

(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

19. Juni 2014 (19.06.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2014/091023 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

C25C 3/08 (2006.01) C25C 3/16 (2006.01)
C25C 7/00 (2006.01)

(72) Erfinder: HILTMANN, Frank; Sittigstr. 13, 65830 Kriftel (DE). TOMALA, Janusz; Szczecinska 30, PL-47-400 Racibórz (PL). ABBAS, Ghazanfar; Beethovenstraße 5, 65189 Wiesbaden (DE). FROMMELT, Thomas; Käzböckstr. 17, 86157 Augsburg (DE). SCHMITT, Rainer; Zweibrückenstr. 22, 86157 Augsburg (DE). PFEFFER, Markus; Auweg 8, 86444 Affing (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/076624

(22) Internationales Anmeldedatum:

13. Dezember 2013 (13.12.2013)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2012 223 051.3
13. Dezember 2012 (13.12.2012) DE
10 2013 214 322.2 22. Juli 2013 (22.07.2013) DE

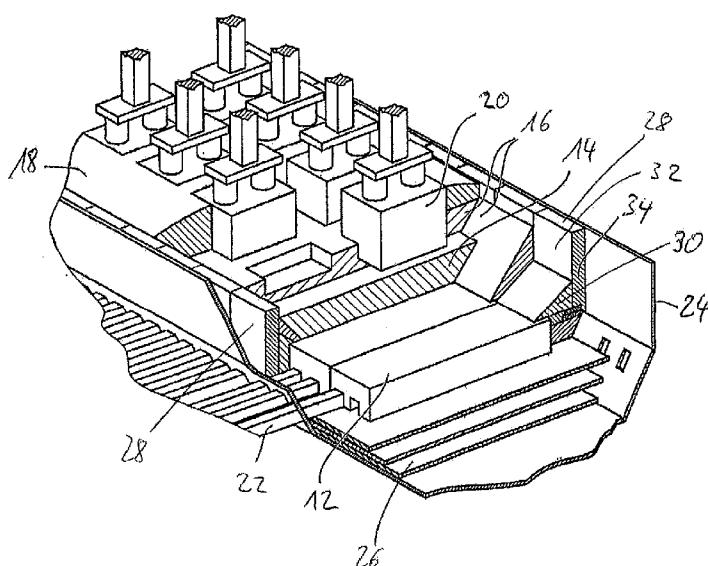
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: SIDE-WALL BLOCK FOR A WALL IN AN ELECTROLYTIC CELL FOR REDUCING ALUMINUM

(54) Bezeichnung : SEITENSTEIN FÜR EINE WAND IN EINER ELEKTROLYSEZELLE ZUR REDUZIERUNG VON ALUMINUM

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a side-wall block for a wall in an electrolytic cell, in particular for producing aluminum, a method for producing such a side-wall block, use of such a side-wall block, and an electrolytic cell having such a side-wall block. The side-wall block (28) is a layered body, comprising a layer having a higher thermal conductivity and a layer having a lower thermal conductivity, wherein the difference in the thermal conductivity is at least 5 W/(m·K).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft einen Seitenstein für eine Wand in einer Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Seitensteins und eine Verwendung eines solchen Seitensteins sowie eine Elektrolysezelle mit einem solchen Seitenstein. Der Seitenstein (28) ist ein Schichtkörper umfassend eine Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit und eine Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit, wobei der Unterschied in der Wärmeleitfähigkeit wenigstens 5 W/(m.K) beträgt.



RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

SEITENSTEIN FÜR EINE WAND IN EINER ELEKTROLYSEZELLE
ZUR REDUZIERUNG VON ALUMINUM

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Seitenstein für eine Wand in einer Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Seitensteins und eine Verwendung eines solchen Seitensteins sowie eine Elektrolysezelle mit einem solchen Seitenstein.

Elektrolysezellen werden zur elektrolytischen Herstellung von Aluminium, welche industriell üblicherweise nach dem Hall-Héroult-Verfahren durchgeführt wird, eingesetzt. Bei dem Hall-Héroult-Verfahren wird eine aus Aluminiumoxid und Kryolith, und zwar vorzugsweise aus etwa 15 bis 20 % Aluminiumoxid und etwa 85 bis 80 % Kryolith, zusammengesetzte Schmelze elektrolysiert. Dabei dient der Kryolith, $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$, dazu, den Schmelzpunkt von 2.045 °C für reines Aluminiumoxid auf etwa 960 °C für eine Kryolith, Aluminiumoxid und Zusatzstoffe, wie Aluminiumfluorid und Calciumfluorid, enthaltende Mischung zu senken, so dass die Schmelzelektrolyse bei einer verringerten Temperatur von etwa 960 °C durchgeführt werden kann.

Die bei diesem Verfahren eingesetzte Elektrolysezelle weist einen Boden auf, der aus einer Vielzahl von, beispielsweise 24, aneinander angrenzenden, die Kathode ausbildenden Kathodenblöcken zusammengesetzt ist. Zwischen den benachbarten Kathodenblöcken ist jeweils eine Fuge ausgebildet. Die Anordnung von Kathodenblock und gegebenenfalls gefüllter Fuge wird im Allgemeinen als Kathodenboden bezeichnet. Der Kathodenboden ist von einer aus mehreren Seitensteinen gebildeten Wand umgeben, welche zusammen mit dem Kathodenboden eine die Aluminiumschicht und die Schmelzeschicht aufnehmende innere Wanne bildet, die von einer äußeren Stahlwanne umgeben ist. Die zwischen benachbarten Kathodenblöcken sowie zwischen den Kathodenblöcken und den Seitensteinen vorhandenen Fugen bzw. Zwischenräume sind üblicherweise mit Stampfmasse aus

