



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 11 038 T2** 2005.10.20

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 272 680 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 11 038.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US01/10137**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 928 333.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/075184**

(86) PCT-Anmeldetag: **29.03.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **11.10.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **08.01.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **25.05.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.10.2005**

(51) Int Cl.⁷: **C22B 23/00**

C22B 3/08, C22B 1/14, C22B 1/00

(30) Unionspriorität:

539063 30.03.2000 US

(73) Patentinhaber:

BHP Minerals International Inc., Houston, Tex., US

(74) Vertreter:

**Huss und Kollegen, 82467
Garmisch-Partenkirchen**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**DUYVESTYEN, P., Willem, Reno, US; LIU,
Houyuan, Sparks, US; DAVIS, J., Michael,
Valentine, AU**

(54) Bezeichnung: **AUSLAUGUNG EINES NICKELHALTIGEN ERZHAUFENS MIT SCHWEFELSÄURE**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung einer Haufenauslaugung zum Auslaugen von Nickel enthaltendem Erz, um Nickel zu gewinnen. Insbesondere ist die vorliegende Erfindung auf ein Verfahren zur Haufenauslaugung von Nickel enthaltendem Erz gerichtet, das eine fühlbare Tonkomponente hat (d.h. mehr als 10 Gew.-% Ton). Noch spezieller ist die vorliegende Erfindung auf ein ökonomisches Verfahren zum Haufenauslaugen von Nickel enthaltenden Lateriterzen gerichtet, die eine fühlbare Ton- bzw. Lehmkomponente haben.

[0002] Lateriterzablagerungen sind historisch zugunsten von höherwertigen Sulfidablagerungen übersehen worden, obwohl sie eine ergiebige Quelle von magerem Nickelerz sind. Nun beginnen leicht abbaubare Schwefelerzkörper zu verschwinden und in Kombination mit zunehmenden Umweltbedenken der Verarbeitung dieser Erze werden lateritische Ablagerungen eine zunehmend wichtige Quelle für Nickel und Kobalt dieser Welt.

[0003] Bisher sind die Verfahren zum Extrahieren von Nickel aus Lateriterzen teure und/oder energieintensive Verfahren. Beispielsweise ist es bekannt, das Lateriterz zu schmelzen, was sehr energieintensiv ist. Es ist auch bekannt, daß Lateriterz mit Schwefelsäure unter Druck auszulaugen, was teure Autoklaven, Drucktanks usw. erfordert und hochgradig korrosiv ist. Es gibt also ein Bedürfnis nach einem wirtschaftlich effektiven Verfahren zum Erhalten von Nickel aus Lateriterzen.

[0004] Ein Beispiel ist in US 4,124,588 beschrieben, wobei Lateriterze, die große Mengen von Silizium enthalten, zerkleinert und dann mit Schwefelsäure gemischt werden. Wasser wird dann hinzugefügt, um eine Sulfatierungsreaktion einzuleiten. Danach wird Wasser benutzt, um das Sulfatierungsprodukt auszulaugen.

[0005] Haufenauslaugung ist eine herkömmliche Methode zum ökonomischen Herauslösen von Metallen aus mageren Erzen. Allgemein beinhaltet es einfach das Aufschütten von Roherz, das direkt von einer Erzlagstätte genommen wird, zu Haufen, deren Höhe variiert. Die Auslaugungslösung (Lauge) wird auf die Spitze des Haufens aufgebracht, um durch den Haufen nach unten zu sickern. Die austretende Lauge gelangt beispielsweise in perforierte Drainagerohre, die am Boden der Basis neben dem Haufen angeordnet sind. Die Abflußrohre richten die ausfließende Lauge in ein Sammelrohr zum Transport zu einer Verarbeitungsanlage, wo die Metallwerte von dem Ausfluß getrennt und gewonnen werden.

[0006] Obwohl Haufenauslaugung sehr erfolgreich angewandt wurde, um Metallwerte wie Kupfer, Gold, Silber und Uran zu gewinnen, ist das Haufenauslaugungsverfahren nicht vorgeschlagen worden, um Nickel aus speziellen Lateriterzen zu gewinnen, die eine fühlbare Ton- bzw. Mergelkomponenten enthalten. Ein Beispiel einer Haufenauslaugung von Uran ist in FR 2 593 193 gezeigt. Das in dieser Anmeldung offenbarte Verfahren erfordert das anfängliche Brechen von Partikeln in eine Kornverteilung eines solchen Wertes, daß sie eine Uran-tragende Lösungsausbeute von etwa 75% erlaubt. Die Anmeldung befaßt sich aber nicht mit Lateriterzen, die eine wesentliche Tonkomponente haben.

[0007] Außer ein Gattungsbegriff für spezielle Tonminerale zu sein, beinhaltet „Ton“ auch eine Partikelgröße. Nach John Bichard (Oil Sands, Composition and Behaviour; Alberta Oil Sands Technology and Research Authority, Edmonton 1987, pp. 3–7), wird "clay" häufig definiert als ein Material unter 325 mesh (< 44 µm) Größe.

[0008] Die Tonminerale haben eine Anzahl gemeinsamer Eigenschaften. Ihre strukturelle Klassifikation basiert auf zusammengesetzten Schichten, die aus Komponenten mit tetraedrisch und octaedrisch koordinierten Kationen gebildet sind. Die meisten von ihnen treten als Platypartikel in feinkörnigen Aggregaten auf, wenn sie mit Wassergewinnungsmaterialien gemischt sind, die variierende Grade von Plastizität haben. Die Tonminerale werden allgemein in vier geschichtete Mineralgruppen klassifiziert, die Kaolinit, Fett-Ton (Montmorillonit), Vermikulit und Illit sind. Die chemische Zusammensetzung der Tonminerale ist prinzipiell wasserhaltige Silikatminerale von Aluminium oder Magnesium.

[0009] Der Typ der Tonmineralformation ist abhängig vom ursprünglichen Gestein und der physikalisch-chemischen Umgebung der Tonbildung. Beispielsweise sind Tonminerale, die mit porphyrischer Kupfermineralisation verbunden sind, deutlich verschieden von Tonminerale, die mit der lateritischen Nickelmineralisation verbunden sind. Die Tonminerale, die mit Porphyrkupfer verbunden sind, sind primär sauer und Zwischengestein (reich an Kieselerde), das an starker hydrothermalen Veränderung leidet, um Kaolinit, Illit und Montmorillonit zu bilden. Im Gegensatz hierzu wird der Ton, der mit Nickelsaprolit und Limonit verbunden ist, durch nahe Ober-

flächenverwitterung von relativ instabilen ursprünglichen Gesteinen wie basischen oder ultrabasischen (wenig Siliziumdioxid) geformt.

[0010] Allgemein wurde gefunden, daß die meisten Ablagerungen von Nickel-Kobalt-Laterit drei Hauptzonen enthalten, die auf Morphologie, Mineralogie und chemischer Zusammensetzung basieren. Diese drei Zonen von der Basis bis zur Oberseite von verwitterten ursprünglichen Grundgesteinmaterialien sind die Saprolitzzone, die Übergangszone und die Limonitzzone mit großen Variationen in der gesamten Dicke der Ablagerung sowie in der Dicke der einzelnen Zone. Die Saprolitzzone besteht aus drei getrennten Subzonen: Gesteinssaprolit, Saprolit und Eisensaprolit. Diese Saprolitzzone besteht vorherrschend aus „saprolitischer Serpentine“ und einer großen Vielzahl von Nickel-Magnesium-Silikat-Mineralien, die zu der Septochloridgruppe der Mineralien gehören, die in „An introduction to the rock Forming Minerals“ by Deer, Howie and Zussman; Longman Group Limited, London, UK, 1983, definiert sind. Septochlorite (allgemeine chemische Formel: $A_6(B_4O_{10})(OH)_8$, wobei A Mg, Fe, Ni und/oder Al darstellt und wobei B Si, Fe und/oder Al darstellt, sind charakterisiert durch serpentinähnliche Schichten, wobei jede Schicht eine tetraedrale $(SiAl)_2O_5$ Komponente hat, mit ihr verbunden durch eine Tri-octahedrale brucite-Typ (MgO) Verbindung. Verschiedene Anordnungen von gestapelten Schichten sind möglich und geben den Lateritablagerungen ihre geschichtete und tonige Struktur. Der Witterungsprozeß oder die Serpentinisation des ultrabasischen Grundgesteins (arm an Nickel (~0,2%) und reich an Eisen enthaltendem Magnesium Olifinmineral (~5%)) ist charakterisiert durch eine Verringerung von Mg in dem ultrabasischen und ein Wachsen in Ni und Fe nach oben. Die resultierende Saprolitzzone enthält zwischen 0,5 und 4% Ni.

[0011] Die nicht gut begrenzte Übergangszone besteht im wesentlichen aus nontronitartigen Tonen (Smectitgruppe) und Quarz. Sie enthält üblicherweise auch Ni in der Größenordnung von 1,0 bis 3,0% mit koexistierendem Co im Bereich von 0,08% bis 1 % Co (verbunden mit Asbolan, ein wasserhaltiges Manganoxid). Die Limonitzzone (mit Nickel im Bereich von 0,5 bis 1,8%) besteht aus einem oberen Hematit-reichen Abschnitt und einem unteren Goethit-reichen Abschnitt und ist reich an Fe, Al, und Cr. Manchmal ist die Verwitterung noch nicht vollständig beendet und entweder die an Hematit- oder Goethit-reichen Abschnitte sind noch nicht vorhanden. In Abhängigkeit von der klimatischen Bedingung kann außerdem die Limonitzzone noch restliche Eisen-Aluminium-Silikate enthalten wie Chlorit, das Nickeleisen-haltig ist.

