

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. April 2004 (01.04.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/027332 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: F27B 13/14

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2003/000599

(22) Internationales Anmeldedatum:
3. September 2003 (03.09.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
1598/02 23. September 2002 (23.09.2002) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): R & D CARBON LTD. [CH/CH]; Zone industrielle
le Châblé, CH-3960 Sierre (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): LUSTENBERGER,
Mauritz [CH/CH]; Tufetsch 17, CH-3946 Turtmann
(CH). KELLER, Felix [CH/NL]; Jan Matthijssen laan 12,
NL-3232 Ed Brielle (NL).

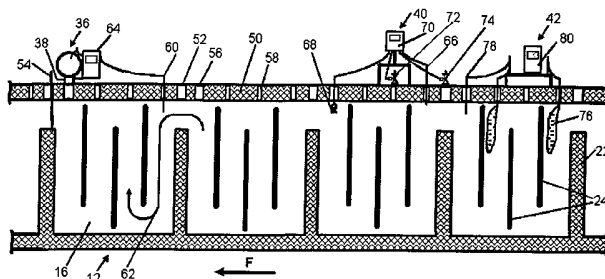
(74) Anwalt: BREITER, Heinz; patentanwälte breiter + wied-
mer ag, Seuzachstrasse 2, Postfach 366, CH-8413 Neften-
bach (CH).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT
(Gebrauchsmuster), AT, AU (petty patent), AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ (Ge-
brauchsmuster), CZ, DE (Gebrauchsmuster), DE, DK (Ge-
brauchsmuster), DK, DM, DZ, EC, EE (Gebrauchsmuster),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: OPTIMIZATION OF PITCH STEAM COMBUSTION IN A FURNACE FOR CARBON ELECTRODES

(54) Bezeichnung: OPTIMIERUNG DER PECHDAMPFVERBRENNUNG IN EINEM BRENNOFEN FÜR KOHLENSTOFFE-
LEKTRODEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for optimizing pitch steam combustion in a furnace for carbon electrodes (20), particularly anodes for aluminum fusion electrolysis. The inventive method involves the use of at least one cassette (18), which is divided by porous walls (98) of adjacent combustion chambers (16) and which is provided for accommodating green pitch-containing electrodes (20) that are embedded in filling powder (32). While continuously controlling underpressure (p) and temperature, a gaseous or liquid fuel is introduced into the combustion shafts (16) that are operated with underpressure (p). The course of the process is optically monitored in a continuous manner in the area of the visible pitch steam combustion (84), and the formation of soot particles (104) is optically detected. A quasi real-time evaluation of the results ensues. When necessary, a corrective action is automatically initiated for monitoring the furnace and optimizing the process. The soot particles are thereby eliminated by adapting at least one process parameter in the relevant combustion chamber (16) while using existing data. An open annular chamber furnace (10) for carrying out the inventive method comprises chambers (12), which are arranged essentially in series and which have alternating combustion shafts (16) and cassettes (18) located therebetween. The annular chamber furnace also comprises a production unit, which extends over a number of chambers (12), can be displaced in the longitudinal direction (L) and which consists of an extractor (26), of an underpressure measuring bridge (40), of at least one burner bridge (42), and of at least one cooling apparatus (44). One or more optical sensors (68, 82) are mounted inside at least one combustion shaft (16) in proximity to the underpressure measuring bridge (40) and are provided for continuously monitoring the combustion and the formation of soot particles (104) in the waste gas (62).

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Optimierung der Pechdampfverbrennung in einem Brennofen für Kohlenstoffelektroden (20), insbesondere Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse, umfasst wenigstens eine durch poröse Wände (98) von benachbarten Feuerkammern (16) getrennte Kassette (18) für in Füllpulver (32) eingebettete grüne, pechhaltige Elektroden (20). In die mit Unterdruck (p) betriebenen Feuerschächte (16) wird unter laufender

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/027332 A1



EE, ES, FI (Gebrauchsmuster), FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK (Gebrauchsmuster), SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Kontrolle von Unterdruck (p) und Temperatur ein gasförmiger oder flüssiger Brennstoff eingeleitet. Der Prozessablauf im Bereich der sichtbaren Pechdampfverbrennung (84) wird laufend optisch überwacht und die Bildung von Russpartikeln (104) optisch detektiert. Eine Quasi-Echtzeitauswertung der Resultate erfolgt, wenn notwendig wird eine Korrekturaktion zur Ofenüberwachung und Prozessoptimierung automatisch eingeleitet. Dabei werden die Russpartikel durch Anpassung von wenigstens einem Prozessparameter im betreffenden Feuerschacht (16) anhand von vorliegenden Daten beseitigt. Ein offener Ringkammerofen (10) zur Durchführung des Verfahrens umfasst im wesentlichen in Serie angeordnete Kammern (12) mit alternierenden Feuerschächten (16) und dazwischenliegenden Kassetten (18) und eine sich über mehrere Kammern (12) erstreckende, in der Längsrichtung (L) verschiebbare Produktionseinheit aus einem Absauger (36), einer Unterdruck-Messbrücke (40), wenigstens einer Brennerbrücke (42) und wenigstens einem Kühler (44). In wenigstens einem Feuerschacht (16) im Bereich der Unterdruck-Messbrücke (40) sind ein oder mehrere optische Sensoren (68, 82) zur laufenden Überwachung der Verbrennung und der Bildung von Russpartikeln (104) im Rauchgas (62) angeordnet.

Optimierung der Pechdampfverbrennung in einem Brennofen für Kohlenstoffelektroden

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Optimierung der Pechdampfverbrennung in einem Brennofen für Kohlenstoffelektroden, insbesondere Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse, welcher Brennofen wenigstens eine durch poröse Wände von benachbarten Feuer-
10 schächten getrennte Kassette für in Füllpulver eingebettete grüne, pechhaltige Elektroden umfasst, wobei in die mit Unterdruck betriebenen Feuerschächte unter laufender Kontrolle von Unterdruck und Temperatur ein gasförmiger oder flüssiger Brennstoff eingeleitet wird.

15 Für die grosstechnische Produktion von Primäraluminium werden nach noch heute üblicher Technologie Petrolkoks, rezirkuliertes Anodenmaterial und Pech als Binder eingesetzt. Der letzte Verfahrensschritt bei der Anodenherstellung besteht aus einer Wärmebehandlung, wobei die Anoden mit einer festgelegten Aufheizgeschwindigkeit auf eine Endtemperatur im Bereich von 1050 bis 1200
20 °C aufgeheizt werden. Für einen ungestörten Elektrolysebetrieb müssen die Anoden insbesondere folgenden Forderungen genügen:

- ausreichende mechanische Festigkeit
- ausreichende Festigkeit gegenüber Thermoschocks
- 25 - niedriger elektrischer Widerstand
- Resistenz gegen den Angriff von CO₂
- Resistenz gegen Angriffe durch Umgebungsluft
- möglichst identische Eigenschaften aller Anoden.

30 Alle diese aufgeführten Forderungen werden durch den Brennprozess als letztem Verfahrensschritt bei der Anodenherstellung wesentlich mitbeeinflusst. Ein optimal geregelter Brennprozess, bei welchem sowohl die Aufheizgeschwindig-

keit als auch die maximale Brenntemperatur für alle Anoden möglichst identisch eingehalten werden können, ist demzufolge für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Anoden unerlässlich.