Kohlenstoff und/oder Kohlenstoff enthaltendem Material, wie Anthrazit oder Graphit, und einem Binder, wie Steinkohlenteerpech, gefüllt. Dies dient zur Abdichtung gegen schmelzflüssige Bestandteile und zur Kompensation mechanischer Spannungen, welche beispielsweise aufgrund der Ausdehnung der Kathodenblö-

- 5 cke bei dem Aufheizen bei der Inbetriebnahme der Elektrolysezelle auftreten. Um den bei dem Betrieb der Elektrolysezelle herrschenden thermischen und chemischen Bedingungen standzuhalten, sind die Kathodenblöcke üblicherweise aus einem einheitlichen kohlenstoffhaltigen Material zusammengesetzt und die Seitensteine aus einem einheitlichen kohlenstoff- oder siliziumcarbidhaltigen Material. An
10 den Unterseiten der Kathodenblöcke sind jeweils Nuten vorgesehen, in denen jeweils wenigstens eine Stromschiene angeordnet ist, durch welche der über die Anoden zugeführte Strom aus der Elektrolysezelle abgeführt wird. Unterhalb des Kathodenbodens, d.h. zwischen den Kathodenblöcken und dem Boden der die Kathode aufnehmenden Stahlwanne, ist üblicherweise eine Auskleidung aus ei-
15 nem feuerfesten Material vorgesehen, welche den Boden der Stahlwanne von dem Kathodenboden thermisch isoliert.

Etwa 3 bis 5 cm oberhalb der auf der Kathodenoberseite befindlichen Schicht aus schmelzflüssigem Aluminium ist eine aus einzelnen Anodenblöcken ausgebildete

- 20 Anode angeordnet, wobei zwischen der Anode und der Oberfläche des Aluminiums sich die Aluminiumoxid und Kryolith enthaltende Schmelze, befindet. Wäh-
rend der bei etwa 960 °C durchgeföhrten Elektrolyse setzt sich das gebildete Alu-
minium aufgrund seiner im Vergleich zu der der Schmelze größeren Dichte unter-
halb der Schmelzsenschicht ab, also als Zwischenschicht zwischen der Oberseite der
25 Kathodenblöcke und der Schmelzsenschicht. Bei der Elektrolyse wird das in der Kryo-
lithschmelze gelöste Aluminiumoxid durch elektrischen Stromfluss in Aluminium und Sauerstoff aufgespalten. Elektrochemisch gesehen handelt es sich bei der Schicht aus schmelzflüssigem Aluminium um die eigentliche Kathode, da an des-
sen Oberfläche Aluminiumionen zu elementarem Aluminium reduziert werden.
30 Nichtsdestotrotz wird nachfolgend unter dem Begriff Kathode nicht die Kathode

aus elektrochemischer Sicht, also die Schicht aus schmelzflüssigem Aluminium verstanden, sondern das den Kathodenboden ausbildende, aus einem oder mehreren Kathodenblöcken zusammengesetzte Bauteil.

- 5 Moderne Elektrolysezellen werden bei hohen Elektrolysestromstärken von beispielsweise bis zu 600 kA betrieben, um eine hohe Produktivität der Elektrolysezelle zu gewährleisten. Diese hohen Stromstärken führen zu einer gesteigerten Wärmeerzeugung während des Elektrolyseprozesses. Infolge der hohen Wärmeerzeugung erweist es sich als schwierig, die Wärmeabführung aus der Elektrolysezelle so anzupassen, dass überall in der Elektrolysezelle die thermischen Verhältnisse erreicht werden, die im Hinblick auf die Stabilität und Effizienz der Elektrolyse sowie im Hinblick auf die Standzeit der Elektrolysezelle optimal sind, wobei z.B. die Energieeffizienz der Elektrolyse durch überhöhte thermische Energieverluste in Bereichen hoher Wärmeerzeugung der Elektrolysezelle verringert wird.
- 10 Somit werden durch die ungünstigen thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit des Elektrolysebetriebs sowie die Standzeit der Elektrolysezelle beeinträchtigt.
- 15

Zwar lässt sich die Abführung von in der Elektrolysezelle erzeugter überschüssiger, d.h. für die Aufrechterhaltung des Schmelzprozesses nicht benötigter Wärme über den Boden der Stahlwanne durch die zwischen dem Kathodenboden und der Stahlwanne angeordnete feuerfeste Auskleidung einstellen, welche üblicherweise aus feuerfesten Steinen oder Platten besteht, die in die Stahlwanne eingelegt und im Bereich des Bodens der Stahlwanne aufeinander gestapelt sind. Allerdings spielt für die Temperaturverhältnisse im Bereich der Schicht aus flüssigem Aluminium und der Schmelzeschicht, in dem die Elektrolyse stattfindet, die Wärmeabgabe über die verhältnismäßig dünn ausgebildete seitliche Wand der durch den Kathodenboden und die Seitensteine gebildeten inneren Wanne eine wesentliche Rolle. Die Wärmeflüsse in dieser seitlichen Wand sind für die thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle besonders relevant, da die seitliche Wand übli-

cherweise mit verschiedenen Bestandteilen und Medien in der Elektrolysezelle in Kontakt steht, d.h. insbesondere mit der Schicht aus flüssigem Aluminium, der darauf angeordneten flüssigen Schmelzeschicht, einer oberhalb der flüssigen Schmelzeschicht vorhandenen Schicht von erstarrter Schmelze bzw. Kruste und der sich während der Elektrolysezelle entwickelnden gasförmigen Atmosphäre mit den verschiedenen darin enthaltenen Elementen.