[0012] Der Lateritationsprozeß tritt hauptsächlich in tropischen und subtropischen Umgebungen auf, wo warme, feuchte und gut entwässerte Umweltbedingungen vorherrschend sind. Dieser Prozeß tritt mit langsamer Auflösung von Olivin und Pyroxen entlang Mikrobrüchen und an Korngrenzen dieser Minerale auf, wodurch üblicherweise lösliches Metall wie Magnesium entfernt wird und poröse Silikat-(Serpentine), Silika-(Chalcedony, Tridimit) und Eisen-Skelett (Siebtextur) oder Kastenwerk oder manchmal Siebtextur speziell für Serpentine zurückbleiben.

[0013] Im tropischen feucht-trockenen Klima ist die Tonformation mehr vorherrschend wegen geringer Drainage und einer Umgebung mit hohem pH. Außerdem wurde berichtet, daß in Bereichen, in denen die Drainage gering ist, zuerst ein grünes Eisen-reiches Silicagel geformt wird und dann eine Rekristallisation des Gels über eine Zeit auftritt, um Nontronit (Fe-Smectit oder Grenalit), Hectorit (Ni-Smectit) und Saponit (Mg-Smectit) zu bilden. Nontronitmineralprofile sind im tropischen Klima mit verlängerten Trockenabschnitten üblich, beispielsweise an der Elfenbeinküste, Nickelablagerungen in Westaustralien, Cuba, Brasilien etc. Amorphes Eisen-Nickel-reiches Silicagel ist in mehreren westaustralischen Lagerstätten wie Bulong und den Nickelablagerungen Murrin Murrin verbreitet. Diese Silikagele sind vollständig, jedoch langsam in sauren Lösungen lösbar.

[0014] Es wurde gefunden, daß die Permeabilität von Lateriterzen weitgehend durch den Typ des Mineralauftretens, der Mineralmorphologie und der Partikelgröße bestimmt wird. Obwohl die Mineralogie von lateritischen Erzen ziemlich komplex und weitgehend variabel von Lagerstätte zu Lagerstätte ist, gibt es einige Gemeinsamkeiten oder Ähnlichkeiten der Mineralmorphologie in den weltweiten Lateritnickelablagerungen, beispielsweise Oolithe und Pissolite von Eisenoxiden im Ferrikrethorizont, Maschen oder Siebtextur von Serpentine, Skelett- oder Siebtextur von Chalcedonikquarz und Eisenoxiden. Diese morphologischen Strukturen verbessern die Permeabilität der Lösung und sorgen für physikalische Stabilität der einzelnen Minerale. Obwohl keine experimentellen Daten vom Verhalten von Nontronit auf Permeabilität verfügbar sind, ist zu erwarten, daß Nontronit Eigenschaften hat, die ähnlich denjenigen anderer smectitischer Tone sind.

[0015] Nontronit in Lateriterz tritt jedoch häufig mit Silikabox-Works, Precursorsilicagel und amorphen Übergangsverbindungen zwischen Gel und Nontronit auf. Die Mineralmorphologie von ausgefällten Silikagels wird nicht allgemein in Prophyrkupfererzablagerungen gefunden.

[0016] Während das Haufenauslaugen von Kupfererzen als eine Einheitsoperation bekannt ist, gibt es mehrere Unterschiede zwischen der Haufenauslaugung von Kupfer enthaltenden Erzen, die auch einige Tonkomponenten enthalten, und Lateriterzen, die eine wesentliche Tonkomponente haben.

[0017] Beispiele solcher Nickel enthaltenden Erze mit einer wesentlichen Tonkomponente finden sich in der folgenden Tabelle, in der rheologische Eigenschaften einer Anzahl von verschiedenen Lateriterzen angegeben sind.

	Erztyp	Feststoffgehalt	Streckgrenze	Binghamviskosität
		(Gew.-%)	(Dyne/cm ²)	(centipoise)
westaustralisches Erz	Limonit/Saprolit	25	722	80
Neukaledonisches Erz	Limonit	28	40	11
Neukaledonisches Erz	Saprolit	28	1700	57
Neukaledonisches Erz	Mischung	28	400	18
Indonesisches Erz	Limonit	30-40	< 150	< 15

[0018] Die hohe Streckgrenze und Viskosität des Erzschlammes kann zu einer unadäquaten Bewegung bei Hochdruckauslaugungsoperationen oder Auslaugungsoperationen bei atmosphärischen Druck führen.

[0019] Außerdem können diese Erze die folgende Partikelgrößenverteilung haben.

Kumulative Partikelgrößenverteilung (Gew.-% Durchgang)		
Nickellimoniterz	Mikrometer	Nickelsaproliterz
80	37	30
100	297	45
	841	50
	1680	58
	6350	84

[0020] Die obige Tabelle zeigt klar, daß sowohl Limonit als auch Saprolitnickelerze signifikante Mengen von sehr feinem Material und einen signifikanten Tongehalt haben.

[0021] US-Patent 5,571,308 beschreibt einen Prozeß der Haufenauslaugung von Lateriterzen, die im hohen Maße Magnesium enthalten, wie Saprolit. Das Patent gibt an, daß das „clay-type“ bzw. tonartige Saprolit während der Filtration eine geringe Permeabilität hat. Als eine Lösung für dieses Problem gibt das Patent an, daß die Pelletierung des Erzes ein wichtiges Mittel ist, um eine gleichförmige Verteilung des Flüssigkeits-Reaktionsmittels durch den Haufen sicher zu stellen und um Pellets ausreichender Formintegrität bereitzustellen, um dem gravimetrischen Strom stand zu halten, und trotzdem die gewünschte Permeabilität zur Berieselung oder Durchsickern der Reaktionsmittellösung durch den Haufen zu gewährleisten. Die berichtete Berieselungsströmungsmenge war 10l/h/m², die an dem hohen Ende der herkömmlichen Kupfer- und Goldhaufenauslaugungspraktiken herrscht. Nickellaterite haben einen ziemlich hohen Säureverbrauch (hunderte von Kilogramm Säure pro Tonne Erz gegenüber etwa 10 kg/t Kupfererz) wegen des löslichen Magnesiumgehalts, so daß eine Haufenauslaugung mit geringer Strömung eine lange Zeit erfordern könnte. Beispielsweise könnte die Haufenauslaugung von Nickellateriterz zwei bis fünf Jahre bei dieser Berieselungsströmung erfordern, um eine annehmbare Niclextraktion (> 80%) zu erhalten. Daher ist die Beschleunigung der Nickelauslaugungskinetik ein wichtiger Punkt für den technisch-ökonomischen Erfolg der Haufenauslaugung von Nickellateriterz.

[0022] Die Haufenauslaugung von Lateriten durch Schwefelsäure bei Umgebungstemperaturen wird berichtet in Heap leaching of Poor Laterites by Sulphuric Acid at Ambient Temperatures, S. Agatzini, et al., Hydrometallurgy 1994, Institution of Mining and Metallurgy, London, 1994 page 193-208. Dabei hatte das Lateriterz die folgende Partikelgrößenverteilung:

Partikelgröße (μm)	Gew.-%
+ 850	80,2
-850 bis + 360	4,5
-360 bis + 180	4,8
-180	10,5

[0023] Daraus ist zu ersehen, daß dieses Erz grob war und damit sehr fähig, da es nicht feingekörnt ist und somit nicht viel Ton enthält. Außerdem bestand das beschriebene Erz aus Nickelchlorid, Hematit, Quarz, Chromit und kleinen Mengen von Talg, Illit und Diaspor. Das Erz war charakterisiert durch eine pisolithartige Textur mit Pisolithen, die aus mikrokristallinen Hematitaggregaten bestehen, die in eine peliomorphe rote Matrix eingesetzt sind. Die Matrix bestand primär aus Quarz- und Chromitkörnern umgeben von Chlorit und fein dispergiertem Hematit und sekundärem Illit und Diaspor. Das geeignete Gestein enthielt keine aufquellenden smektitartigen Tone wie Nontronit, Saponit und Hectorit. Außerdem enthielt das berichtete Erz einen signifikanten Gehalt von Kalkstein (5,68 % CaO), das im Allgemeinen niemals in einer Menge über einigen wenigen 100 ppm in einem typischen Nickellaterit vorliegt. Außerdem enthielt das berichtete Erz nicht Goethit, das sich stets in typischen Nickellateriterzen findet. Somit befaßt sich dieses Dokument nicht mit der Haufenauslaugung eines Nickel enthaltenden Erzes, das eine substantielle Tonkomponente enthält.

[0024] Eine verwandte Veröffentlichung, Extraction of nickel and cobalt from greek lowgrade nickel oxide ores by heap leaching, S. Agatzini-Leonardou, et al, Hydrometallurgy and Refining of Nickel and Cobalt, Proceedings of the Nickel-Cobalt 97 International Symposium (Aug. 1997), pp 489–502, beschreibt das Extrahieren von mageren Nickelerzen mit verdünnter Schwefelsäure. Das beschriebene Erz ist sehr kompetent und enthält keine hochtonigen Erze.