- 5 Der technologische Hintergrund wird anhand eines in Fig. 1 dargestellten offenen Ringkammerofens 10 zum Brennen von Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse gemäss Fig. 1 schematisch dargestellt und als Beispiel beschrieben. Der offene Ringkammerofen 10 umfasst in zwei parallelen Reihen angeordnete Kammern 12. Diese quer zur Längsrichtung L verlaufenden Kam-
- 10 mern 12 werden auch Sektionen genannt. An den stirnseitigen Ofenenden ist jeweils die letzte Kammer 12 der einen Reihe mit der ersten Kammer 12 der anderen Reihe über einen Umlenkanal 14 verbunden. Jede Kammer 12 besteht aus einer Mehrzahl, in der Regel sechs bis zehn, Feuerschächten 16 (Feuerkammern), zwischen welchen je eine Kassette 18 angeordnet ist, in wel-
- 15 che die zu brennenden grünen Elektroden, im vorliegenden Fall Anoden 20, eingesetzt werden. Die einzelnen Kammern 12 sind durch eine später beschriebene und dargestellte Gurtwand 22 (siehe auch Fig. 3) voneinander getrennt.
- 20 Eine Kassette 18 ist etwa 5 m hoch, 5 m lang und 0,8 m breit. Die Breite eines entsprechenden Feuerschachtes 16 beträgt etwa 0,5 m. Jeder Feuerschacht 16 bzw. jede Kassette 18 umfasst zwei in Richtung L verlaufende Wände 98 (Fig. 6) aus feuerfesten Steinen. Im Feuerraum 16 sind Schikanen 24 so angeordnet, dass eine optimale Führung der Rauchgase 62 (Fig.3) erfolgt.
- 25 Der Ringkammerofen 10 ist in einer Betonwanne 26 angeordnet, um welche eine Abgasleitung 28 geführt ist. Diese vorliegend U- oder ringförmige Abgasleitung 28 ist mit einer Steigleitung 30 für jede Kammer 12 ausgerüstet, sie wird auch kurz als Ringleitung bezeichnet, selbst wenn sie U-förmig gestaltet ist,
- 30 also auf einer Stirnseite des Ofens 10 fehlt. Über die Abgasleitung 28 wird im Ringkammerofen 10 über externe, nicht dargestellte Ventilatoren permanent ein Unterdruck aufrecht erhalten, welcher für den zur Aufrechterhaltung des

Prozesses erforderlichen Zug sorgt.

Für das Brennen der Elektroden 20 sind, im vorliegenden Fall ungebrannte, also grüne Anoden, in die Kassetten 18 eingepackt. Der Zwischenraum zwischen dem Anodenstapel zum feuerfesten Mauerwerk der Wände 98 (Fig. 6) wird mit Füllpulver 32, insbesondere mit Petrolkoks-, Anthrazit- und/oder Steinkohlegranulat (Fig. 6), geeigneter Körnung, aufgefüllt. Mittels einer Steigleitung 30 mit einer Öffnung 34 kann ein Absauger 36 an die Abgasleitung 28 angeschlossen werden. In jeder Steigleitung 30 kann eine nicht dargestellte Klappe oder dgl. angebracht sein, mit welcher der Unterdruck im Absauger 36 eingestellt werden kann.

Es gibt zwei im Betrieb gleichwertige, aber in der Konstruktion unterschiedliche Ofentypen. Beim einen Typ gibt es in der Steigleitung 30 von der Ringleitung 28 zum Anschluss an den Absauger 36 keine Klappe. Bei diesem Ofentyp wird der im Absauger 36 erwünschte Unterdruck in der Rauchgasreinigungsanlage eingestellt, d.h. in der Ringleitung 28 herrscht der gleiche Unterdruck wie im Absaugerkörper 36. Beim anderen Ofentyp wird in jeder Steigleitung 30 von der Ringleitung 28 zum Anschluss an den Absauger 36 eine Klappe angebracht. Hier hat man nun zwei Möglichkeiten: Entweder, der im Absauger 36 erwünschte Unterdruck wird ebenfalls in der Rauchgasreinigungsanlage eingestellt, die Klappe in der Steigleitung 30 wird nur als Absperrorgan benützt, sie ist entweder ganz geschlossen (wenn sich an dieser Position kein Absauger 36 befindet), oder ganz offen (wenn dort ein Absauger 36 steht). Alternativ wird der Ofen so gefahren, dass in der Ringleitung 28 ein höherer Unterdruck herrscht als im Absauger 36 erforderlich bzw. erwünscht ist. In diesem Fall wird jeder Absauger 36 mit einem Manometer ausgerüstet, die Klappe in der Steigleitung 30 wird nach der Positionierung des Absaugers 36 beim Feuerwechsel nur soweit geöffnet, bis im Absauger 36 der erwünschte Unterdruck herrscht. Dieser Unterdruck ist ein Vielfaches (Größenordnung etwa 800 – 2000 Pa) des Unterdrucks von etwa 100 Pa in der Kammer 12 vor dem Absauger 36.

Der Abstand der Öffnungen 34 in Richtung L entspricht der Länge einer Kammer 12 in dieser Richtung und damit etwa der Länge eines Feuerschachtes 16 und einer Gurtwand 22. Die einzelnen Feuerschächte 16 der verschiedenen Kammern 12 sind mit den entsprechenden Schächten der benachbarten Kammern in Längsrichtung L verbunden, d. h. in Serie geschaltet.

Vom rohrförmigen Absauger 36 zweigt zu jedem Feuerschacht 16 ein Absaugstutzen 38 ab, wobei jeder dieser Stutzen vorzugsweise eine nicht dargestellte, motorisch bediente Klappe oder dgl. hat, welche es gestattet, den Unterdruck in den Feuerschächten 16 individuell zu regeln.

Die einzelnen Feuerschächte 16 der verschiedenen Kammern 12 sind, wie erwähnt, mit den entsprechenden Schächten der benachbarten Kammer in Serie geschaltet. Beispielsweise ist der äusserste, unmittelbar neben der Betonwanne 26 liegende Feuerschacht 16 mit dem gleichen Schacht der nächsten Kammer verbunden. Eine Unterdruckregelung allein am Absauger 36 wirkt sich demzufolge auf alle in Feuerrichtung F in Serie geschalteten und am Prozess beteiligten Feuerschächte 16 der Kammern 12 aus.

Eine in Längsrichtung L verschiebbare Produktionseinheit, im vorliegenden Fall bestehend aus dem Absauger 36, der Unterdruck-Messbrücke 40, drei Brennerbrücken 42 und zwei Kühlern 44, erstreckt sich über mehrere Kammern 12, es sind zwei sich über elf Kammern 12 erstreckende Einheiten eingezeichnet. Vom Absauger 36 aus gerechnet ist auf der dritten Kammer 12 eine Unterdruck-Messbrücke 40 zur Messung von Unterdruck und Temperatur angeordnet, auf der vierten, fünften und sechsten Kammer 12 je eine Brennerbrücke 42 und auf der neunten und elften Kammer 12 je ein Kühler 44.

Das Ansaugen der Luft in der Kühlzone erfolgt derart, dass die Deckel auf den Brennerlöchern 34 und gegebenenfalls Gurtwandlöchern 52 (Fig. 2) entfernt werden. Es muss jedoch jederzeit gewährleistet sein, dass am Ort der Brenner jederzeit Unterdruck herrscht. Ein auch nur geringer Gegendruck wirkt sich

nachteilig aus. Um den Unterdruck sicherzustellen, werden in der Regel die Deckel in mindestens einer Kammer 12 hinter der letzten Brennerbrücke 42 geschlossen gehalten. In Längsrichtung L betrachtet ist der Drucknullpunkt dort, wo der erste Brennerdeckel oder Gurtwanddeckel entfernt ist; von dort sinkt der Unterdruck gleichmässig auf z.B. etwa 100 Pa in der Kammer 12 vor dem Absauger 36.

Der erste Kühler 44 (d.h. der der hintersten Brennerbrücke 42 benachbarte Kühler 44 kann als „Blower“ regeltechnisch in das System eingebunden sein. Verlangt das System mehr Sauerstoff, dann wird nicht nur die Klappenstellung in der entsprechenden Steigleitung 30 des Absaugers 36 geregelt, sondern auch der Ventilator im entsprechenden „Blower“-Fuss hochgefahren. Das System zwischen „Blower“ und Absauger ist geschlossen.

Durch den über die Abgasleitung 28 und den Absauger 36 angelegten Zug wandert eine Wärmewelle im Ofen in Form eines Feuerbereichs bzw. Feuerzugs von den Brennerbrücken 42 in Richtung des Absaugers 36. In vorgegebenen Zeitintervallen, wird die erwähnte Produktionseinheit um jeweils eine Öffnung 34, d. h. Kammerlänge in Richtung der fortschreitenden Wärmewelle versetzt. Das Zeitintervall liegt meistens im Bereich von 24 bis 32 Stunden.

Zwischen dem hintersten Kühler 44 der einen und dem vordersten Absauger 36 der nächsten Produktionseinheit folgen einige Kammern 12, in der Regel drei bis fünf, in welchen die gebrannten Anoden ausgepackt und neue grüne, zu brennende Anoden in die Kassetten 18 eingesetzt werden. Falls erforderlich werden ebenfalls Instandhaltungsarbeiten am feuerfesten Mauerwerk durchgeführt.