5 Die erzeugten Mengen an thermischer Energie müssen in definierter Weise teilweise abgeführt werden, aber gleichzeitig müssen auch zu hohe Wärmeverluste, 10 die Energieverluste bedeuten und damit die Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseprozesses beeinträchtigen, vermieden werden.

15 Im Bereich der relativ dünnen Seitenwände ist bei bekannten Elektrolysezellen aufgrund der vertikalen Konstruktion der Seitenwände und der sich daraus ergebenden konstruktiven Erfordernisse keine zusätzliche Auskleidung aus aufgestapelten feuerfesten Steinen wie in dem Bereich des Bodens der Stahlwanne vorgesehen, so dass die Anpassung der Wärmeabgabe über die Seitenwände nicht in derselben einfachen Weise möglich ist wie in dem Bodenbereich. Einheitliche Seitenwände, welche üblicherweise aus einem kohlenstoff- oder siliciumcarbidhaltigen Material bestehen, sind homogen in Bezug auf die Wärmeleiteigenschaften senkrecht zur Seitenwandebene und erlauben nur eine eingeschränkte Steuerung der Wärmeflüsse und des Verlaufs der Isothermen in der Seitenwand im laufenden Betrieb. Die Fuge zwischen solch einer Seitenwand und einem Kathodenblock wird üblicherweise mit Stampfmasse aus Kohlenstoff und/oder Kohlenstoff enthaltendem Material wie Anthrazit oder Graphit, und einem Binder wie Steinkohle- 20 teer, gefüllt. Diese Fuge wird häufig manuell oder halbautomatisch gestampft, wobei Stampffehler auftreten können, welche zu einer Schädigung der Fuge oder, im schlimmsten Falle, sogar zum vorzeitigen Ausfall der gesamten Elektrolysezelle führen können. Diese Schäden treten oft erst bei Inbetriebnahme oder im laufen- 25 den Betrieb der Elektrolysezelle auf. Das Risiko des Auftretens der Schädigung ist 30

umso größer je breiter bzw. dicker die entsprechende Fuge ist. Eine breitere bzw. dickere Fuge bedeutet zudem auch einen höheren Arbeitsaufwand und eine höhere Belastung für die Umwelt und das für die Elektrolysezelle zuständige Personal, da sich in konventionellen Stampfmassen gesundheitsschädliche Substanzen befinden. Es ist bekannt, einen Teil oder die gesamte der zwischen den Seitensteinen und Kathodenblöcken benötigten Stampfmasse durch eine schrägverlaufende Schicht aus vorgebranntem Kohlenstoff oder Graphit zu ersetzen. Wird nur ein Teil dieser Stampfmasse ersetzt, so wird die Dicke der Stampfmassefuge um mehr als 50 % bis 99 %, bevorzugt mehr als 75 % bis 99 %, besonders bevorzugt mehr als 90 % bis 99 % reduziert. Es ist auch möglich, dass diese Schicht nicht das gesamte Volumen der ursprünglichen Stampfmasseschicht ausfüllt, um z.B. Raum für eine Vergrößerung der Anodenoberfläche zu schaffen. Meist wird noch eine dünne, senkrechte umlaufende Stampfmassenfuge von beispielsweise 50 mm Dicke beibehalten. Mit dieser schrägverlaufenden Schicht können vertikal angeordnete Seitensteine aus beispielsweise siliziumnitridgebundenem Siliziumcarbid verbunden sein. Eine solche Konstruktion umfassend einen Seitenstein und eine schrägverlaufende Schicht wird im Folgenden als „Kompositseitenstein“ bezeichnet. Ein Kompositseitenstein, bei welchem das siliziumnitridgebundenes Siliziumcarbid an die schrägverlaufende Schicht geklebt wird, wird bereits in modernen Elektrolysezellen eingesetzt. Der üblicherweise verwendete Kleber kann gesundheitsschädliche Stoffe enthalten, was wiederum eine höhere Belastung für die Umwelt und das Personal, welches für die Elektrolysezelle zuständig ist, bedeutet. Zudem bedingt das Anbringen des Klebermaterials einen zusätzlichen Arbeitsschritt. Treten Klebefehler durch fehlerhaftes Klebermaterial oder dessen fehlerhaftes Anbringen auf, so kann es zu einem Versagen der Klebefugen kommen. Die Seitensteine eines solchen Kompositseitensteins bestehen aus einem einheitlichen Material und erlauben so keine Differenzierung in Bezug auf die thermische Leitfähigkeit im Seitenstein selbst. Auch das Klebermaterial bzw. die Klebefuge können einen Einfluss auf den Wärmefluss in der Elektrolysezelle haben. Da die Klebefuge selber sehr dünn ist, können Ungleichmäßigkeiten bei die-

ser Fuge den entsprechenden lokalen Wärmefluss beeinträchtigen. Eine Carbonisierung des Klebermaterials während der Inbetriebnahme der Zelle kann zu einer Verringerung von dessen Haftwirkung führen, was eine Schwächung der Verbindung zwischen der schrägverlaufenden Schicht aus vorgebranntem Kohlenstoff

- 5 oder Graphit und dem vertikal verlaufenden Seitenstein bedeuten kann. Falls es zu einem Versagen dieser Verbindung kommt, d.h. dass die obige schrägverlaufende Schicht und der vertikal verlaufenden Seitenstein nicht mehr miteinander verbunden sind, wird der Wärmefluss in undefinierter Weise verschlechtert und die notwendige Wärmeabfuhr kann nicht mehr ausreichend gewährleistet werden.
- 10 Dies kann zu einer Überhitzung der Elektrolysezelle, und im schlimmsten Falle zu ihrem vorzeitigen Ausfall führen, d.h. die Lebenszeit bzw. Standzeit der Elektrolysezelle wird verringert. Die Verwendung von Klebermaterial kann auch zwischen den einzelnen Seitensteinen, welche die Seitenwand ausbilden, in Form einer dünnen Klebeschicht erfolgen.