[0025] Auf ähnliche Weise beschreibt GR 1 001 555 die Extraktion eines gering oxidierten Erzes. Das Erz wird entweder mit Wasser oder verdünnter Schwefelsäure abgebraut, so daß das Erz etwa 10% Feuchtigkeitsgehalt enthält. Das beschriebene Erz scheint ähnlich dem oben beschriebenen zu sein.

[0026] Es wurde berichtet, daß dann wenn das Lateriterz trocken aufgehäuft wird, die Laugenlösungssickerung gering bis unmöglich ist. Die Beobachtung der geringen Durchsickerung wurde so erklärt, daß sie das Ergebnis der absorbierenden Eigenschaft der Tonbestandteile ist, die nach Benetzung mit der Laugenlösung aufquellen und die vorhandene Porosität verschließen. Wegen der geringen Permeabilität ist eine geringe Berieselungslänge erforderlich, so daß die Auslaugungslösung das Nickel wirkungsvoll auslaugen kann, wodurch die Auslaugung eine unerwünscht lange Zeit in Anspruch nimmt.

[0027] Das Verfahren der vorliegenden Erfindung löst dieses Problem durch Vorbehandlung des Erzes mit einer konzentrierten Säure, um physikalisch und/oder chemisch die feinen Tonpartikel zu agglomerieren. Es wird angenommen, daß die konzentrierte Säure die Tonminerale und Metallsilikate spaltet und das Silikagel löslich macht, so daß wieder abgeschiedenes Silika und abgeschiedene Metallsulfate als ein Bindemittel wirken, die beim Härten einen ziemlich stabilen Pellet bilden. Diese Pellets ermöglichen vorteilhafterweise, wenn sie zu einem Haufen geformt sind, eine hohe Sickerungsflußgeschwindigkeit. Infolge dessen ist die Auslaugungszeit wirtschaftlich.

[0028] Die vorliegende Erfindung lehrt, wie eine Haufenauslaugung durchzuführen ist, um die Gewinnung von Nickel mit maximaler Effektivität unabhängig von dem Gewinnungsvorgang zum Extrahieren des Nickels aus dem Ausfluß zu maximieren. Insbesondere löst die vorliegende Erfindung das Problem des Extrahierens von Nickel (und Kobalt) aus solchen Nickel enthaltenden Lateriterzen, die eine fühlbare Tonkomponente haben.

Zusammenfassung der Erfindung

[0029] Die vorliegende Erfindung sieht ein Verfahren zum Haufenauslaugen von Lateriterzen vor, die eine beträchtliche Tonkomponente haben. Allgemein enthält das Verfahren die Schritte der Erzvorbehandlung, Haufenbildung und Haufenbehandlung. Die Erzvorbehandlung enthält die Schritte der Erzauswahl, Größenreduzierung (wenn erforderlich) und Pelletisierung des Erzes. Insbesondere enthält das Verfahren der vorliegenden Erfindung folgendes:

- a) Ausbilden wenigstens eines Haufens aus einem Gemisch von Erz und konzentrierter Schwefelsäure, wo-

bei das Gemisch die Form von agglomerierten Partikeln hat;

b) Aufbringen einer Auslaugungslösung von 0,1 % bis 20% Schwefelsäure auf die Spitze des Haufens mit einer ersten vorbestimmten durchschnittlichen Strömungsmenge, wobei ein Auslaugungsbad an einem Boden des Haufens gebildet wird; und

c) Leiten des Auslaugungsbad-Outputs von Schritt b) in einem Produktlaugensumpf zur direkten Abgabe an eine Verarbeitungsanlage zum substantiellen Extrahieren von Nickelwerten. Die Behandlung des Haufens schließt die Schritte des Aufbringens einer Säure mit einer hohen Durchsickerungsströmung, um beschleunigte Haufenauslaugungskinetik als Folge der Pelletierung zu erreichen, Eisenkontrolle innerhalb des Haufens und eine Verringerung des Säureverbrauchs ein. Alternativ sieht das Verfahren der vorliegenden Erfindung die Behandlung einer geeigneten Anzahl von Haufen im Gegenlauf vor.

[0030] In einer bevorzugten Ausführungsform enthält das Verfahren die Reduzierung des Nickel-enthaltenen Erzes, das eine substantielle Tonkomponente hat, auf eine durchschnittliche Partikelgröße von weniger als 2,54 cm (1 inch) vor. Die verkleinerten Partikel werden zu Pellets geformt, indem sie mit einer konzentrierten Säure (bevorzugt konzentrierte Schwefelsäure) gemischt werden und indem sie beispielsweise in einer Drehscheibe, Trommel oder anderen geeigneten Vorrichtung agglomeriert werden. Die Schwefelmenge, die zum Agglomerieren der Pellets benutzt wird, ist allgemein die Menge, die erforderlich ist, um das Erz sofort zu neutralisieren. Mit anderen Worten ist die Säure allgemein die Menge zum Neutralisieren des vollständig verfügbaren MgO. Im Allgemeinen beträgt die Menge der Säure 20 bis 100 kg von (100%) Säure pro Tonne Erz.

[0031] Die agglomerierten Pellets können dann über eine geeignete Zeitspanne gehärtet werden, die zwischen einer Stunde und mehreren Tagen liegt. Die Pellets werden dann zu einem Haufen geformt, der eine Basis und eine Spitze hat. Eine Auslaugungslösung wird auf die Spitze des Haufens aufgebracht und sickert nach unten durch den Haufen. Die Laugenlösung (Lösung) wird am Boden gesammelt und kann rezirkuliert werden, gesammelt werden zur Nickel- (und/oder Kobalt-) Gewinnung oder eine Kombination von beidem. Die Auslaugungslösung enthält Schwefelsäure, jedoch sind andere Säuren wie Salzsäure und Salpetersäure ebenfalls verwendbar.

[0032] Der Haufen kann dann mit Wasser (entweder Frischwasser oder Salzwasser), konzentrierter oder verdünnter Säure oder einer Kombination von diesen gespült werden, wobei der Ausfluß zur Gewinnung von Metallwerten gesammelt wird.

[0033] In der folgenden Beschreibung und den beigefügten Ansprüchen beziehen sich die Ausdrücke „substantielle Tonkomponente“ und „fühlbare Tonkomponente“ auf solche Erze, die wenigstens 10 Gew.-% Ton enthalten, insbesondere wenigstens 20% Ton (clay) und noch spezieller mehr als 25% Ton. Außerdem bedeutet der Begriff „Ton“ in der Verwendung der Beschreibung und Ansprüche alle Feststoffe mit einer Partikelgröße unter 44 micron.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0034] [Fig. 1](#) ist ein Diagramm, das die Partikelgrößenverteilung von Erzen zeigt, die im Beispiels 1 weiter unten beschrieben ist.

[0035] [Fig. 2](#) ist ein Diagramm, das die Ergebnisse von Permeabilitätstests verschiedener Erze mit variierender Haufenhöhe mit und ohne Pelletisierung zeigt.

[0036] [Fig. 3](#) zeigt die Wirkung steigender Aufbringungsmängel der Auslaugungslösung auf die Nickelextraktionsrate unter Verwendung von 50g/l H_2SO_4 Auslaugungslösung, wenn das Nickel enthaltende Erz vorbehandelt war, d.h. gemäß der vorliegenden Erfindung pelletisiert.

[0037] [Fig. 4](#) zeigt die Wirkung einer steigenden Aufbringungsmenge der Auslaugungslösung auf die Nickelextraktionsrate unter Verwendung 100 g/l H_2SO_4 Auslaugungslösung, wenn das Nickel enthaltende Erz vorbehandelt war, d.h. gemäß der vorliegenden Erfindung pelletisiert.

[0038] [Fig. 5](#) zeigt die Wirkung einer steigenden Aufbringungsmenge der Auslaugungslösung auf eine Kupferextraktionsrate unter Verwendung von bis zu 14 g/l H_2SO_4 Laugenlösung ohne Pelletisierung.

[0039] [Fig. 6](#) zeigt ein Fußdiagramm einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0040] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Haufenauslaugung von Lateriterzen vorgesehen, die eine substantielle Tonkomponente enthalten. Das Verfahren enthält das Verkleinern, falls erforderlich, eines Nickel-enthaltenden Erzes, das eine substantielle Tonkomponente hat, auf eine durchschnittliche Partikelgröße von weniger als 1 Inch. Es versteht sich für den Fachmann, daß dann, wenn das Erz bereits eine kleine Partikelgröße hat, eine Verringerung der Größe nicht erforderlich oder notwendig ist.

[0041] Die reduzierten Partikel werden zu Pellets geformt, in dem sie mit einer konzentrierten Säure (vorzugsweise Schwefelsäure) gemischt werden und in dem sie beispielsweise in einer Drehscheibe, Trommel oder einem anderen geeigneten Gerät agglomeriert werden. Die agglomerierten Pellets werden allgemein über eine Zeitspanne gehärtet, die von einer Stunde bis zu mehreren Tagen dauern kann, in Abhängigkeit von der Beendigung des „chemischen Verbindungsprozesses“, der stattfindet. Der chemische Verbindungsprozeß besteht aus dem Wiederaufschluß des ausgefällten Silikagels unter Lösung von Eisen und Magnesium aus dem Erz mit der starken Säure, die für die Pelletisierung verwendet wird. Während des Härtungsprozesses verdampft überschüssiges Wasser und einiges Wasser wird als Kristallwasser genommen und bewirkt ein Wiederausfällen eines Magnesium-Eisen-Silikagel „Leims“, der als ein chemisches Bindemittel zwischen den Festpartikeln wirkt und feste Pellets bildet, die eine bestimmte physikalische Festigkeit haben. Die Aushärungszeit ist eine Funktion der Menge des überschüssigen oder freien Wassers, das aus der „Leim“-Phase entfernt werden muß.