Die zum Verbrennen des Heizmediums, in der Regel Erdgas oder zerstäubtes, tropfen- oder fadenförmiges Schweröl, notwendige Luft wird über die Kammern 12 zwischen der hintersten Brennerbrücke 42 und dem hintersten Kühler 44 angesaugt, wodurch diese Luft vorgewärmt wird, was den Prozesswirkungsgrad

- verbessert. Zu beachten ist auch, dass für den über die Brennerbrücken 42 zugeführten Brennstoff nur ein Teil des Sauerstoffs verbraucht werden darf. Vor den Brennerbrücken 42 treten flüchtigen Komponenten des in den Anoden 20 als Bindemittel eingesetzten Pechs in die Feuerschächte 16 aus, welche durch
- 5 porös ausgebildete Wände 98 (Fig. 6) von den Kassetten 18 getrennt sind, um die Migration der Pechdämpfe aus den Anoden 20 durch das Füllpulver 32 (Fig. 6) in die Feuerschächte 16 zu ermöglichen. Je nach Dicke der Füllpulverschicht 32 und der Wände 98 erfolgt das Austreten der Pechdämpfe früher oder später.
- 10 Es ist schon nach dem bekannten Stand der Technik angestrebt worden, die Pechdämpfe vollständig zu verbrennen. Durch die Pechdampfverbrennung können bis etwa 50 % des Energiebedarfs gedeckt werden. Bei unvollständiger Verbrennung der Pechdämpfe entstehen Russpartikel und/oder kondensierte Pechdämpfe. Beide Komponenten bilden ein Brandrisiko und eine erhöhte Be-
- 15 lastung der nachgeschalteten Rauchgasreinigung.

In modernen Anlagen werden Ringkammeröfen 10 mittels Computer gesteuert. Dabei wird eine Zeit-/Temperaturkurve vorgegeben. Durch die Regelung von Unterdruck und Brennstoffmenge wird versucht, eine vorgegebene Sollkurve so

20 gut wie möglich einzuhalten. Bekannt ist auch, dass die Einhaltung aller Zielsetzungen – höchstmögliche Produktion, identische Wärmebehandlung aller Anoden und vollständige Verbrennung – mit den heute üblichen Mitteln nicht unter allen Umständen gewährleistet sein kann. Eine unvollständige Verbrennung führt zu der erwähnten Russbildung und damit zu einer erhöhten Opazität der

25 Rauchgase, mit anderen Worten entsteht eine die Licht- bzw. Strahlungsdurchlässigkeit herabsetzende Trübung.

Eine bekannte Schwachstelle aller bekannten Prozesse ist eine immer wieder auftretende unvollständige Pechverbrennung. Wenn zu einem beliebigen Zeit-

30 punkt die kumulierte Brennerleistung in den in Serie geschalteten Feuerschächten 16 und/oder der momentane Pechdampftransfer 102 (Fig. 6) aus einer Anodenkassette 18 in die Feuerschächte 16 zu hoch ist, kann ein Sauer-

stoffmangel auftreten. Dies hat zur Folge, dass Russpartikel mit den vorstehend erwähnten Nachteilen gebildet werden.

Es ist auch bekannt, die Pechverbrennung durch die Messung der Rauchdichte
5 im Absauger 36 oder in der Abgasleitung 28 zu überwachen. Nachteilig bei einer Messung in der Abgasleitung 28 ist, dass nur eine Aussage über die Pechdampfverbrennung auf einer Ofenseite oder im Ringkammerofen 10 als Ganzes gemacht werden kann. Wenn eine zu hohe Opazität festgestellt wird, muss durch visuelle Kontrolle auf dem Ofen 10 festgestellt werden, welches Feuer
10 und welcher Feuerschacht 16, bzw. welche Feuerschächte betroffen sind.

Bei der Anordnung eines Rauchdichtemessgerätes am Absauger 36 kann für jedes einzelne, sich über mehrere Kammern 12 erstreckende Feuer, eine Aussage gemacht werden. Dagegen muss wiederum durch das Bedienungspersonal
15 visuell festgestellt werden, in welchem Feuerschacht 16 gegebenenfalls Russ produziert wird.

Nachteilig ist auch, dass bekannte Rauchdichtemessgeräte nicht für einen mobilen Einsatz vorgesehen sind. Beim Absauger handelt es sich um ein mehrere
20 Tonnen schweres Bauteil, das nach jedem Feuerzyklus, d.h. etwa alle 28 Stunden, mit dem Kran um eine Brennkammer versetzt werden muss. Durch diesen Transportvorgang, oft resultierend aus zu hohen Beschleunigungen beim Absetzen des Absaugers, wird die Justierung des Rauchdichtemessgerätes nachteilig beeinflusst. Es resultieren Fehlmessungen mit allen daraus resultierenden unerwünschten Folgen, wie falsche Prozessregelaktionen.
25

Bekannt ist auch ein Verfahren aus der US 4859175 A, wobei an einem Absauger für jeden einzelnen Feuerschacht ein eigenes Rauchdichtemessgerät vorgesehen wird. Damit wird die Möglichkeit geschaffen automatisch festzustellen,
30 in welchem Feuerschacht bzw. in welchen Feuerschächten eine Russbildung auftritt. Durch die grosse Anzahl der Messgeräte, beispielsweise 6 bis 10 pro Absauger, multipliziert sich allerdings auch der vorstehend oben beschriebene

Nachteil der falschen Prozessbeeinflussung bei Fehlmessungen, als Folge der genannten mechanischen Beschleunigungen. Aus diesem Grund wird das beschriebene System der US 4859175 A als zu wenig zuverlässig beurteilt.

- 5 Bekannt ist schliesslich ein Verfahren zur Messung des Sauerstoff- oder Kohlenmonoxidgehaltes im Rauchgas 62 (Fig 3). Es gibt jedoch keine Messmethode, welche bei den auf einem Ofen herrschenden Bedingungen eine kontinuierliche Analyse des Rauchgases gestattet. Überdies ist eine Aussage über Russbildung basierend auf Rauchgasanalysen nur mit erheblicher Unsicherheit
10 möglich.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Pechdampfverbrennung unverzüglich auf den jeweiligen Sauerstoffgehalt im Brennraum reagiert. Die Pechdämpfe zünden und erlöschen im Takt der angebotenen Sauerstoffmenge, die ihrerseits
15 vom Einschaltzyklus der vorgeschalteten Brennstoffversorgung bestimmt wird.

Die Erfinder haben sich die Aufgabe gestellt, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu dessen Durchführung der eingangs genannten Art zu schaffen, welche die Bildung und das Bestehen von Russpartikeln in der Ofenatmosphäre ver-
20 hindern.

In Bezug auf das Verfahren wird die Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass der Prozessablauf im Bereich der sichtbaren Pechdampfverbrennung laufend optisch überwacht und die Bildung von Russpartikeln optisch detektiert
25 wird, eine Quasi-Echtzeitauswertung der Resultate erfolgt, und wenn notwendig eine Korrekturaktion zur Ofenüberwachung und Prozessoptimierung automatisch eingeleitet wird, indem die Russpartikel durch Anpassung von wenigstens einem Prozessparameter im betreffenden Feuerschacht anhand von vorliegenden Daten beseitigt werden. Spezielle und weiterführende Ausführungsformen
30 des Verfahrens sind Gegenstand von abhängigen Ansprüchen.

Mit dem erfindungsgemässen Verfahren kann im Bereich der sichtbaren Pech-

verbrennung eine allfällige Russbildung direkt in jedem Feuerschacht erfasst werden, wodurch eine direkte automatische Prozessbeeinflussung möglich wird. Dies erfolgt, indem – wie erwähnt – wenigstens einer der Prozessparameter Unterdruck, Brennstoffzufuhr und Sekundärluftzudosierung nach gespeicherten Erfahrungs- und/oder berechneten Daten geändert wird.

Vorzugsweise wird mit der Überwachung des Verbrennungsvorganges mit einem optischen Sensor gleichzeitig die Temperatur gemessen, insbesondere am gleichen Ort.

Beim Einsetzen einer Bildung von Russpartikeln entsteht eine Trübung, durch die Opazität wird Strahlung absorbiert, was mit einem optischen Sensor gemessen wird. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz eines Zweifarbenpyrometers, welches gleichzeitig die Temperatur und eine allfällige Strahlenabsorption durch Russpartikel misst, solche Zweifarbenpyrometer werden auf dem Markt angeboten.