15

DE 3506200 offenbart Seitensteine für die Wand einer Elektrolysezelle, welche einen schichtweise aufgebauten Verbundkörper darstellen, welcher eine innere Schicht aus einem kohlenstoffhaltigem Material und eine äußere Schicht aus einem harten keramischen Material enthält, wobei diese beiden Schichten innig mit-
20 einander verbunden sind. Hiermit wird ein praktisch ungehinderter Wärmefluss von innen nach außen erlaubt. Allerdings ist bei Verwendung von solchen Seitensteinen die Beständigkeit gegenüber Verschleiß, insbesondere abrasivem und/ oder korrosivem Verschleiß noch nicht ausreichend.

- 25 Mit den bekannten Elektrolysezellen lassen sich deshalb, insbesondere bei dem Betrieb mit hohen Elektrolysestromstärken, keine optimalen Prozessbedingungen erzielen, wodurch die erreichbare Stabilität und Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseprozesses beschränkt werden und die Standzeit der Elektrolysezelle beeinträchtigt wird.

30

Daher ist es eine Aufgabe der Erfindung, einen Seitenstein für die Wand einer Elektrolysezelle bereitzustellen, welcher bei seinem Einsatz in der Elektrolysezelle optimale Prozessbedingungen und eine dementsprechend hohe Wirtschaftlichkeit und Stabilität während des Elektrolysebetriebs sowie eine hohe Standzeit der

5 Elektrolysezelle gewährleistet. Insbesondere soll der Seitenstein die Wärmeabgabe über die seitliche Wand der Elektrolysezelle derart einstellen, dass während der Elektrolyse optimale thermische Verhältnisse in der Elektrolysezelle herrschen und während des Betriebs thermische Verluste, hervorgerufen durch eine ungünstige Wärme- und Temperaturverteilung, weitestgehend vermieden werden. Die

10 Betriebstemperatur der Zelle während der Elektrolyse liegt hierbei zwischen 920 °C und 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C. Weiterhin soll dieser Seitenstein eine erhöhte Beständigkeit gegenüber abrasivem und/oder korrosivem Verschleiß, insbesondere gegenüber abrasivem Verschleiß, aufweisen. Dieser Seitenstein soll zudem beispielsweise ohne die Verwendung von Klebstoff(en)

15 hergestellt werden können. Weiterhin soll dieser Seitenstein, wenn er als Kompositseitenstein ausgestaltet ist, auch ermöglichen, dass auf die Stampfmasse zwischen der Seitenwand und dem Kathodenblock teilweise oder ganz verzichtet werden kann.

20 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch einen Seitenstein für eine Wand in einer Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, welcher ein Schichtkörper ist und eine Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und eine Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit umfasst, wobei der Unterschied zwischen niedrigerer und höherer Wärmeleitfähigkeit wenigstens

25 5 W/m·K, gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C, beträgt, und wobei zumindest eine der Schichten mit Silizium(pulver), einem oxidischen keramischen Material oder einem nicht-oxidischen Material dotiert ist. Dieser Schichtkörper kann - wie später dargelegt – ohne die Verwendung von Klebstoff(en) hergestellt werden. Durch die Ausgestaltung des Seitensteins kann ebenfalls auf die Verwendung von Klebstoff(en) zwi-

schen den einzelnen Seitensteinen, welche die Seitenwand ausbilden, verzichtet werden. Bedingt durch die Form dieses Schichtkörpers kann – wie ebenfalls später ausgeführt – teilweise oder ganz auf die Stampfmasse zur Füllung der Fuge zwischen Seitenstein und Kathodenblock verzichtet werden.

5

Es wurde erkannt, dass die Ausgestaltung eines Seitensteins für eine Elektrolysezelle mit Schichten mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit, wobei mindestens eine der Schichten mit Silizium(pulver), einem oxidischen keramischen Material oder einem nicht-oxidischen Material dotiert ist, eine sehr einfach zu bewerkstelligende und zugleich hochwirksame Anpassung der thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle bei deren Betrieb derart ermöglicht, dass die Stabilität und Effizienz der Elektrolyse und die Standzeit der Elektrolysezelle optimiert werden. Zudem wird die Beständigkeit gegenüber Verschleiß, insbesondere abrasivem und/oder korrosivem Verschleiß erhöht. Falls Klebermaterial zwischen den einzelnen Seitensteinen verwendet wird, ist es durch die Ausgestaltung dieses Seitensteins möglich, ganz auf dieses Klebermaterial zu verzichten. Weiterhin wurde erkannt, dass durch eine besondere Formgebung dieser Seitensteine es neben dieser Anpassung der thermischen Verhältnisse auch möglich ist, auf die Stampfmasse zur Füllung der Fuge zwischen Seitenstein und Kathodenblock teilweise oder ganz zu verzichten.

Wenn im Folgenden der Begriff „Seitenstein“ genannt wird, so kann dieser Begriff auch die oben genannten Kompositseitensteine umfassen. Wie nachfolgend beschrieben weist ein Kompositseitenstein eine besondere Form auf.