[0042] Ohne an eine spezielle Theorie gebunden zu sein, wird angenommen, daß der obige Agglomerationsvorgang eine offene Struktur mit sich bringt, der die Auslaugungskinetik verbessert.

[0043] Wie oben erwähnt, beträgt bei der Kupferauslaugung der Säureverbrauch etwa 10 bis 50 kg pro Tonne Erz. Wenigstens ein Teil der Säure wird von dem Kalzium-, Aluminium- und/oder Magnesiumgehalt des Erzes verbraucht. Als ein Ergebnis wird etwa 0,5 kg für jedes Kilogramm Säure gelöst. In Folge dessen werden bei einem Säureverbrauch von etwa 25 kg pro Tonne Erz etwa 12 kg Erz oder etwa 1,2% des Erzes gelöst.

[0044] Im Gegensatz hierzu verbraucht Nickel-enthaltendes Erz etwa 600 kg Säure pro Tonne Erz. Etwa die Hälfte der Säure wird für die Säure von MgO verbraucht, und der Rest wird zur Lösung von Eisen, Aluminium und/oder Nickel verbraucht. Deshalb verbrauchen 600 kg Säure etwa 300 kg Feststoffe in dem Erz oder etwa 30% des Erzes. Dies bedeutet etwa den 25-fachen Gewichtsverlust, der bei der Kupferauslaugung erfolgt. Als ein Ergebnis dieses Gewichtsverlustes wird angenommen, daß die resultierenden agglomerierten Pellets eine offenere Struktur haben, insbesondere im Vergleich zu Kupfer. Die agglomerierten Pellets werden dann zu einem Haufen mit einer Basis und einem Gipfel geformt. Die Auslaugungslösung wird auf den Gipfel des Haufens aufgebracht und sickert nach unten durch den Haufen hindurch. Das Auslaugungsbad (Lösung) wird an dem Boden des Haufens gesammelt und kann rezirkuliert oder zur Nickel (und/oder Kobalt)-Gewinnung gesammelt werden, oder eine Kombination von beidem. Die Auslaugungslösung enthält Schwefelsäure. Die Auslaugungslösung kann eine rezirkulierte Lösung sein, von der Metallwerte gewonnen worden sind.

[0045] Das Verfahren der vorliegenden Erfindung ist insbesondere für Nickel enthaltende Ablagerungen geeignet, die eine substantielle Tonkomponente enthalten. Dies bezieht sich auf solche Ablagerungen, die Nickel enthalten, bei denen der Ton wenigstens 10%, allgemein mehr als 20% und typischerweise mehr als 25% Ton enthält. Wie oben erwähnt, bezieht sich Ton auf solche Partikel, die eine Partikelgröße unter 44 Mikron haben.

[0046] Diese Tonkomponenten finden sich häufig in den oxidierten Hüllen von Nickelsulfidkörnchen und in Folge dessen können diese Oxid- oder gemischte Oxid/Sulfid-Erze mit Vorteil gemäß der Erfindung behandelt werden. Solche Oxidhüllenerze enthalten allgemein mehr als 10% Ton.

[0047] Beim Ausführen dieser Erfindung wird die Erzprobe anfänglich gebrochen, falls notwendig auf eine Partikelgröße unter 2,54 cm und bevorzugt zwischen 6 mesh (3.350 µm) und 1,9 cm, vorgemischt mit Schwefelsäure und agglomeriert, um Partikel (Pellets) zu bilden, und anschließend ausgehärtet.

[0048] Das Erz wird pelletisiert, in dem das Erz mit Schwefelsäure gemischt wird, die eine Konzentration von wenigstens 100 g/l Säure hat, vorzugsweise 50% und weiter bevorzugt 93 bis 98%. Das Pelletisieren kann in einer Drehscheibe (Trommel) oder einem anderen geeigneten Gerät erfolgen, das der Fachmann kennt. Die Schwefelsäure kann mit einer Quelle aus Wasser gemischt werden, einschließlich Salzwasser, Frischwasser oder einer Rezirkulationslösung. Die Menge der verwendeten Schwefelsäure ist allgemein diejenige, die erforderlich ist, um die Säure verbrauchenden Materialien in dem Erz anzugreifen (allgemein das fertig verfügbare

MgO aus Magnesiumsilikaten, die sich in dem Erz befinden). Typischerweise liegt die Menge zwischen 20 und 100 kg äquivalent 100% Schwefelsäure pro Tonne Erz (Trockenbasis).

[0049] Die resultierenden agglomerierten Partikel (Pellets) haben eine durchschnittliche Partikelgröße zwischen 6 mesh (3350 Mikrometer) und 2,54 cm. Die agglomerierten Pellets werden bevorzugt ausgehärtet. Die Aushärungszeit kann zwischen einer Stunde und zwei bis drei Tagen betragen. Bevorzugt dauert die Aushärungszeit 4 bis 10 Stunden. In der Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen bedeutet der Begriff aushärten, daß die Pellets an offener Luft gelagert werden, ungestört über eine Zeitspanne, die lang genug ist, damit die Schwefelsäure genügend chemische Reaktionszeit hat, um teilweise einiges Erz aufzulösen und um einiges des enthaltenden Wassers (durch Luftverdampfung) zu entfernen, so daß basische Sulfate und/oder Silikate oder Silikagel ausgefällt werden und zu einem Bindemittel geformt werden, um die übrigen Erzpartikel zusammen in einer Pelletform zu halten.

[0050] Die Pellets werden aufgeschüttet, um einen Haufen mit einer Höhe zu bilden, der zwei bis 30 Fuß hoch ist. Bei dieser Höhe kann der Haufen in situ zur Rückgewinnung bleiben, nachdem der Auslaugungsvorgang beendet ist.

[0051] Alternativ können die Pellets in Behälter gestapelt werden, die als ein Haufen betrachtet werden können, der eine begrenzte, feste Wandgröße hat. Außerdem besteht der Haufen allgemein aus Pellets, so daß der Haufen eine scheinbare Dichte von 0,9 bis 1,1 g/m³ und eine Porosität (Leere) von 0,3 bis 0,6 hat. Dies ermöglicht die Benutzung einer Hochsickerungsströmung (zwischen 10 und 100 l/hr/m²), wodurch die Auslaugungskinetik signifikant erhöht wird.

[0052] Der Haufen wird auf die folgende Weise ausgebildet: Das Roherz wird, falls erforderlich, auf die gewünschte Partikelgröße gebrochen, wie oben angegeben ist. Eine Probe der Partikel wird genommen, um die Masse Schwefelsäure zu bestimmen, die erforderlich ist, um die Partikel zu agglomerieren. Die Partikel werden dann agglomeriert und gehärtet. Die agglomerierten und gehärteten Partikel werden dann zu einem Haufen aufgehäuft.

[0053] Bevorzugt wird das pelletisierte, agglomerierte Erz zu zwei oder einer Reihe von Haufen geformt. Ein Plan zur Handhabung der zwei Haufen nach den Prinzipien der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 6](#) dargestellt. Wie [Fig. 6](#) zeigt, gibt es einen führenden Haufen und einen hinteren Haufen. Das agglomerierte, pelletisierte Erz kann jedoch zu jeder ökonomisch geeigneten Anzahl von Haufen oder Wannen geformt werden.

[0054] Die optimale Gewinnung von Nickel wird realisiert, wenn etwa 300 bis etwa 700 kg Schwefelsäure pro Tonne Trockenerz verbraucht wird. Die Säure wird typischerweise der Haufenrezirkulationslösung mit einem Säuregehalt von 2g/l bis 500 g/l, vorzugsweise wenigstens 10 g/l und wünschenswerterweise zwischen 20 g/l und 100 g/l hinzugefügt, um den Gesamtsäureverbrauch zu minimieren. Ein geringer Säuregradient durch den Haufen erhöht die Selektivität der Nickelauslaugung im Vergleich zu Eisen, wenn es als Ferrieisen vorliegt, fällt aus als Hydroxide oder basische Sulfate in dem Haufen, wenn der pH-Wert der Lauge über 3 liegt. Als ein Beispiels einer Ausführungsform der Erfindung kann einer der Haufen auf die obige Weise behandelt werden, um Ferrieisen auszufällen, und der Haufen dient dann als Eisenausfällreaktor. Daher bietet die vorliegende Erfindung ein wirksames Verfahren zur Steuerung des Eisens bei der Haufenauslaugung. Die große Porosität oder Leere (0,3 bis 0,6) des Haufens, die ein Ergebnis der vorliegenden Pelletisierungstechnik ist, minimiert oder verhindert Blockaden durch jegliche Eisenausfällung.

