bleikönig (Regulus) wurde in verdünnter Sal-petersäure gelöst. Es verblieb ein unlöslicher Rückstand. Der in der verd. Salpetersäure gelöste Teil wurde abgefilter und das Filtrat dem AAS zur Prüfung zugeführt. Es ergab sich eine - auf eine metrische Tonne hochgerechnete - Ausbeute von:

93 Gramm Gold  
700 Gramm Platin  
1.800 Gramm Ruthenium  
28 Gramm Palladium  
8 Gramm Silber  
12 Gramm Osmium

Der Gehalt an Rhodium und Iridium konnte aufgrund fehlender Einrichtung nicht gemessen werden.

Weitere Versuche wurden mit Pyritabbbrand durchgeführt. Die Resultate betrugen dort - hochgerechnet auf eine metrische Tonne -

31 Gramm Gold  
350 Gramm Platin  
400 Gramm Ruthenium  
2 Gramm Silber  
8 Gramm Osmium

Auch Versuche mit einer Mischung von Essigsäure/Salpetersäure waren erfolgreich, jedoch hat sich die Mischung Ameisensäure/Salpetersäure als günstiger erwiesen.

Weiter wurden Versuche mit einem Material gefahren welches eine Korngrösse von etwa 2 mm hatte. Auch hier wurden gleiche Resultate erzielt, jedoch lag die Reaktionszeit um 30% höher mit Bezug auf ein Material einer Korngrösse von etwa 0,07mm.

Die vorliegende Erfindung beschreibt somit ein wirtschaftliches Verfahren zur Gewinnung von seltenen und teuren Schwermetallen aus bisher als wertlos erachtete Liganden-Materialien.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufbrechen von Kristallgitter von Ligandenmaterial, dadurch gekennzeichnet, dass tribochemisch behandeltes (vermahlenes) Ligandenmaterial bei Raumtemperatur unter Rühren mit einer Mischung aus einer organischen und einer anorganischen Säure versetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass durch die organisch/anorganische Säuremischung eine Säuremischung mit einer theoretisch hohen Wasserstoffabgabe und einer theoretisch hohen Reduktionsfähigkeit eingesetzt wird.
3. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass als organische Säure Ameisensäure und als anorganische Säure Salpetersäure eingesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass als organische Saure Essigsäure und als anorganische Säure Salpetersäure eingesetzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Ligandenmaterial auf eine Korngrösse von weniger als 0,1 mm vermahlen wird.
6. Verfahren \_\_\_\_\_ zur Gewinnung von Schwermetallen aus Ligandenmaterial und Pyriten gemäss dem Verfahren einer der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch das Versetzen des Ligandenmaterials mit einer Mischung aus organischer und anorganischer Säure bei Raumtemperatur unter Rühren, Rühren der Reaktionsmischung während 1 bis 2 Stunden, Trennung der Flüssigkeit von einem unlöslichen Rückstand, Isolierung der Schwermetalle aus der Flüssigkeit durch herkömmliche Verfahren, z.B. Elektrolyse
7. Verfahren zur Gewinnung von Schwermetallen aus Ligandenmaterial und Pyriten nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch Waschen des unlöslichen Rückstandes mit Wasser bei Raumtemperatur unter Rühren.  
Aufarbeitung der Waschflüssigkeit durch bekannte Elektrolyse bzw. elektrochemische Verfahren zur Gewinnung der Schwermetalle-.
8. Verfahren zur Gewinnung von Schwermetallen aus Ligandenmaterial und Pyriten nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch Trocknen und Vermahlen des unlöslichen Rückstandes Separieren der Schwermetalle durch Magnetabscheider.

Aufarbeiten der separierten Edel- bzw. Schwermetalle durch herkömmliche Verfahren (z.B. Schmelzen resp. lösen und elektrolysieren)

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass die organische Säure mit der anorganischen Säure im Verhältnis 1:3 gemischt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass das Ligandenmaterial oder Pyrite und das Gemisch aus anorganisch/organischer Säure im Verhältnis (g/ml) 1:0,5 bis 1:3 eingesetzt werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der unlösliche Rückstand mit Wasser im Verhältnis 1:2 versetzt wird.
12. Verfahren nach Ansprüche 6 bis 10 dadurch gekennzeichnet, dass die im Rückstand verbleibenden Schwermetalle durch herkömmliche Magnetabscheidung, Schmelzverfahren, Cyanidlaugerei u.ä. isoliert werden.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Ligandenmaterial ausgewählt wird aus Eisenoxiden, Hochofenschlacke, Flugasche, Pyriten oder Lava.
14. Verfahren nach Anspruch 13 dadurch gekennzeichnet, dass als Ligandenmaterial Magnetit eingesetzt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 13 dadurch gekennzeichnet, dass als Ligandenmaterial Pyritabbrand eingesetzt wird.