Nach einer Variante kann die Überwachung des Verbrennungsvorganges mit einer marktüblichen Kamera erfolgen. Die Bildauswertung erfolgt in Quasi-Echtzeit. Von Quasi-Echtzeit wird gesprochen, weil die Auswerteeinheit den Verbrennungsvorgang in den betroffenen Feuerschächten sequentiell detektiert, was in Bruchteilen von Sekunden erfolgt. Wird im Verlauf der Überwachung der Pechdampfverbrennung von der Auswerteeinheit bezüglich der Bildung von Russpartikeln eine Abweichung von der gewünschten Situation festgestellt, erfolgt eine automatische Korrekturaktion im gewünschten Sinne.

Nach einer weiteren Variante wird der Verbrennungsprozess über ein Pyrometer mit sehr kurzer Ansprechzeit erfasst und als Signalrauschen aufgezeichnet. Wird durch die Bildung von Russpartikeln ein unterschiedliches Signalrauschen detektiert, erfolgt ebenfalls eine automatische Korrekturaktion durch eine Änderung wenigstens eines der Parameter Unterdruck, Brennstoffzufuhr und Zudosierung von Sekundärluft mittels gespeicherter Daten.

Die Überwachung des Verbrennungsvorganges erfolgt dauernd, wobei die Sensorsignale zyklisch abgefragt werden, und wobei die Zykluszeit frei parametrierbar ist. Sie erfolgt vorzugsweise in Zykluszeiten von einer bis mehreren Sekunden, z.B. 5 – 10 sec.

Mit einem offenen Ringkammerofen wird die Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass in wenigstens einem Feuerschacht im Bereich der Unterdruck-Messbrücke ein oder mehrere optische Sensoren zur laufenden Überwachung der Verbrennung und der Bildung von Russpartikeln im Rauchgas angeordnet sind. Spezielle und weiterbildende Ausführungsformen des offenen Ringkammerofens sind Gegenstand von abhängigen Patentansprüchen.

Abweichungen vom normalen Verbrennungsverlauf und automatische Korrekturaktionen werden zweckmässig auf einem Bildschirm signalisiert und in einer Datenbank registriert. Das Bedienungspersonal hat damit jederzeit eine vollständige Übersicht über den Prozessverlauf und die Daten stehen für nachträgliche Analysen zur Verfügung.

Vorzugsweise ist im Bereich der Unterdruck-Messbrücke in jedem Feuerschacht ein optischer Sensor angeordnet. Temperaturempfindliche und/oder korrosionsanfällige optische Sensoren können beispielsweise durch einen Pyrexeneinsatz geschützt sein.

Mit dem erfindungsgemässen Verfahren bzw. dem offenen Ringkammerofen kann die Bildung von Russpartikeln nicht nur sofort gesamthaft detektiert, sondern auch lokalisiert und beseitigt werden. Eine vollständige Pechdampfverbrennung ohne Bildung von Russpartikeln wird wieder erreicht, indem automatisch Korrekturaktionen eingeleitet werden. Neben der bekannten Regelung des Unterdrucks und/oder der Brennstoffzufuhr kann durch entsprechende Mittel am benötigten Ort falls erforderlich Sekundärluft zudosiert, d. h. der Sauerstoffgehalt der Rauchgase erhöht werden.

Bei geeigneter Ofenauslegung ist die Zugabe von Sekundärluft im Bereich der Pechverbrennung nicht erforderlich. Sekundärluft ist sogar unerwünscht, da es energetisch vorteilhafter ist, die Verbrennung mit vorgewärmter Primärluft statt
5 mit kalter Sekundärluft aufrechtzuerhalten. Wenn jedoch die Primärluft nicht ausreicht ist es besser, mit Sekundärluft zu arbeiten, als eine unvollständige Verbrennung zu akzeptieren.

Für die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens ist insbesondere ein
10 offener Ringkammerofen geeignet.

Das Verfahren und Vorrichtung werden stellvertretend mit Blick auf die Herstellung von Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse beschrieben. Für das Brennen von anderen Anoden und von Kathoden werden gleiche oder
15 analoge Mittel eingesetzt.

Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten konkreten Ausführungsbeispielen, welche auch Gegenstand von abhängigen Ansprüchen sind, näher erläutert. In Ergänzung der einen an sich bekannten offenen Ring-
20 kammerofen darstellenden Fig.1 zeigen schematisch:

- Fig. 2 den Sauerstoffgehalt, die Anodentemperatur, die Temperatur im Feuerschacht und den Unterdruck über mehrere Kammern eines offenen Ringkammerofens,
- 25 - Fig. 3 einen teilweisen Längsschnitt durch die Feuerschächte eines Ringkammerofens,
- Fig. 4 eine Draufsicht auf einen offenen Ringkammerofen im Stirnbereich,
- Fig. 5 die Anordnung einer Kamera im Bereich eines Brennerlochs, und
- 30 - Fig. 6 einen vertikalen Teilschnitt durch einen Kammerbereich quer zur Feuerrichtung.

In der Grafik gemäss Fig. 2 sind auf der Abszisse sieben Kammern 12 eines Ringkammerofens 10 (diese und die bezüglich Fig. 2 folgenden Bezugsziffern beziehen sich auf Fig.1) dargestellt, die Feuerrichtung F verläuft von rechts nach links. Über der Kammer 1 ist ein Absauger angeordnet, über der Kammer 3 eine Unterdruck-Messbrücke und über den Kammern 4 bis 6 drei Brennerbrücken. Bezüglich der drei Ordinaten wird der Unterdruck p gestrichelt, die Temperatur T_{16} des Feuerschachtes 16 punktiert, die Anodentemperatur T_{20} strichpunktisiert und der Verlauf des Sauerstoffgehaltes O_2 mit einer ausgezogenen Linie dargestellt.

10

Die Verbrennungsluft wird über die Kammern 12 zwischen hinterster Brennerbrücke 42 und Kühler 44 angesaugt, wodurch die Luft vorgewärmt wird, was den Prozesswirkungsgrad verbessert. Der Sauerstoffgehalt nimmt in Richtung F des Feuerzugs im Bereich der Brennerbrücken stufenweise ab, jeder Brenner konsumiert einen Teil des Sauerstoffs. Im Bereich der Unterdruck-Messbrücke erfolgt ein kontinuierlicher Abfall des Sauerstoffgehalts, bedingt durch die Pechverbrennung. Hier entzünden sich die in den Feuerschacht 16 diffundierten flüchtigen Komponenten des Bindemittels und leisten einen Beitrag von 30 bis 50 % zum gesamten Energieverbrauch des Ringkammerofens 10. Die übrigen 50 bis 70 % der Energiezufuhr erfolgt über die Brennerbrücken 42.

Eine punktiert gezeichnete Kurve T_{16} zeigt die Erwärmung der Rauchgase in den Feuerschächten 16 entgegen der Feuerrichtung F. Der Temperaturverlauf ist abhängig von den vorgegebenen Prozessparametern und von der Ofenkonstruktion. Dabei erfolgt ein markanter Temperaturanstieg im Bereich der sichtbaren Pechverbrennung, unmittelbar vor der Unterdruckmessbrücke 40. Eine Spitze wird unmittelbar nach dem Erreichen von Kammer 3 mit der Unterdruck-Messbrücke erreicht, nachher fällt die Temperatur T_{16} leicht ab und steigt dann im Bereich der Brennerbrücken 42 über den Kammern 4 bis 6 bis zum Maximum. Nach diesen Brennerbrücken 42 fällt die Temperatur T_{16} in den Feuerschächten 16 allmählich ab. Im nicht gezeigten Bereich der Kühler 44 wird Luft mit Raumtemperatur in die Feuerschächte 16 eingeblasen

Die Anodentemperatur T_{20} steigt während des Brennprozesses kontinuierlich und gegenüber der Feuerschachttemperatur verzögert an. Die maximale Brenntemperatur von etwa 1050 – 1200°C wird bei der letzten Brennerbrücke
5 42 oder direkt dahinter erreicht.

Der Unterdruck p sinkt in Feuerrichtung F vom Wert 0 Pa zum Beginn der Kühlzone auf etwa 100 Pa beim Absauger 36 in Kammer 1. Über die Klappe im Absaugerstutzen 38 steigt der Unterdruck p auf den Wert im Absauger 36 bzw. in
10 der Ringleitung 28.

Fig. 2 zeigt einen optimalen Prozessablauf ohne Bildung von Russpartikeln.