[0055] Wegen dem hohen MgO-Gehalt sind alle Saproliterze sehr basisch und haben ein Säureneutralisierungspotential. Yoshio Ogura et al. "Geochemistry and Mineralogy of Nickel Oxide Ores in the Southwestern Pacific Area", Proceedings of the International Seminar on Laterite Processing, Trivandrum, India, 1979, Oxford und IBH Publishing Co. Neu Delhi, 1981 gibt Daten von Messungen von pH-Werten wäßriger Lösungen in Kontakt mit verschiedenen Erzzonen von Lateritablagerungen an. Da Nickellateriterz gebildet wird durch Lösung und Ausfällung von chemischen Bestandteilen der Verwitterung von Ursprungsgestein, ist eine Änderung des pH-Werts in einem Lateriterzprofil nicht nötig. Oguras Daten werden in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

pH-Werte in Lateriterz-Zonen

Erz-Zone	Tiefe in Meter	pH
Limonit	0-8	5,6-6,2
Saprolit	8-20	6,9-8,9
Urgestein	+ 20	8,6-10,0

[0056] Wenn ein Saprolit-Erz mit einer Nickel enthaltenden sauren Lösung gemischt wird (pH zwischen 0,5 und 2) oder wenn solch eine Lösung über einen Erzhaufen von Saproliterz oder Grundgesteinmaterial geführt wird, wird die Restsäure von dem Erz neutralisiert, wodurch der pH-Wert auf 3 bis 4 erhöht wird. Wenn ferri-sches Eisen in der sauren Nickellösung vorhanden ist, wird es ausgefällt, wenn der pH-Wert steigt, darf ferri-sches Hydroxid bei einem pH-Wert von etwa 2,5 auszufällen beginnt. Das Leiten einer ferrisches Eisen enthal-tenden Lösung über einen Haufen von Saproliterz oder Grundgestein wird zum Ausfällen führen, aber da die Porosität eines pelletisiertes Haufens sehr groß ist (50% oder mehr) verbleibt mehr Raum und Oberfläche als genug für das Ausfällen des Eisens und das Hydroxid, um innerhalb des Haufens zurückgehalten zu werden.

[0057] Lateriterz zu haben, das in Verwitterung ist, bedeutet, daß einiges Erz bereits verwittert ist und umge-wandelt in die verschiedenen nickelhaltigen Magnesiumsilikate und daß einiges Erz aus unverwittertem ultra-basischem Gestein besteht. Dieser Teil des Erzes, allgemein der Kern von Flußstein- und Felsfragmenten, ist relativ reich an Hochmagnesiumsilikatmineralen (siehe Olivine), die nicht vollständig in Haufenauslaugungslö-sung gelöst werden. Da der Säuregrad der Haufenauslaugungslösung gut gesteuert werden kann, gibt dieser Parameter eine Möglichkeit, den Säureverbrauch durch parasitenartige Hochmagnesium-, Niedrignickelsilikat-minerale zu minimieren.

[0058] Die saure Lösung wird allgemein aufgebracht, indem sie auf eine Schicht inerten Grundgesteins ge-sprüht wird, die als Flüssigkeitsverteiler auf dem Haufen wirkt, obwohl jede Methode verwendet werden kann, die Flüssigkeit auf den Haufen adäquat und gleichförmig zu verteilen.

[0059] Die saure Lösung wird mit einer Strömungsmenge von wenigstens 10 l/h/m² aufgebracht, vorzugswei-se wenigstens 20 l/h/m². Wesentlich größere Strömungsmengen (wie 100 l/h/m² und mehr) können angewen-det werden, wobei die Obergrenze dadurch diktiert wird, was geotechnische Spezialisten als hydraulische Leit-fähigkeit eines Bettes von Feststoffen definiert haben.

[0060] Lateriterzkörpergrundgestein ist allgemein ein ultraferromanganhaltiges Gestein, das aus hydrierten Magnesiumsilikaten besteht, das begrenzte Säureneutralisierungseigenschaften hat. Seine Neutralisierungs-kapazität kann signifikant erhöht werden, wenn das Erz einem Dehydroxilationsprozeß unterworfen wird, wo-bei das Erz auf eine Temperatur zwischen 300 und 800 °C erhitzt wird, um das chemisch gebundene Wasser zu entfernen und das hydrierte Magnesiumsilikat in eine Verbindung mit einem Magnesiumoxid/Silikatgehalt umzuwandeln, der Säure verbrauchen kann.

[0061] Um eine maximale Gewinnung von Nickel bei maximaler Effektivität zu erreichen, wird jeder Haufen auf die folgende Weise ausgelaugt. Der erste Haufen wird mit einer frischen Lauge (H₂SO₄) ausgelaugt, die eine Konzentration von wenigstens 10 gpl hat. Die Lauge kann eine Lösung sein, die zwischen 0,1 % und 20% Schwefelsäure enthält. Der Haufen wird mit H₂SO₄, das einen pH-Wert von 2 hat, gespült. Das Laugenbad wird gesammelt und hinsichtlich des Vorhandenseins von freier Säure analysiert. Wenn der pH-Wert größer als 2 ist oder der freie Schwefelsäuregehalt kleiner ist als 1 g/l, kann das Bad direkt zu einem Nickelgewinnungsvor-gang geleitet werden. Bei diesem Level ist keine weitere Neutralisierung erforderlich, und das Nickel kann bei-spielsweise durch einen Ionenaustauschvorgang gewonnen werden. In der Praxis jedoch wird der größte Teil des Auslaugungsbades zu dem Haufen 2 gerichtet, vorzugsweise 60% bis 90% des Volumens des Auslau-gungsbades wird zu dem Haufen 2 geführt, während der Rest zu einem Nickelgewinnungsvorgang geführt wird.

[0062] Zusätzlich zu der Aufbringung des Auslaugungsbades von dem Haufen wird frische Schwefelsäure (mit einer Konzentration von wenigstens 10 gpl) auf den Haufen 2 aufgebracht. Dieser Haufen wird mit H₂SO₄ gespült, das einen pH-Wert von 2 hat. Das Auslaugungsbad von dem Haufen 2 wird nach dem Vorhandensein von freier Säure analysiert. Wenn der pH-Wert größer als 2 ist oder wenn der freie Schwefelsäuregehalt kleiner als 1 g/l ist, kann das Bad zu dem Nickelgewinnungsvorgang gerichtet werden. Bei diesem Level ist keine wei-

tere Neutralisierung erforderlich, und das Nickel kann beispielsweise durch einen Ionenaustauschprozeß gewonnen werden. In der Praxis wird der größte Teil des Auslaugungsbades zu der Nickelgewinnung geführt, vorzugsweise werden 60% bis 90% des Volumens des Auslaugungsbades zu der Nickelgewinnung geführt, während der Rest zu einem dritten Haufen geführt wird.

[0063] Wie [Fig. 6](#) zeigt, kann das Verfahren in Abhängigkeit von der Anzahl der Haufen fortgeführt werden. Es wurde herausgefunden, daß bezüglich der Nickellaterite der Gesamtverbrauch von Säure pro Tonne Erz zum Erhalten einer adäquaten Nickel- und Kobaltextraktion kritisch für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens ist. Überraschenderweise wurde entdeckt, daß die Menge der Säure, die erforderlich ist, um eine adäquate Nickel- und Kobaltauslaugung zu erhalten, signifikant höher ist als diejenige, die erforderlich ist, um das Tonerz in eine Substanz umzuwandeln, die auf einen Haufen gebracht, gehärtet und ausgelaugt werden kann. Allgemein erfordert die Limonitzone eines Lateriterzkörpers zwischen 200 und 400 kg Schwefelsäure pro Tonne Erz, während die Anforderungen für die Saprolitzzone höher sind mit 400 bis 800 kg Schwefelsäure pro Tonne Erz. Im Gegensatz hierzu ist gemäß der vorliegenden Erfindung Säure in einem Bereich von nur 20 bis 100 kg Schwefelsäure pro Tonne Erz erforderlich, um Pellets mit den gewünschten physikalischen Eigenschaften herzustellen, die der Handhabung und Haufenbelastung standhalten, die aus dem aufgehäuften Erz bis zu einer Höhe von 9 m (30 feet) einwirken.

[0064] Es wird angenommen, daß durch das chemische Einführen einer anfänglichen Menge der Lauge (vorzugsweise konzentrierte Salzsäure) über die Partikel während der Pelletisierung und wegen des Aushärtungsschritts die chemische Reaktionskinetik der Pellets geändert werden. Überraschenderweise wurde herausgefunden, daß die Auslaugungskinetik der einzelnen Pellets und des gesamten Haufens beschleunigt wird, offensichtlich deshalb, weil es weniger Massentransportbegrenzungen gibt.

[0065] Die folgenden Beispiele erläutern die vorliegende Erfindung, beschränken diese aber nicht. Wenn dies nicht anders angegeben ist, sind alle Teile und Prozente durch Gewicht angegeben.

Beispiel 1

[0066] Die folgenden hydraulischen Leitfähigkeitstests zeigen, wie die Pelletisierung signifikant die Permeabilität des Haufens bei einer gegebenen Haufenhöhe ändert. Der Test wurde durchgeführt durch Abdichten des Bodens eines Rohres, das mit Erz bis zu einem Basislevel gefüllt wurde und in dem Wasser unter einem konstanten Druck in dem Boden des Prüflings und oben heraus floß. Ein grober, etwa 9,5 mm Abflußkies wurde oben und unten an dem Prüfling angeordnet, um das Wasser gleichmäßig zu verteilen. Ein Filtermaterial wurde zwischen dem Prüfling und dem Abflußkies angeordnet, um das Eintreten des Kiesel in den Prüfling zu verhindern. Leitungswasser wurde als Durchdringungsfluid verwendet. Messungen wurden so vorgenommen, daß das Wasservolumen, das durch den Prüfling mit der Zeit floß, errechnet werden konnte. Die hydraulische Leitfähigkeit wurde unter Verwendung von Darcy's Gesetz berechnet. Der Versuch wurde unter einer lastfreien Bedingung und unter Belastungen durchgeführt, die vorgegebene Haufenhöhen simulierten, beispielsweise 4, 8 und 12 Meter.