25

Unter den Begriffen "niedrigere" bzw. "höhere" Wärmeleitfähigkeit ist zu verstehen, dass die jeweilige Schicht, die diese Wärmeleitfähigkeit aufweist, im Vergleich zu der jeweiligen anderen Schicht eine "niedrigere" bzw. "höhere" Wärmeleitfähigkeit aufweist. Insbesondere besteht die eine Schicht aus einem Material mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und die andere Schicht aus einem Material mit

- einer höheren Wärmeleitfähigkeit, wobei die beiden Materialien voneinander verschieden sind. Umfasst der Schichtkörper mehr als zwei Schichten können sämtliche Schichten voneinander verschiedene Wärmeleitfähigkeiten aufweisen, oder aber können zumindest zwei Schichten dieselbe Wärmeleitfähigkeit aufweisen
- 5 und/oder wenigstens zwei Gruppen von Schichten vorgesehen sein, die jeweils dieselbe Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Bei mehr als zwei Schichten ist es ausreichend, wenn zwischen wenigstens zwei der Schichten ein Wärmeleitfähigkeitsunterschied von wenigstens 5 W/m·K - gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C - besteht. Insbesondere unterscheiden sich die Wärmeleitfähigkeiten der Schichten in zumindest einer Richtung des Seitensteins, bei der es sich bevorzugt um eine Richtung handelt, die insbesondere senkrecht zu der durch die Seitensteine gebildeten Seitenwand ist.
- 10
- 15 Der Unterschied zwischen niedrigerer und höherer Wärmeleitfähigkeit - gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C - kann zwischen 5 W/m·K und 80 W/m·K, bevorzugt zwischen 5 und 70 W/m·K, besonders bevorzugt zwischen 8 W/m·K und 60 W/m·K und ganz besonders bevorzugt zwischen 10 W/m·K und 50 W/m·K betragen.
- 20 Durch die verschiedenen Schichten des Seitensteins mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit lassen sich die Wärmeleitung und -abgabe über die Seitensteine und der Verlauf der Isothermen in der seitlichen Wand gezielt einstellen. Da die Seitensteine Bereichsweise direkt mit der Schicht aus flüssigem Aluminium und
- 25 der Schmelzeschicht in Kontakt stehen, in denen die Elektrolyse stattfindet, lassen sich dadurch die dortigen, für die Stabilität und Effizienz der Elektrolyse besonders wichtigen Temperaturverhältnisse direkt und mit hoher Wirksamkeit beeinflussen, so dass für den Betrieb der Elektrolysezelle optimale thermische Bedingungen gewährleistet werden können. Beispielsweise lassen sich verschiedene Wärmeleitfähigkeiten in den Bereichen des Seitensteins vorsehen, die bei dem Einsatz
- 30

des Seitensteins in der Elektrolysezelle mit den verschiedenen Medien der Elektrolysezelle in Kontakt kommen. Ebenso können entlang der Wärmeflussrichtung durch die Seitensteine nach außen mehrere Schichten mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten aufeinander folgen, um den Wärmefluss in der genannten Richtung 5 zu einstellen. Die dadurch erreichte Optimierung der thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle führt zu einer erheblichen Steigerung der Stabilität und Effizienz des Elektrolyseprozesses und der Standzeit der Elektrolysezelle. Die Stabilität und Effizienz des Elektrolyseprozesses und die Standzeit der Elektrolysezelle werden auch dadurch gesteigert, dass zumindest eine der Schichten mit Silizium(pulver), einem oxidischen keramischen Material oder einem nicht-oxidischen 10 Material dotiert ist.

Die erfindungsgemäßen Seitensteine, welche auch Kompositseitensteine umfassen, lassen sich vorzugsweise in herkömmlicher Weise, welche bekannten Seitensteinen mit homogener Wärmeleitfähigkeit, jeweils in Bezug auf eine definierte Raumrichtung, entspricht, in eine Elektrolysezelle einbauen und dort zur Auskleidung der seitlichen Wand der Stahlwanne verwenden, ohne dass die Konstruktion betreffende Änderungen der Elektrolysezelle notwendig sind oder diesbezügliche Nachteile in Kauf genommen werden müssen, wobei die seitliche Wand der Elektrolysezelle, insbesondere in bekannter Weise, verhältnismäßig dünn ausgestaltet 15 werden kann. Die Seitensteine lassen sich mit geringem Aufwand und mit ausgezeichneter mechanischer Stabilität und insbesondere sehr gutem Zusammenhalt zwischen den verschiedenen Schichten herstellen, indem die Seitensteine einteilig 20 aus einem einzigen zusammenhängenden grünen Grundkörper gebrannt werden, in dem verschiedene, den herzustellenden Schichten entsprechende Grünmischungen enthalten sind, wobei der Grundkörper einem einzelnen Seitenstein entsprechen kann oder mehrere Seitensteine aus dem gebrannten Grundkörper vereinzelt werden können. Bei der Herstellung eines Kompositseitensteins kann 25 beispielsweise aus solch einem gebrannten Grünkörper zuerst über die gesamte Länge des Grünkörpers hinweg die gewünschte polygone Form herausgearbeitet 30

werden, bevor dann einzelne Kompositseitensteine scheibenartig abgeschnitten werden. Auf die bevorzugten polygonen Formen wird später eingegangen werden. Bei einer Endbearbeitung kann einem Kompositseitenstein Rillierungen, Erhebungen, Ausnehmungen und Aufrauhungen zugefügt werden. Hier sei noch einmal

- 5 darauf hingewiesen, dass der Zusammenhalt zwischen den verschiedenen Schichten der erfindungsgemäßen Seitensteine ohne die Verwendung von Klebstoff(en) erreicht wird.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der

- 10 Beschreibung und den Figuren beschrieben.