Ein teilweiser Längsschnitt durch die Feuerschächte 16 in Richtung L durch einen offenen Ringkammerofen 10 (Fig. 1) zeigt in Fig. 3 vier Kammern 12, welche durch Gurtwände 22 teilweise getrennt sind. Die Rauch- bzw. Ofengase 62 können in Feuerrichtung F von Feuerschacht zu Feuerschacht 16 durchtreten. Durch die Anordnung von Schikanen 24 in den Feuerschächten 16 kann die Temperaturverteilung optimiert werden.
20

Die Ofenabdeckung 50 trägt im vorliegenden Fall eine Brennerbrücke 42, eine Unterdruck-Messbrücke 40 und einen Absauger 36 als aufgesetztes Equipment. Weiter sind in der Ofenabdeckung 50 Öffnungen ausgespart. Durch Gurtwandöffnungen 52 oder dafür dimensionierte Brennerlöcher 58 ist ein Absperrorgan 54 in Form eines Schiebers eingeführt. Dadurch wird im Bereich des Absaugers 36 die Öffnung zwischen Gurtwand 22 und Abdeckung 50 so verschlossen, dass in der Aufheizzone ein Unterdruck erzeugt werden kann. Öffnungen in der Ofenabdeckung 50 sind in aller Regel rund oder rechteckig ausgebildet. Es gibt Öfen mit und ohne Gurtwandöffnungen 52. Hat die Gurtwand
25 30 22 keine Öffnungen 52, dann werden die der Gurtwand 22 benachbarten Brennerlöcher 58 so gross dimensioniert, dass das Absperrorgan 54 durch ein Brennerloch 58 eingeführt werden kann. Durch Gurtwandöffnungen 52 kann ein

Schieber, eine Klappe oder dgl. regulierbares Absperrorgan 54 eingeführt werden. Dadurch wird im Bereich des Absaugers 36 die Öffnung zwischen Gurtwand 22 und Abdeckung 50 so verschlossen, dass in der Aufheizzone ein Unterdruck erzeugt werden kann. Die übrigen Gurtwandöffnungen 52 sind verschlossen.

Weitere Öffnungen grösseren Durchmessers 56 und/oder kleineren Durchmessers 58 werden für den Anschluss von Absauger 36, Kühler 44 oder Sensoren benutzt, sie sind in regelmässiger, von Kammer zu Kammer 12 exakt gleicher Verteilung angeordnet. Nur so kann die Produktionseinheit mit Absauger 36, Unterdruck-Messbrücke 40, Brennerbrücken 42 und Kühlern 44 stufenweise um Kammerbreite vorgeschoben werden.

Nach einer nicht dargestellten Variante wird auf Gurtwandöffnungen 52 verzichtet und mindestens ein Brennerloch 58 so gross dimensioniert, dass dort ein Absperrorgan 54 eingeführt werden kann. Auf die Öffnungen 56 benachbart dem Absperrorgan 54 werden die Absaugstutzen 38 des Absaugers 36 aufgesetzt.

Mit einem Thermoelement 60 wird die Temperatur des in die Kammer 16 einströmenden Rauchgases 62 gemessen und in einem Mikroprozessor 64 ausgewertet, gespeichert, weitergeleitet und vorliegend mit einem Display visualisiert.

Die nicht benutzten Öffnungen 52, 56, 58 aller Feuerschächte 16 des Ringkammerofens sind verschlossen soweit sie nicht für die Zufuhr von Sekundärluft benötigt werden, damit ein hinreichender Unterdruck von z. B. etwa 100 Pa in der Kammer 12 beim Absauger erzeugt werden kann. Im Gebiet der Pechdampfverbrennung, hier dargestellt in der dritten Kammer gezählt vom Absauger und entgegen der Feuerrichtung, ist eine Unterdruck-Messbrücke 40 mit einer Unterdrucksonde 66 und einem erfindungsgemässen Zweifarbenpyrometer 68 als optische Messsonde angeordnet, welche gleichzeitig der Tempera-

turmessung dient. Die Unterdruck-Messbrücke 40 umfasst ebenfalls einen Mikroprozessor 70. Weiter zeigt die Unterdruck-Messbrücke 40 ein Ventil 72 für eine Sekundärluftzugabe, falls eine Bildung von Russpartikeln detektiert wird. Ein weiteres Ventil 74 für Sekundärluft ist auf dem Gurtwanddeckel angeordnet, dieses dient dem gleichen Zweck.

Benachbart der Unterdruck-Messbrücke 40 ist auf dem der Feuerrichtung F entgegengesetzten Feuerschacht 16 eine Brennerbrücke 42 angeordnet. Der Brennstoff wird gasförmig oder als Flüssigkeit über Brenner in den Brennerlöchern 58 in den Feuerschacht 16 gespritzt. In der vertikalen Schnittebene sind zwei gezündete Flammen 76 dargestellt, in Blickrichtung hintereinander werden durch sechs Brennerlöcher 58 sechs Flammen 76 gespeist, welche sich in Feuerrichtung F über mehrere Feuerschächte 16 erstrecken. Jedem befeuerten Feuerschacht 16 ist ein Thermoelement 78 zugeordnet, welches die Messwerte in einen Mikroprozessor 80 einspeist.

Die drei Mikroprozessoren 64, 70, 80 sind autonom oder zweckmässig mit einem nicht dargestellten zentralen Rechner verbunden. Nachdem alle am Prozess beteiligten Sektionen, d.h. die Sektionen in der Aufheizung, über den gemeinsamen Verbrennungsluftstrom miteinander verbunden und auch voneinander abhängig sind, ist eine optimale Prozessregelung nur möglich, wenn ein übergeordnetes Leitsystem alle Informationen aus allen beteiligten Sektionen berücksichtigt und daraus die optimale Korrekturstrategie berechnet. Der autonome Betrieb der Mikroprozessoren auf dem jeweiligen Ofenequipment ist eine zweitbeste Annäherung für den Fall, dass die Datenübermittlung vom Ofenequipment zum Zentralrechner nicht funktioniert.

In der Draufsicht auf ein stirnseitiges Ende eines offenen Ringkammerbrenn- ofens 10 gemäss Fig. 4 erkennt man drei Brennerbrücken 42 mit je zwölf Bren- nern, eine in Feuerrichtung F unmittelbar anschliessende Messbrücke 40 mit je sechs Messstellen für die Temperatur und den Unterdruck. Als Alternative zu der vorgehend beschriebenen und in Fig. 3 dargestellten Situation ist eine wei-

tere Brücke angeordnet, die mit sechs Kameras 82, genauer gesagt elektronischen Miniaturkameras, ausgerüstet ist, welche oberhalb von sechs Öffnungen 56 (Fig. 3) angeordnet sind. Die Kameras liegen „In-line“ mit den Feuerschächten 16 der Brennerbrücken 42 und den Messgeräten der Unterdruck-Messbrücke 40 und werden in Fig. 5 näher dargestellt. Die Kameras 82 liegen im mit
5 parallelen Strichen charakterisiertem Bereich der Pechdampfverbrennung 84.

Die Kamera 82, ebenfalls ein optischer Sensor, prüft permanent die Pechdampfverbrennung. Wenn ein Bild detektiert wird, das vom gespeicherten Standardbild nicht oder nur minim abweicht, wird keine Korrekturaktion veranlasst.
10 Wenn dagegen ein Bild detektiert wird, das deutlich vom Standardbild abweicht, wird eine automatische Korrekturaktion eingeleitet:

Eine bezüglich der Feuerrichtung F dem Absauger 36 vorgeschaltete Kammer
15 ist vorzugsweise mit grünen Anoden gefüllt und wird dann als Dichtkammer 86 bezeichnet.

Eine in Fig. 5 dargestellte Kamera 82 zur Überwachung der Pechdampfverbrennung ist über ein Support 88 auf einem Brennerstein 90 angeordnet. Mittels
20 eines transparenten Einsatzes 92 aus hitzebeständigem und resistentem Material, beispielsweise Pyrex-Glas, ist die Kamera 82 vor schädigenden Einwirkungen geschützt.

Fig. 6 zeigt die Einbettung von grünen Elektroden 20, im vorliegenden Fall Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse. Die alternierenden Kassetten
25 18 und Feuerschächte 16 einer Kammer eines offenen Ringkammerofens sind durch eine poröse Wand 98 aus feuerfesten Steinen 96 getrennt. Die Porosität der Mauer wird erreicht, indem nur in den horizontalen Fugen zwischen den Steinlagen Mörtel angebracht wird. In den vertikalen Fugen zwischen den Stei-
30 nen hat es keinen Mörtel, als Abstandhalter kann z.B. ein Stück Karton eingebracht werden, was die Porosität der Mauer 98 bewirkt.