[0067] Eine Last wurde auf die Prüflinge mittels einer kalibrierten hydraulischen Presse aufgebracht, die zwischen zwei Lastplatten angeordnet war, die federbeaufschlagt waren, um die Last aufrecht zu erhalten. Das Setzen der Testprüflinge wurde mit der Zeit überwacht, um festzustellen, wann die Setzung beendet war, und der hydraulische Leitfähigkeitstest konnte beginnen. Belastungen äquivalent der vorgegebenen Haufenhöhe wurden berechnet unter Annahme eines Feuchteinheitsgewichts von 1,5 g/m³ für das Erz.

[0068] Die Permeabilitätsergebnisse eines Nickellateriterzes ohne Pelletisierung sind in [Fig. 2](#) gezeigt (Nickellaterit – „wie es ist“). Es ist zu sehen, daß dieses Erz eine sehr geringe Permeabilität hat, die tatsächlich so klein ist, daß es nicht für die Haufenauslaugung geeignet ist, da die Auslaugungszeit unannehmbar lang sein würde unter ein solchen geringen Durchrieselungsströmung.

[0069] Der hydraulische Test wurde mit einem Hochtonkupfererz mit der Zusammensetzung gemäß Tabelle 1 durchgeführt.

Partikelgröße (μm)	Gewicht % Durchgang	
	Hochtonkupfererz	Kompetentes Kupfererz
149	5	3
297	7	6
595	10	10
1119	14	16
2380	19	28
4760	27	46
9510	37	75
16000	48	100
19000	52	
24500	58	
38100	72	
76100	100	

[0070] [Fig. 1](#) zeigt grafisch die Partikelgrößenverteilung von Saprolit, Limonit und Hochtonerzen. Es war zu sehen, daß die Permeabilität des Hochtonkupfererzes sich bei steigender Haufenhöhe verringerte. Die Ergebnisse sind in [Fig. 2](#) gezeigt.

[0071] Ein einschlägiges Kupfererz mit der Zusammensetzung gemäß Tabelle 1 hat ein anderes Permeabilitätsverhalten. Wie [Fig. 2](#) zeigt, war zu sehen, daß die Permeabilität nicht abnahm, wenn die simulierte Haufenhöhe anstieg. Es wird angenommen, daß dieser Effekt daher kommt, daß dieses Erz wenige Feinstoffe hatte und keinerlei Ton enthielt und sehr grob war.

[0072] Ein Nickellateriterz, das gemäß der vorliegenden Erfindung pelletisiert ist, hat ein ganz anderes Permeabilitätsverhalten. Wie [Fig. 2](#) zeigt (Nickellaterit-„Patent“) stieg die Stabilität um einen Faktor von wenigstens 10.000 im Vergleich zu dem Lateriterz, das nicht pelletisiert war. Außerdem blieb die Permeabilität im Wesentlichen konstant, unabhängig von der vorgegebenen Haufenhöhe. Die hohe Permeabilität kann einen hohen Durchrieselungsfluß tolerieren, so daß die Kinetik der Haufenauslaugung beschleunigt ist.

[0073] Als ein Vergleich sind die Haufenauslaugungseigenschaften ebenfalls in [Fig. 2](#) (als „Greek Ore“ bezeichnet) gezeigt, die in Agatzini berichtet werden, wie oben erwähnt ist. Es wird angenommen, daß dieses Erz Strömungswiderstände wegen der Ausbildung von Gips hatte, wegen der Schwefelsäure kombiniert mit signifikantem Kalziumgehalt. Außerdem war das Erz nicht pelletisiert gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0074] Wie [Fig. 2](#) zeigt ermöglicht die Permeabilität eines typischen tonigen Lateritnickelerzes ohne Vorbehandlung eine Berieselungsströmungsmenge von rund $0,01 \text{ l/hr/m}^2$ (siehe Nickellaterit – „wie es ist“). Solch eine Durchdringungsrate hat keine praktische Signifikanz, da ein 1 m hoher Haufen eine unrealistische Auslaugungszeit erfordern würde. Um beispielsweise eine Tonne Nickelerz in einem 1 m^2 -Haufen, der 2% Ni enthält zu behandeln, würde dies etwa 5.000 l Auslaugungslösung erfordern, um den gesamten Nickel zu extrahieren. Mit einer Durchströmungsrate von $0,01 \text{ l/hr/m}^2$ würde dies $5.000/0,01$ oder 500.000 h oder etwa 57 Jahre lang dauern. Wenn im Gegensatz dazu das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung angewendet würde, mit einer Durchströmungsrate gemäß [Fig. 2](#) von 100 l/hr/m^2 , dann würde die Zeit zum vollständigen Auslaugen des Nickels auf $5.000/100$ oder 50 Stunden sinken.

Beispiel 2

[0075] Der folgende Test wurde durchgeführt: Nickel enthaltenden Erz mit einer substantiellen Tonkomponente wurde mit einem Backenbrecher verkleinert, um eine Größe unter 1 Inch (2,54 cm) zu erreichen. Das verkleinerte Erz wurde agglomeriert (pelletisiert) durch Mischen von Schwefelsäure mit einer Konzentration von

93 bis 98% mit dem Erz in einem Drehmischer um stabile Pellets zu bilden. Die Agglomerationskonzentration betrug 25 kg Schwefelsäure pro Tonne Trockenerz. Ein Teil der Pellets wurde zu einem Haufen mit einer Höhe von 13 ft geformt. Danach wurde Schwefelsäure mit einer Konzentration von 50 g/l oben auf den Haufen mit einer Strömungsmenge von 10l/hr/m² aufgebracht. Proben wurden genommen, um die Menge des extrahierten Nickels zu bestimmen.

[0076] Ein anderer Teil der Pellets wurde zu einem Haufen von 3,3 m (11 ft) geformt. Danach wurde Schwefelsäure mit einer Konzentration von 50g/l oben auf den Haufen mit einer Strömungsmenge von 14l/hr/m² aufgebracht. Wieder wurden Proben genommen, um die Menge des extrahierten Nickels zu bestimmen. Es wurde beobachtet, daß die Auslaugungszeit um einen Faktor 7 abnahm, mit einer Zunahme der Säureaufbringungsmenge um einen Faktor 4. Die Ergebnisse sind in [Fig. 3](#) gezeigt.

Beispiel 3

[0077] Der Test von Beispiel 2 wurde wiederholt mit der Ausnahme, daß eine Säurekonzentration von 100 g/l anstelle von 50 g/l verwendet wurde. Die Menge der Nickelextraktion stieg im Vergleich zu Beispiel 2 an. Außerdem sank die Auslaugungszeit um einen Faktor 7, bei Zunahme der Säureaufbringungsmenge. Die Ergebnisse sind in [Fig. 4](#) dargestellt.

Beispiel 4

[0078] Ein Vergleichstest wurde durchgeführt unter Verwendung eines Kupfer enthaltenden Erzes anstelle eines Nickels enthaltenden Erzes. Das Kupfer enthaltende Erz wurde zu zwei Haufen geformt, von denen einer eine Höhe von 3m (10 ft) und der andere eine Höhe von 3,6m (12 ft) hatte. Schwefelsäure mit einer Konzentration von bis zu 14 g/l wurde oben auf jeden Haufen mit einer Aufbringungsströmungsrate von 10 l/hr/m² und mit einer Strömungsrate von 40l/hr/m² aufgebracht. Die Kupferextraktionsmenge ist in [Fig. 5](#) dargestellt. Es ist zu sehen, daß der Anstieg der Rate der Säureaufbringung die Auslaugungszeit nur um einen Faktor von höchstens 2 reduziert. Es wird angenommen, daß die Reaktionskinetik für das Kupferauslaugen in erster Linie durch die Größe der chemischen Reaktion gesteuert wird. Im Gegensatz hierzu wird angenommen, daß die Reaktionskinetik für das Nickelauslaugen in erster Linie durch Diffusion gesteuert wird, und damit durch Lösungsströmung oder durch Strömungsrate.

[0079] Die obigen Beispiele und zugehörigen Figuren zeigen, daß die Pelletisierung als Vorbehandlung von Erz die Permeabilität des Haufens und die Auslaugungskinetik des Haufens erhöht. Bei der Nickellaterithaufenauslaugung ermöglicht die Pelletisierung die Verwendung einer höheren Strömung gegenüber der herkömmlichen Haufentechnologie. Infolgedessen wurde ein Anstieg der Auslaugungskinetik beobachtet.