Wenn in der nachfolgenden Beschreibung Bezug auf eine oder mehrere Schichtendes als Schichtkörper ausgebildeten Seitensteins genommen wird, sind damit Schichten mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit gemeint, die insbesondere

- 15 jeweils eine Wärmeleitfähigkeit aufweisen, die sich von der Wärmeleitfähigkeit zumindest einer anderen Schicht des Seitensteins um 5 W/m•K oder mehr - gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C - unterscheidet.

- 20 Die insbesondere beiden Schichten können dabei in einer vorgegebenen Richtung aufeinander folgen, welche einer für die thermischen Bedingungen in der Elektrolysezelle relevanten Wärmeflussrichtung entsprechen kann und z.B. durch die Dickenrichtung des Seitensteins gegeben sein kann. Durch die dadurch bewirkte Variation der Wärmeleitfähigkeit über die Dicke des Seitensteins kann der Gesamtwärmefluss durch den Seitenstein in dieser Richtung so reguliert werden, dass ein gewünschter Isothermenverlauf in dem Seitenstein gewährleistet wird. Die Schichten können aber auch z.B. in Höhenrichtung des Seitensteins, welcher keinen Kompositseitenstein umfasst, aufeinander folgen, wobei insbesondere die von den verschiedenen Schichten abgedeckten Höhenbereiche des Seitensteins
- 25 bei dessen Einsatz in einer Elektrolysezelle mit verschiedenen Medien der Elektro-

lysezelle – wie beispielsweise flüssiges Aluminium, flüssige oder erstarrte Schmelze, Gasphase – in Kontakt stehen können. Durch die dadurch bewirkte Variation der Wärmeleitfähigkeit über die Höhe des Seitensteins kann die Wärmeabführung an die in dem jeweiligen Medium stattfindende Wärmeerzeugung und die dort jeweils gewünschten thermischen Verhältnisse und zusätzlich an die chemischen Anforderungen der einzelnen Medien angepasst werden.

Die erfindungsgemäß angestrebte Anpassung der thermischen Verhältnisse in einer Elektrolysezelle bei deren Betrieb lässt sich bereits verwirklichen, wenn der

10 Seitenstein genau zwei Schichten mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufweist. Eine derartige Schichtstruktur weist außerdem eine hohe Stabilität auf und lässt sich mit geringem Aufwand und hoher Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit herstellen. Prinzipiell ist die Anzahl der verschiedenen Schichten des Seitensteins aber nicht auf genau zwei beschränkt. Stattdessen kann der Seitenstein
15 auch eine höhere Anzahl von Schichten, beispielsweise zumindest drei, vier, fünf, sechs oder mehr verschiedene Schichten umfassen. Dadurch lässt sich eine noch differenziertere örtliche Abstimmung des Wärmeleitungsverhaltens des Seitensteins an die thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle erreichen. Vorzugsweise umfasst der Seitenstein zwei bis vier Schichten, besonders bevorzugt zwei
20 bis drei Schichten, ganz besonders bevorzugt zwei Schichten. Wird neben der angestrebten Anpassung der thermischen Verhältnisse in einer Elektrolysezelle bei deren Betrieb auch ein teilweiser oder vollständiger Ersatz der Stampfmasse zwischen Kathodenblock und Seitenstein bezweckt, d.h. wird ein Kompositseitenstein eingesetzt, so kann dieser Kompositseitenstein auch eine höhere Anzahl
25 von Schichten, beispielsweise zumindest drei, vier, fünf, sechs oder mehr verschiedene Schichten umfassen. Vorzugsweise umfasst der Kompositseitenstein zwei bis vier Schichten, besonders bevorzugt zwei bis drei Schichten, ganz besonders bevorzugt zwei Schichten.

Die Schichten können in einer vorgegebenen Richtung aufeinander folgen, welche insbesondere einer Dicken- oder Höhenrichtung des Seitensteins entsprechen kann, so dass eine Variation der Wärmeleitfähigkeit des Seitensteins in der Dickenrichtung bzw. der Höhenrichtung des Seitensteins erreicht wird. Der Seitenstein kann auch in verschiedenen Richtungen aufeinander folgende Schichten aufweisen, so dass eine Variation der Wärmeleitfähigkeit des Seitensteins in verschiedenen Richtungen erreicht wird. Beispielsweise können mehrere in einer ersten Richtung aufeinander folgende Schichten des Seitensteins eine erste Schichtabfolge und mehrere andere in der ersten Richtung aufeinander folgende Schichten eine zweite Schichtabfolge bilden, wobei die beiden Schichtabfolgen vorzugsweise in einer von der ersten Richtung verschiedenen und insbesondere zu der ersten Richtung senkrechten zweiten Richtung aufeinander folgen, was einem Schachbrettmuster gleichen würde.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform weist der Schichtkörper eine alternierende Abfolge aus einer Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und einer Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit auf. Diese alternierende Abfolge kann in einer vorgegebenen Richtung, welche insbesondere der Dicken- oder Höhenrichtung entspricht, erfolgen. Es kann aber auch sein, dass eine alternierende Abfolge aus einer Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und einer Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit in einer ersten Richtung erfolgt, und eine alternierende Abfolge in einer von der ersten Richtung verschiedenen, insbesondere zu der ersten Richtung senkrechten zweiten Richtung erfolgt. Dabei wird ein besonders günstiges Wärmeleitungsverhalten erreicht, wenn eine äußere Schicht des Schichtkörpers eine Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und die andere äußere Schicht eine Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit darstellt. Dadurch wird die Wärmeaufnahme, -verteilung und -abgabe über die Außenflächen des Seitensteins, welche durch die äußeren Schichten des Seitensteins gebildet werden, wirksam und direkt angepasst. Es wird bevorzugt, dass dabei die äußere Schicht des Schichtkörpers, welche in Kontakt mit dem flüssigen