Der Zwischenraum zwischen den gestapelten Anoden 20 und den feuerfesten Wänden 98 ist mit einem Füllpulver 32, z.B. aus Petrolkoks-, Anthrazit- oder Steinkohlegranulat, ausgefüllt. Die Anoden 20 selbst bestehen aus Petrolkoks und etwa 13 - 16 Gew.-% Pech als Bindemittel. Ein Teil des Bindemittels tritt bei
5 der Aufheizung der Anoden gasförmig aus und wird über die Porosität des Füllpulvers 32 und der Wände 98 in die Feuerschächte 16 abgezogen, in welchen über die Ringleitung und den Absauger ein Unterdruck aufrecht erhalten wird. Dieser Diffusionsprozess von Pechdampf ist mit gestrichelten Pfeilen 102 angedeutet. Bei korrekter Ofendimensionierung und Ofenführung entzünden sich
10 die flüchtigen Komponenten des Bindemittels und verbrennen vollständig, was als Pechdampfverbrennung bezeichnet wird.

Die unerwünschte Bildung von Russpartikeln 104 wird von einem optischen Sensor, im vorliegenden Fall ein Zweifarbenpyrometer 68 detektiert, der avi-
15 sierte Rechner leitet sofort eine automatische Korrekturaktion ein.

Grundsätzlich wird der Prozess bei Verfügbarkeit einer Pechverbrennungsde-
tektion, d.h. der Bildung von Russpartikeln, wie folgt geregelt:

- Zuerst vergleicht das System an allen Messpunkten die Ist- mit der Solltem-
20 peratur. Zur Bestimmung der Regelaktion werden die jeweiligen Abweichungen in allen relevanten Feuerschächten 16 berücksichtigt. Weiterhin wird der Wert des Temperaturanstieges (Ist-Gradient) berechnet und mit dem entsprechenden Soll-Gradient verglichen. Als Regelgrösse stehen für jeden Feuerzug der Unterdruck p am Absauger 36 und die Brennstoffmenge bei
25 den Brennern im betrachteten Feuerzug zur Verfügung.
- Aufgrund der gemessenen Temperaturabweichungen und Gradienten errechnet das System die optimale Regelaktion.
- 30 - Vor deren Ausführung kontrolliert das System die Pechverbrennungssituation. Ist diese in Ordnung, wird die Korrekturaktion wie berechnet ausgeführt. Wird dagegen eine unvollständige Pechverbrennung detektiert, dann

wird die Korrekturaktion derart angepasst, dass wieder eine vollständige Pechverbrennung erreicht wird. Eine Russbildung wird dem Bedienungspersonal vorzugsweise auf einem Überwachungsmonitor angezeigt. Alle relevanten Daten werden in einer Datenbank gespeichert. Geeignete Auswertungsalgorithmen erlauben Aussagen über defekte Feuerschächte 16 und über eine gegebenenfalls erforderliche Anpassung, d.h. Optimierung der Sollbrennkurve an das Brenngut.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Optimierung der Pechdampfverbrennung in einem Brennofen für Kohlenstoffelektroden (20), insbesondere Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse, welcher Brennofen wenigstens eine durch poröse Wände (98) von benachbarten Feuerkammern (16) getrennte Kassette (18) für in Füllpulver (32) eingebettete grüne, pechhaltige Elektroden (20) umfasst, wobei in die mit Unterdruck (p) betriebenen Feuerschächte (16) unter laufender Kontrolle von Unterdruck (p) und Temperatur ein gasförmiger oder flüssiger Brennstoff eingeleitet wird.
dadurch gekennzeichnet, dass
der Prozessablauf im Bereich der sichtbaren Pechdampfverbrennung (84) laufend optisch überwacht und die Bildung von Russpartikeln (104) optisch detektiert wird, eine Quasi-Echtzeitauswertung der Resultate erfolgt, und wenn notwendig eine Korrekturaktion zur Ofenüberwachung und Prozessoptimierung automatisch eingeleitet wird, indem die Russpartikel durch Anpassung von wenigstens einem Prozessparameter im betreffenden Feuerschacht (16) anhand von vorliegenden Daten beseitigt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bildung von Russpartikeln (104) und gleichzeitig die Temperatur (T_{16}) gemessen werden, vorzugsweise auch am gleichen Ort.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsvorgang mittels Strahlungsabsorption überwacht wird, vorzugsweise mit einem Zweifarbenpyrometer (68).
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsvorgang mit einer Kamera detektiert und bei einer Abweichung von der gewünschten Situation eine Korrekturaktion eingeleitet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbrennungsvorgang über ein Pyrometer mit sehr kurzer Ansprechzeit erfasst und als Signalrauschen aufgezeichnet wird, ein durch die Bildung von Russpartikeln (104) unterschiedliches Signalrauschen detektiert und eine Korrekturaktion eingeleitet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachung dauernd, in einer frei parametrierbaren Zykluszeit von vorzugsweise wenigstens 1 sec, insbesondere 5 bis 10 sec, durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Korrekturaktion durch Anpassung wenigstens eines Parameters der Gruppe bestehend aus Unterdruck, Brennmittelzudosierung und Sekundärluftzudosierung erfolgt.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrekturaktionen auf einem Bildschirm gezeigt werden.
9. Offener Ringkammerofen (10) mit optimierter Pechdampfverbrennung zum Brennen von Kohlenstoffelektroden (20), insbesondere von Anoden für die Aluminiumschmelzflusselektrolyse, welcher Ringkammerofen (10) im wesentlichen in Serie angeordnete Kammern (12) mit alternierenden Feuereschächten (16) und dazwischenliegenden Kassetten (18) und eine sich über mehrere Kammern (12) erstreckende, in der Längsrichtung (L) verschiebbare Produktionseinheit aus einem Absauger (36), einer Unterdruck-Messbrücke (40), wenigstens einer Brennerbrücke (42) und wenigstens einem Kühler (44) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

- in wenigstens einem Feuerschacht (16) im Bereich der Unterdruck-Messbrücke (40) ein oder mehrere optische Sensoren (68, 82) zur laufenden Überwachung der Verbrennung und der Bildung von Russpartikeln (104) im Rauchgas (62) angeordnet sind.
10. Ringkammerofen (10) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Sensoren Zweifarbenpyrometer (68) sind.
 11. Ringkammerofen (10) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Sensoren die Pechdampfverbrennung in Quasi-Echtzeit erfassende Kameras (82) sind, vorzugsweise elektronische Miniaturkameras mit Bildauswerteeinheit.
 12. Ringkammerofen (10) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Feuerschacht (16) selbst und/oder auf der Unterdruck-Messbrücke (40) auf dem Feuerschacht (16) Ventile (72, 74) zur Zufuhr der Sekundärluft angeordnet sind.