Beispiel 5

[0080] Mehrere Tests wurden durchgeführt, um die Vorteile der Handhabung der Haufenauslaugung auf eine Gegenstromart zu zeigen, wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist. Das Gegenstromauslaugen bestand aus zwei Reihen Nr. 1 und Nr. 2. Reihe Nr. 1 wurde anfänglich mit einer Lösung versorgt, die Schwefelsäure mit einem Säuregehalt von nur 100 g/l enthielt. Da die ersten 21 % von Reihe Nr. 1 Abflußlösung (Lauge) den erforderlichen pH-Wert (3 und mehr) für Metallgewinnung hatte, wurden Sie zur abschließenden Lösungsspeicherung geführt, jedoch die restlichen 79% der Lauge war noch zu sauer für die Metallgewinnung und wurde daher der Reihe Nr. 2 zugeführt (führende Auslaugung genannt). Die Auslaugung von Reihe Nr. 2 wurde auch zu der abschließenden Lösungsspeicherung gesandt, da überschüssige Säure verbraucht war. Bei Beendigung der führenden Auslaugung wurde Reihe Nr. 2 mit einer Lösung versorgt, die Schwefelsäure nur mit einem Säuregrad von 100 g/l enthielt (sogenanntes hinteres Auslaugen). Die folgende Tabelle gibt die Ergebnisse dieser Gruppe von Tests wieder. Die Tabelle zeigt klar die Vorteile eines gegenläufigen Vorgehens, da die gesamte endgültige Lösung einen pH-Wert über 3 hatte und einiges Eisen aus der Lösung entfernt werden konnte.

Reihe-Nr.	Bearbeitungs-methode	Rezirkuliert %	kg H ₂ SO ₄ pro Tonne	Lösungstenor g/l		„führende“ Auslaugungs-extraktion -%		gesamte Extraktion	
				Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
1	einziger Durchgang	0	456	3,2	9,8	-	-	65,6	37,4
2	gegenläufig	79	454	3,1	11,0	7,4	-4,3	66,1	27,7

[0081] Auf eine ähnliche Weise wurden zwei Reihen, Nr. 3 und Nr. 4 mit einer Lösung versorgt, die 100 g/l H_2SO_4 und 27 g/l NaCl enthielt um das Haufenauslaugen mit Seewasser zu simulieren. Da 1 1 % der Auslaugung der Reihe Nr. 3 einen pH Wert über 3 hatte, mußten nur 89% der Auslaugung, die von der Reihe Nr. 3 gesammelt waren, zu der Reihe Nr. 4 rezirkuliert werden. Nachdem das „führende“ Auslaugen beendet war, wurde die Reihe Nr. 4 mit dem simulierten Seewasser versorgt. Es wurden ähnliche Resultate wie die obigen Daten erhalten, die durch die folgende Tabelle wiedergegeben werden.

Reihe-Nr.	Bearbeitungs-methode	Rezirkuliert %	kg H_2SO_4 pro Tonne	Lösungstenor g/l		„führende“ Auslaugungs-extraktion -%		gesamte Extraktion	
				Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
3	einzigiger Durchgang	0	622	2,9	10,3	-	-	86,0	59,3
4	gegenläufig	89	499	2,9	8,9	30,4	1,1	86,1	52,2

Patentansprüche

1. Verfahren zum Durchführen eines Haufenauslaugungsprozesses zum Auslaugen von Nickel aus einem Lateriterz, das eine substantielle Tonkomponente enthält, enthaltend:

- Ausbilden wenigstens eines Haufens aus einem Gemisch des Erzes und konzentrierter Schwefelsäure, wobei das Gemisch in der Form von agglomerierten Partikeln ist;
- Aufbringen einer Auslaugungslösung von 0,1 % bis 20% Schwefelsäure auf das Kopfende des Haufens mit einer ersten vorbestimmten durchschnittlichen Strömungsmenge, wobei ein Auslaugungsbad an einem Boden des Haufens gebildet wird; und
- Leiten des Auslaugungsbad-Outputs von Schritt (b) in einen Produktlaugensumpf zur direkten Abgabe an eine Verarbeitungsanlage zum substantiellen Entziehen von Nickelwerten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Erz wenigstens 10 Gew.-% der Tonkomponente enthält.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Erz eine durchschnittliche Partikelgröße unter 2,54 cm hat.

4. Verfahren nach jedem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Gemisch aus Erz und konzentrierter Schwefelsäure gebildet ist durch

- Dimensionieren des Nickel enthaltenden Erzes auf solche Weise, daß es eine durchschnittliche Partikelgröße unter 2,54 cm hat;
- Mischen des dimensionierten Erzes mit konzentrierter Schwefelsäure; und
- Agglomerieren des dimensionierten Erzes, um agglomerierte Partikel zu bilden, die eine durchschnittliche Partikelgröße in dem Bereich von 3.350 µm bis 2,54 cm haben.

5. Verfahren nach Anspruch 4, ferner enthaltend den Schritt des Aushärtens der agglomerierten Partikel.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schwefelsäure auf das Kopfende des Haufens mit einer Strömungsmenge von wenigstens 10l/h/m² aufgebracht wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Schwefelsäure mit einer Strömungsmenge von wenigstens 20l/h/m² auf das Kopfende des Haufens aufgebracht wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Auslaugungslösung aus Seewasser besteht, das mit Schwefelsäure verstärkt ist.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei mehrere Haufen gebildet werden, so daß ein führender Haufen und ein nachteilender Haufen definiert sind.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei einer der Haufen als ein Eisenniederschlagsreaktor verwendet wird.

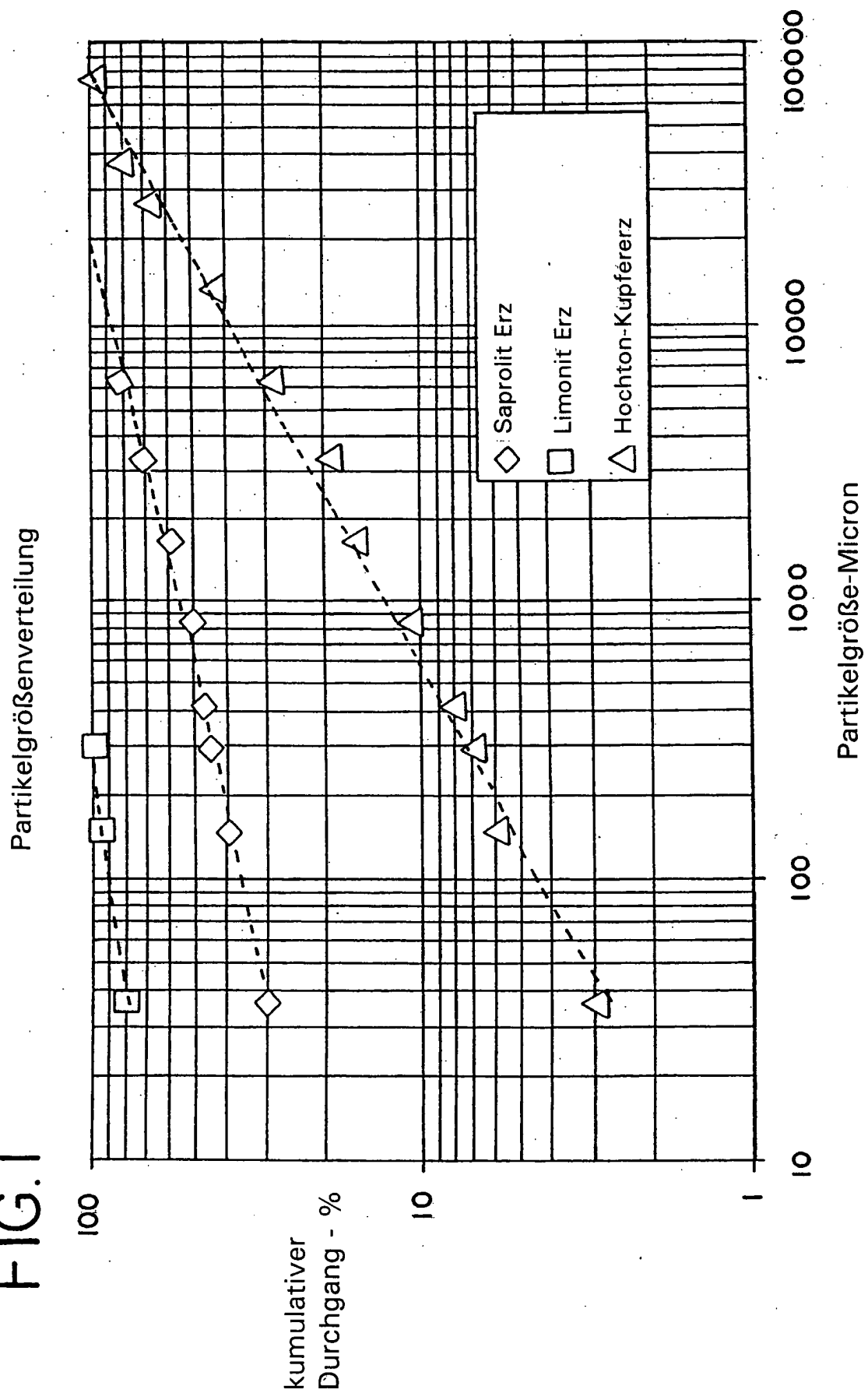
11. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Grundgesteinmaterial verwendet wird in einer Haufenkonfiguration zur finalen pH-Regulierung und zum Eisenniederschlag.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei das Grundgesteinmaterial bei einer Temperatur zwischen 300° und