Aluminium und/oder der flüssigen Schmelzeschicht steht, eine Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit darstellt, und dass die andere äußere Schicht des Schichtkörpers, welche in Kontakt mit dem Kathodenboden und/oder der Wanne steht, eine Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit darstellt. Die Richtung, in

- 5 welcher sich die Wärmeleitfähigkeiten unterscheiden, ist die Richtung, welche senkrecht zu der durch die Seitensteine gebildeten Seitenwand ist.

Prinzipiell können die Schichten und/oder der Seitenstein jede beliebige, geeignete Form aufweisen. Hierbei ist zu verstehen, dass die Form maßgeblich von der

- 10 angestrebten Verwendung des Seitensteins abhängt, d.h. der Anpassung der thermischen Verhältnisse in einer Elektrolysezelle bei deren Betrieb alleine oder der Kombination dieser Anpassung mit dem teilweisen oder vollständigen Ersatz der Stampfmasse zwischen Kathodenblock und Seitenstein.

- 15 Eine in Bezug auf das Wärmeleitungsverhalten sowie die Herstellbarkeit des Seitensteins besonders vorteilhafte Ausführungsform besteht darin, dass die Schichten des Seitensteins eine Blockform, insbesondere eine Quaderform, aufweisen und über Kontaktflächen, insbesondere ihre Grundflächen oder über ihre Seitenflächen, miteinander verbunden sind. Derartige Schichten lassen sich besonders 20 einfach herstellen und erlauben die gezielte Anpassung und Variation der Wärmeleitfähigkeit entlang der Hauptrichtungen eines vorzugsweise blockförmigen, insbesondere quaderförmigen, Seitensteins.

- Vorzugsweise ist der Seitenstein blockförmig, insbesondere quaderförmig ausgebildet. Die Dickenrichtung einer oder mehrerer Schichten des Seitensteins kann dabei jeweils mit der Dickenrichtung des Seitensteins übereinstimmen, so dass die Ausrichtung der Schichten an die Ausrichtung des Seitensteins und die dementsprechenden hauptsächlichen Wärmeleitungsrichtungen in dem Seitenstein angepasst ist. Über ihre Grundflächen miteinander verbundene Schichten können 25 dementsprechend in Dickenrichtung des Seitensteins aufeinander folgen und über

ihre Seitenflächen miteinander verbundene Schichten können in Höhenrichtung des Seitensteins aufeinander folgen.

Im Sinne der Erfindung wird unter einem Block ein Körper verstanden, der sechs
5 rechteckige Flächen, acht rechteckige Ecken und zwölf Kanten besitzt, von denen jeweils mindestens vier gleiche Längen aufweisen und zueinander parallel sind.
Stellt der Block einen Quader dar so sind jeweils vier Kanten gleich lang und parallel zueinander. Es ist aber auch möglich, dass acht der zwölf Kanten gleich lang sind, wobei hier jeweils vier Kanten zueinander parallel sind oder es sind alle Kan-
10 ten gleich lang, wobei auch hier jeweils vier Kanten zueinander parallel sind.

Wird der Seitenstein als Kompositseitenstein in der Elektrolysezelle verwendet, so besteht eine vorteilhafte Ausführungsform des Seitensteins darin, dass mindestens eine Schicht des Seitensteins eine Blockform, insbesondere eine Quaderform
15 aufweist, und mindestens eine Schicht des Seitensteins eine polygone Form aufweist. Diese Schichten sind über Kontaktflächen, insbesondere ihre Grundflächen, miteinander verbunden; die Grundfläche der Schicht aufweisend eine Blockform hat hierbei entweder teilweise oder vollständigen Kontakt mit der Grundfläche der Schicht aufweisend eine polygone Form. Bei einem vollständigen Kontakt der
20 Grundflächen weisen beide Schichten die gleiche Höhe auf; liegt ein teilweiser Kontakt vor, so hat die Schicht aufweisend eine polygone Form eine Höhe, welche 30 % bis unter 100 %, vorzugsweise 40 % bis 80 %, besonders bevorzugt 50 % bis 75 %, der Höhe der Schicht aufweisend eine Blockform ausmacht. Solche Schichten lassen sich ebenfalls sehr einfach herstellen und erlauben einerseits
25 eine gezielte Anpassung und Variation der Wärmeleitfähigkeit entlang der Hauptrichtungen des Seitensteins, andererseits wird mit solch einem Seitenstein der teilweise oder vollständige Ersatz der Stampfmasse zwischen Seitenstein und Kathodenblock ermöglicht.

Mindestens eine Schicht des Kompositseitensteins weist eine polygone Form auf.