1/3

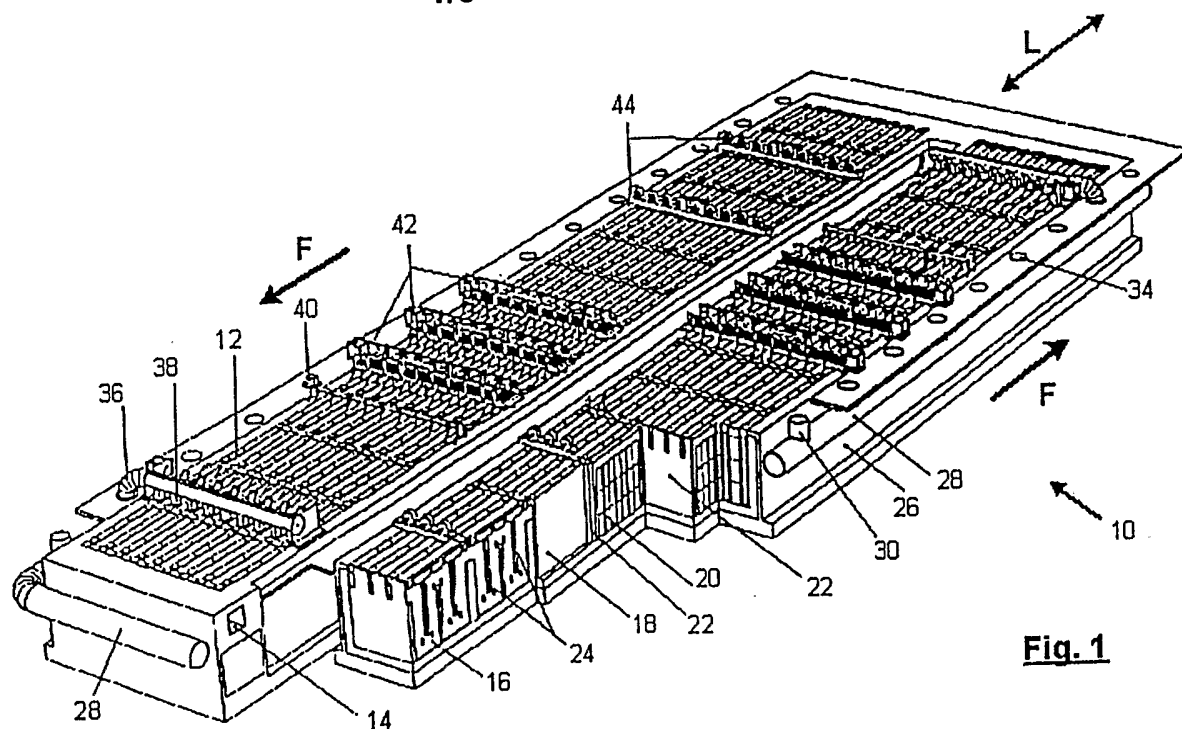
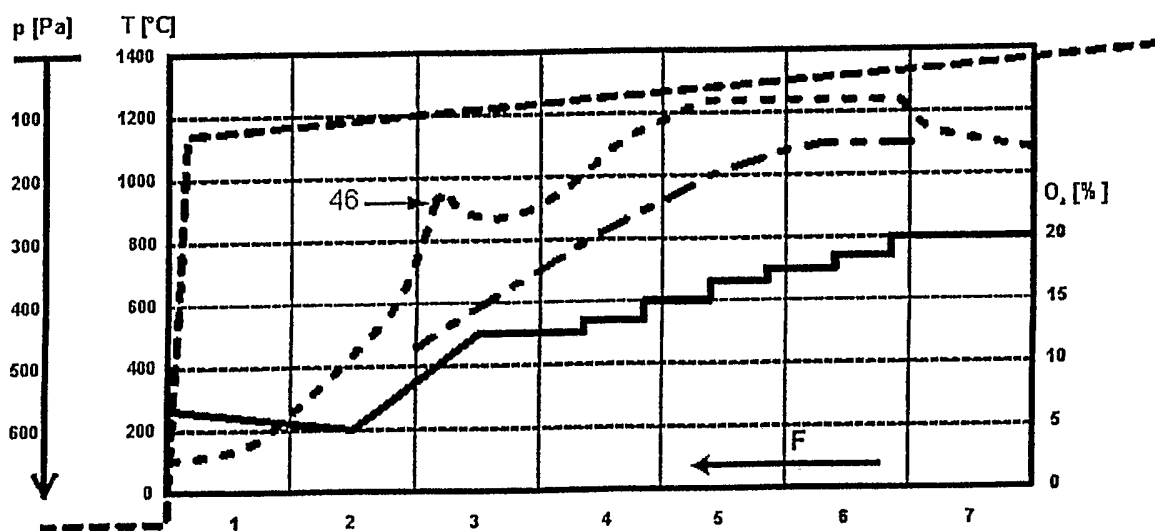