800°C geröstet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG. 1



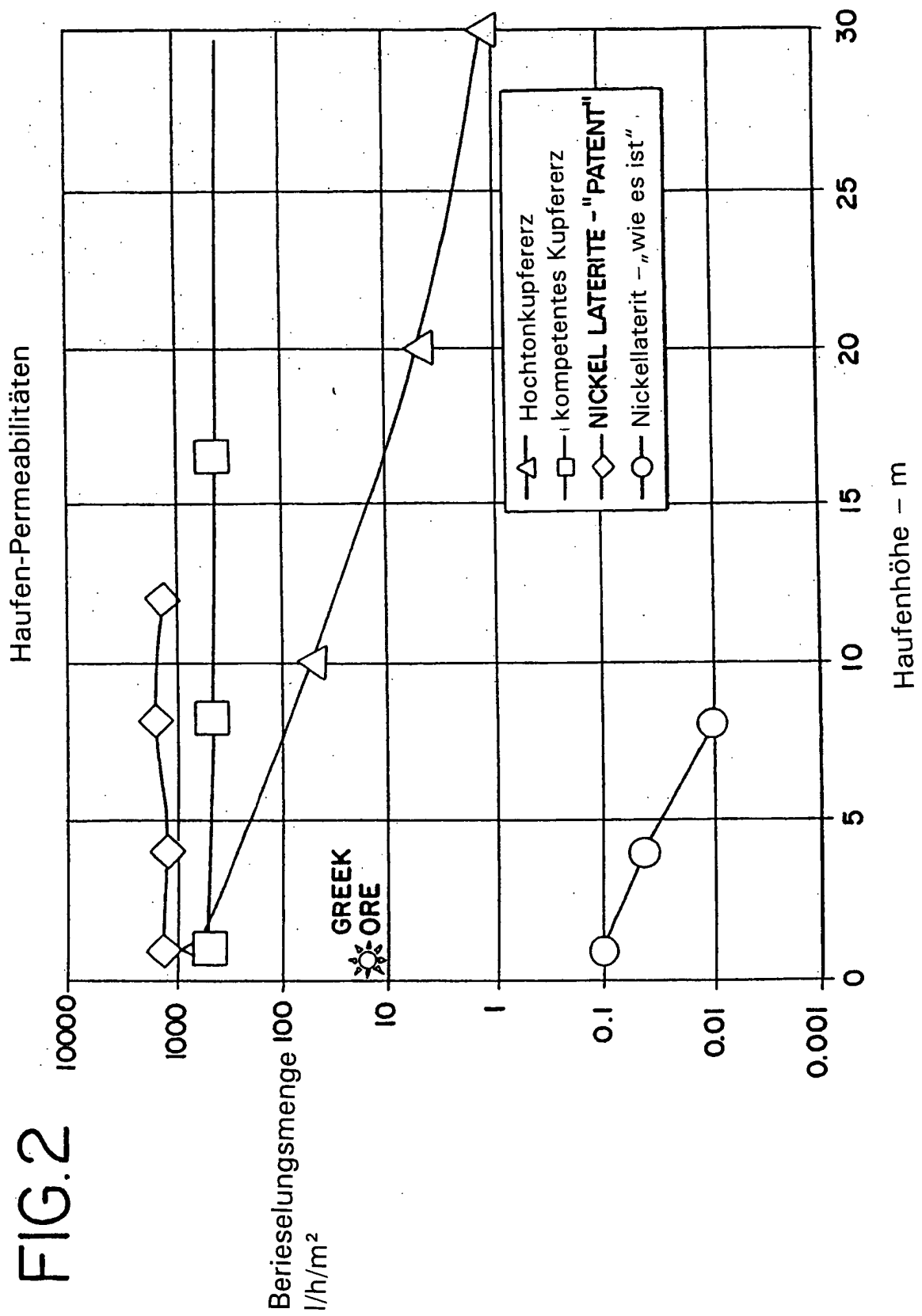


FIG. 3

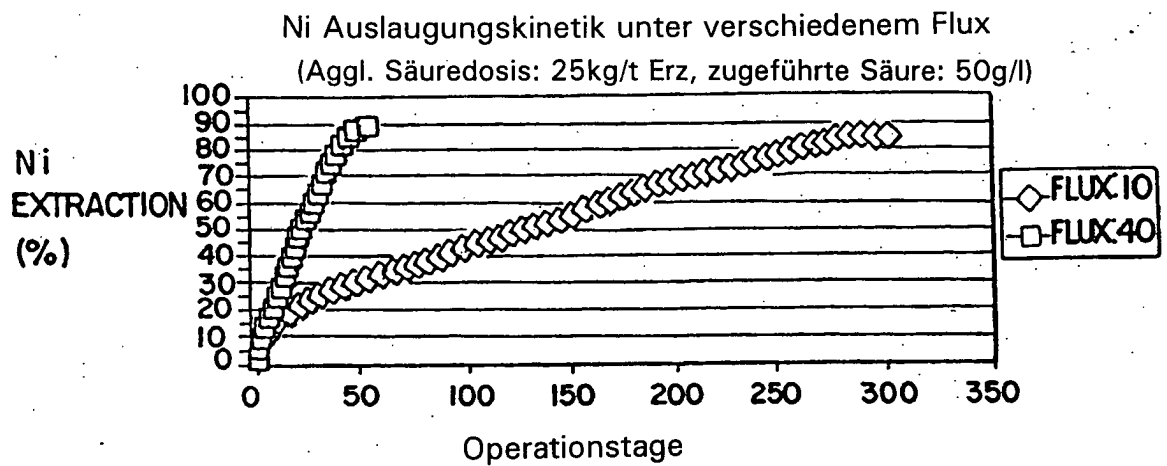


FIG. 4

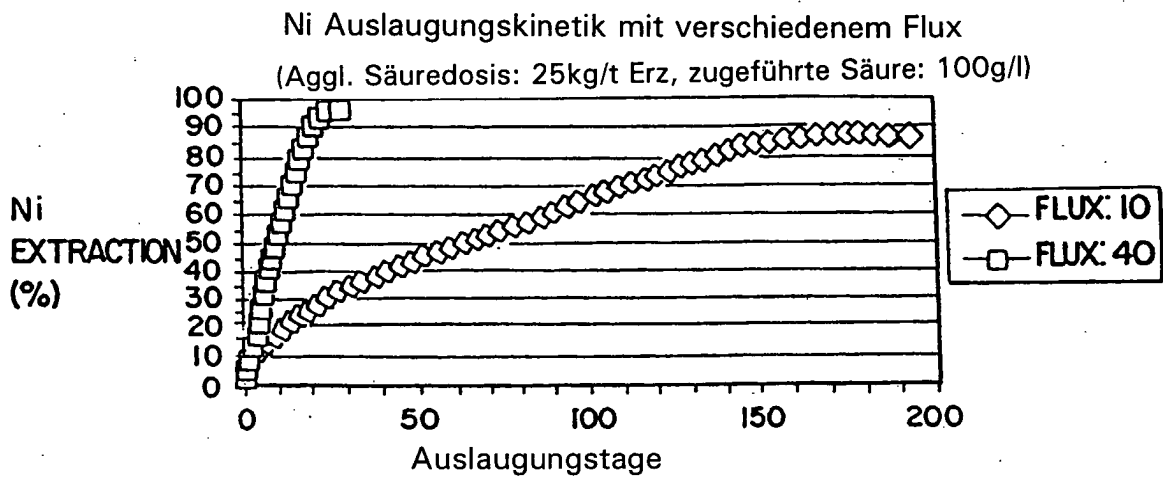


FIG. 5

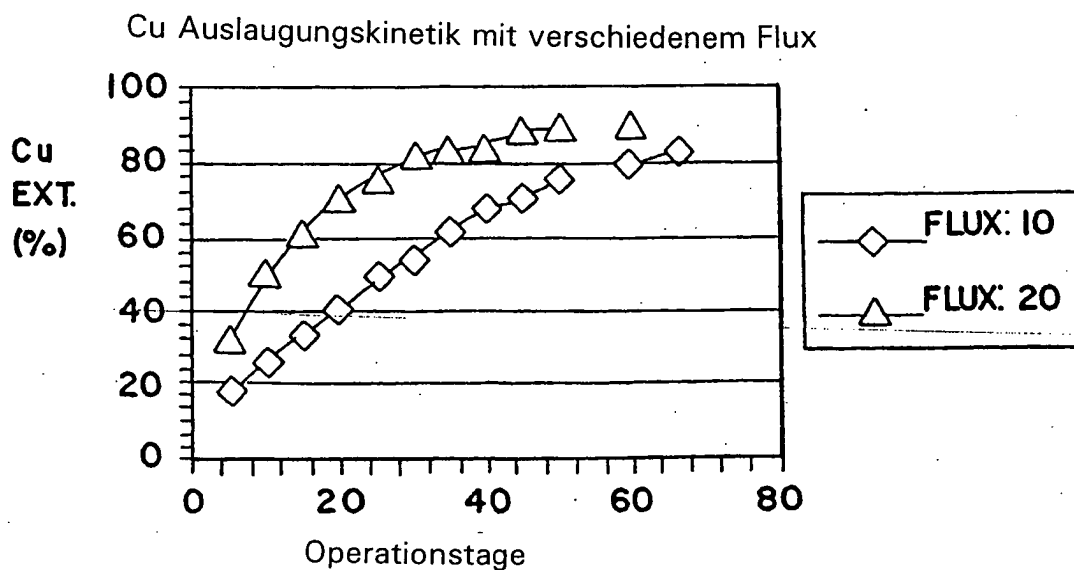


Fig. 6