Fig. 1



- - - - - p
 T_{16}
 - . - . - T_{20}
 ——— O_2

Fig. 2

2/3

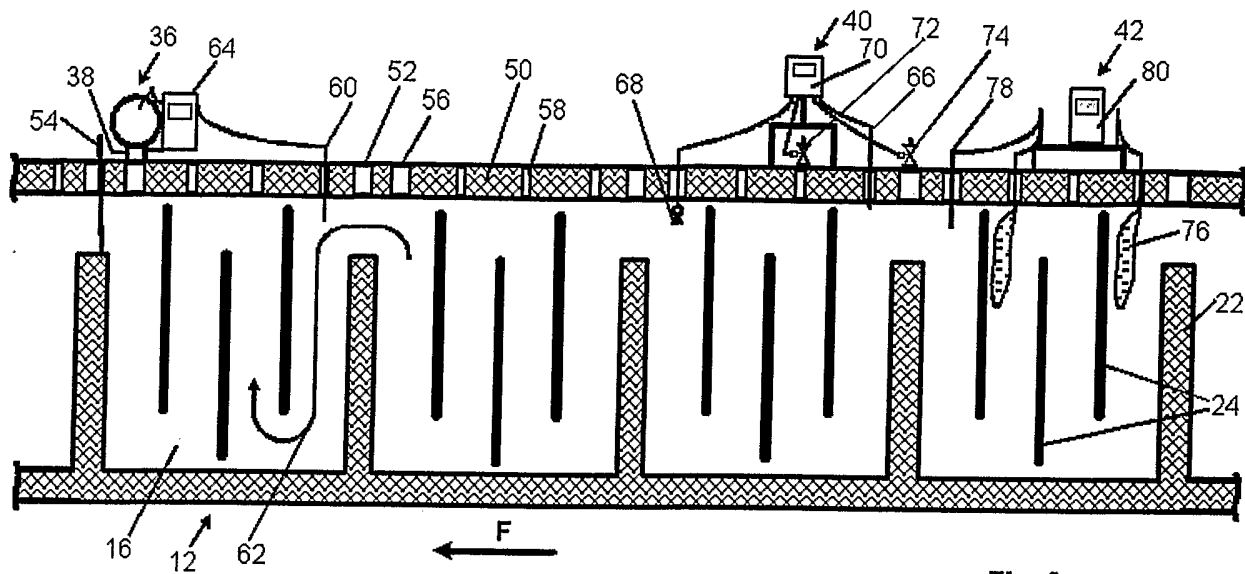


Fig. 3

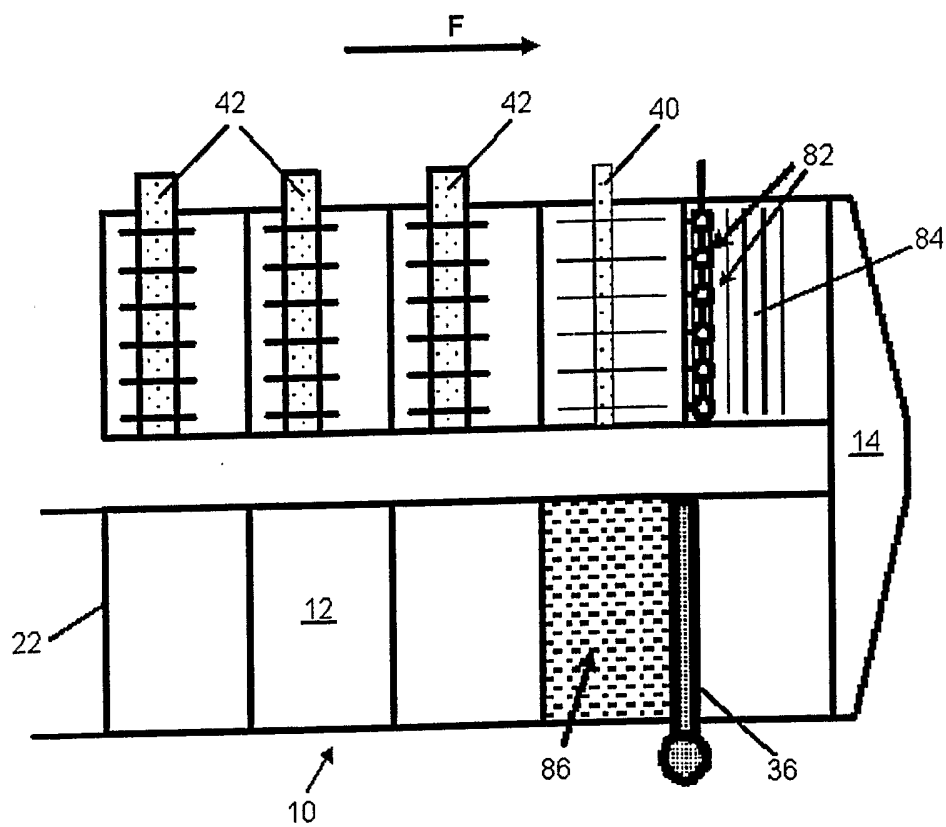
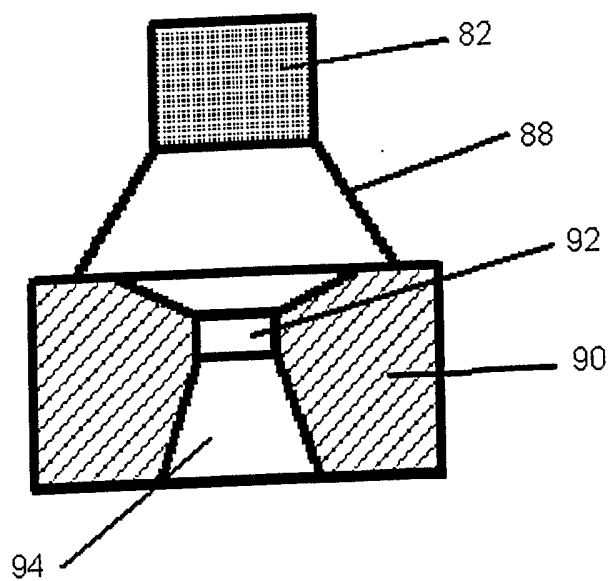
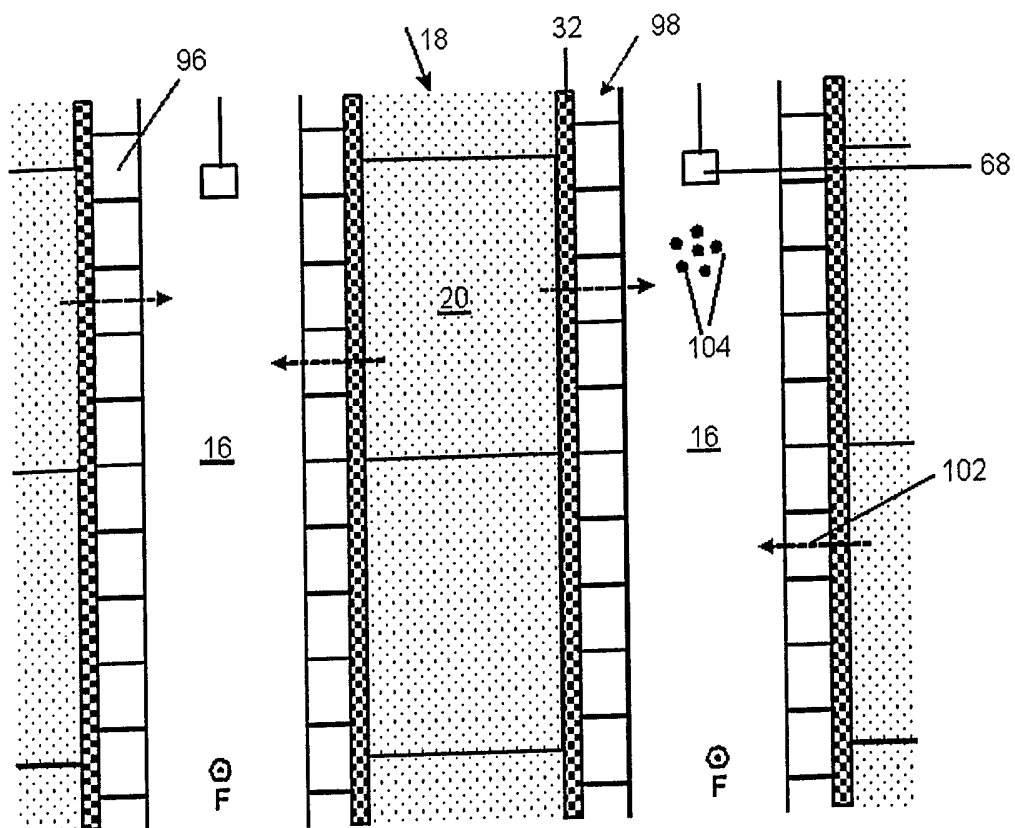


Fig. 4

3/3

**Fig. 5****Fig. 6**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 03/00599

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 F27B13/14

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F27B F27D C21D G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 859 175 A (DREYER CHRISTIAN ET AL, SAINT JEAN DE MAURIENNE, FR) 22 August 1989 (1989-08-22) cited in the application the whole document -----	1-3,7,9, 12
A	DATABASE WPI Section Ch, Week 197923 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M24, AN 1979-43677B XP002228526 & SU 618 431 A (LEBEDEV N I), 23 June 1978 (1978-06-23) abstract ----- -/--	1-3,9

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 November 2003

Date of mailing of the international search report

03/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Peis, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 03/00599

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 195 36 237 A (SIEMENS AG ;NPWP TOREX (RU)) 3 April 1997 (1997-04-03) page 2, line 24 - line 50 figures 1-4 -----	1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH 03/00599

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4859175	A	22-08-1989	FR 2600152 A1	18-12-1987
			FR 2614093 A2	21-10-1988
			AT 46029 T	15-09-1989
			AU 594480 B2	08-03-1990
			AU 7514187 A	12-01-1988
			BR 8707345 A	13-09-1988
			CA 1317421 C	11-05-1993
			CN 87104218 A ,B	06-01-1988
			CZ 8704395 A3	17-02-1993
			DE 3760518 D1	05-10-1989
			EG 18443 A	30-04-1993
			EP 0252856 A1	13-01-1988
			WO 8707938 A1	30-12-1987
			GR 3000140 T3	29-11-1990
			HU 46792 A2	28-11-1988
			HU 201144 B	28-09-1990
			IN 167646 A1	01-12-1990
			JP 3013511 B	22-02-1991
			JP 63503560 T	22-12-1988
			KR 9204473 B1	05-06-1992
			MX 169261 B	28-06-1993
			NO 880676 A ,B,	16-02-1988
			NZ 220691 A	21-12-1989
			OA 8809 A	31-03-1989
			PH 24361 A	13-06-1990
			PL 266318 A1	01-09-1988
			SU 1738102 A3	30-05-1992
			TR 22915 A	24-11-1988
			YU 103788 A1	31-08-1990
			YU 111387 A1	30-06-1989
			ZA 8704322 A	17-12-1987
SU 618431	A	05-08-1978	SU 618431 A1	05-08-1978
DE 19536237	A	03-04-1997	DE 19536237 A1	03-04-1997
			RU 2141629 C1	20-11-1999

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Patentzeichen

PCT/CH 03/00599

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 F27B13/14

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 F27B F27D C21D G01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^o	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 859 175 A (DREYER CHRISTIAN ET AL, SAINT JEAN DE MAURIENNE, FR) 22. August 1989 (1989-08-22) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-3,7,9, 12
A	DATABASE WPI Section Ch, Week 197923 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class M24, AN 1979-43677B XP002228526 & SU 618 431 A (LEBEDEV N I), 23. Juni 1978 (1978-06-23) Zusammenfassung	1-3,9



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

^o Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

^A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

^E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

^L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

^O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

^P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

^T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

^X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

^Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

[&]* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. November 2003

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

03/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Peis, S

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Markenzeichen

PCT/CH 03/00599

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 195 36 237 A (SIEMENS AG ;NPWP TOREX (RU)) 3. April 1997 (1997-04-03) Seite 2, Zeile 24 - Zeile 50 Abbildungen 1-4 -----	1,2

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Patentzeichen

PCT/CH 03/00599

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4859175	A	22-08-1989	FR	2600152 A1	18-12-1987
			FR	2614093 A2	21-10-1988
			AT	46029 T	15-09-1989
			AU	594480 B2	08-03-1990
			AU	7514187 A	12-01-1988
			BR	8707345 A	13-09-1988
			CA	1317421 C	11-05-1993
			CN	87104218 A ,B	06-01-1988
			CZ	8704395 A3	17-02-1993
			DE	3760518 D1	05-10-1989
			EG	18443 A	30-04-1993
			EP	0252856 A1	13-01-1988
			WO	8707938 A1	30-12-1987
			GR	3000140 T3	29-11-1990
			HU	46792 A2	28-11-1988
			HU	201144 B	28-09-1990
			IN	167646 A1	01-12-1990
			JP	3013511 B	22-02-1991
			JP	63503560 T	22-12-1988
			KR	9204473 B1	05-06-1992
			MX	169261 B	28-06-1993
			NO	880676 A ,B,	16-02-1988
			NZ	220691 A	21-12-1989
			OA	8809 A	31-03-1989
			PH	24361 A	13-06-1990
			PL	266318 A1	01-09-1988
			SU	1738102 A3	30-05-1992
			TR	22915 A	24-11-1988
			YU	103788 A1	31-08-1990
			YU	111387 A1	30-06-1989
			ZA	8704322 A	17-12-1987
SU 618431	A	05-08-1978	SU	618431 A1	05-08-1978
DE 19536237	A	03-04-1997	DE	19536237 A1	03-04-1997
			RU	2141629 C1	20-11-1999