Im Sinne der Erfindung wird unter einem Polygon ein Vieleck verstanden, welches vorzugsweise drei bis sechs Ecken, besonders bevorzugt drei bis fünf Ecken, enthalten kann. Als Polygon mit vier Ecken wird beispielsweise ein Rechteck,

- 5 Quadrat oder Trapez verstanden. Diese Polygone können in regelmäßiger oder in unregelmäßiger Form vorliegen. Unter einem regelmäßigen Polygon wird im Rahmen der Erfindung ein Polygon verstanden, bei welchem alle Seiten gleich lang und alle Innenwinkel gleich groß sind. Durch die verschiedenen polygonen Formen können die Kompositseitensteine an das gewünschte Elektrolysezellen-
10 design angepasst werden; beispielsweise kann durch das entsprechende Design eines Kompositseitensteins, d.h. der Ausgestaltung einer Schicht in polygoner Form, mehr Platz für Anoden geschaffen werden. Größere Anodenoberflächen erlauben eine höhere Stromstärke und damit eine höhere Produktivität. Zudem kann die Form des Kompositseitensteins an die Form der ursprünglich umlaufenden Stampfmassenfuge angepasst werden. Weiterhin können diese Polygone mit normalen und/oder abgerundeten Ecken vorliegen. Unter einer normalen Ecke wird der Punkt verstanden, an dem zwei Seiten des entsprechenden Polygons aufeinandertreffen. Unter einer abgerundeten Ecke wird eine Ecke verstanden, welche eine konkav nach innen verlaufende runde Krümmung aufweist, ohne dass
15 20 25 20 25
in diesem gekrümmten Bereich eine winkelige bzw. kantige Richtungsänderung vorhanden ist. Abgerundete Ecken weisen im Vergleich zu scharfen Ecken den Vorteil auf, dass an den abgerundeten Ecken eine gleichmäßigere Kräfteverteilung auftritt. Diese gleichmäßigere Kräfteverteilung bewirkt eine Verringerung der auftretenden Spannungen, und damit eine verringerte Bildung von Rissen und/oder Defekten an diesen Stellen des Kompositseitensteins. Vorzugsweise enthält das Polygon nur normale Ecken oder eine Ecke des Polygons ist abgerundet, und die anderen Ecken stellen normale Ecken dar.

Die Dickenrichtung einer oder mehrerer Schichten des Kompositseitensteins kann

- 30 dabei jeweils mit der Dickenrichtung des Seitensteins übereinstimmen, so dass die

Ausrichtung der Schichten an die Ausrichtung des Seitensteins und die dementsprechenden hauptsächlichen Wärmeleitungsrichtungen in dem Seitenstein angepasst ist. Die über ihre Grundflächen miteinander verbundenen Schichten können dementsprechend in Dickenrichtung des Kompositseitensteins aufeinander folgen.

5

Der Seitenstein, einschließlich des Kompositseitensteins, kann prinzipiell eine flache Bauform mit einer relativ geringen Dicke und einer insbesondere deutlich größeren Höhe und Breite aufweisen, wobei der Seitenstein eine größere Höhe als Breite aufweisen kann. Die Dicke des Seitensteins kann, wenn die Schichten über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind, beispielsweise zwischen 50 und 700 mm betragen und hängt von der Art der Verwendung ab. Wird der Seitenstein nur zur Anpassung der thermischen Verhältnisse in einer Elektrolysezelle verwendet, so beträgt die Dicke bevorzugt zwischen 60 und 250 mm, besonders bevorzugt zwischen 80 und 150 mm, ganz besonders bevorzugt zwischen 90 und 110 mm. Wird hingegen ein Kompositseitenstein in der Elektrolysezelle eingesetzt, so beträgt die Dicke bevorzugt zwischen 150 und 600 mm, besonders bevorzugt zwischen 200 und 350 mm, ganz besonders bevorzugt zwischen 225 und 300 mm. Das Verhältnis der Dicken der insbesondere zwei Schichten kann beispielsweise höchstens 1:3, bevorzugt höchstens 1:2 und besonders bevorzugt 1:1 be- tragen.

Die Breite des Seitensteins, einschließlich des Kompositseitensteins, kann beliebig an die Länge der Seitenwand der Elektrolysezelle angepasst werden, d.h. sie kann entweder die gesamte Länge dieser Seitenwand einnehmen oder sie beträgt nur einen Teil der Länge der Seitenwand. Die Länge einer Seitenwand kann beispielsweise entweder 3500 mm bis 4000 mm oder 10000 bis 15000 mm betragen. Beträgt die Länge der Seitenwand 10000 bis 15000 mm so kann die Breite des Seitensteins diese Länge betragen oder die Seitenwand wird mit beispielsweise 2 bis 3 Seitensteinen aufweisend eine Länge von 5000 mm bedeckt.

30

- Wenn die Breite des Seitensteins die gesamte Länge der Seitenwand der Elektrolysezelle einnimmt, kann einerseits mit solch einem Seitenstein auf das eventuell verwendete Klebermaterial für die Fugen zwischen den einzelnen Seitensteinen verzichtet werden, andererseits bedingt der einfachere Einbau dieses Seitensteins
- 5 eine Zeitersparnis. Im Falle, dass die Breite des erfindungsgemäßen Seitensteins nur einen Teil der Länge der Seitenwand beträgt, so werden mindestens zwei erfindungsgemäße Seitensteine eingesetzt. Im Rahmen der Erfindung ist es möglich, erfindungsgemäße Seitensteine mit verschiedenen Breiten einzusetzen, d.h. die Breite eines einzelnen Seitensteins kann je nach Bedarf angepasst werden.
- 10 Wenn die Breite des erfindungsgemäßen Seitensteins, einschließlich des Kompositseitensteins, nur einen Teil der Länge der Seitenwand einnimmt, so kann sie zwischen 300 und 600 mm, bevorzugt zwischen 400 und 600 mm, besonders bevorzugt zwischen 450 und 550 mm, betragen.
- 15 Die Höhe des Seitensteins, einschließlich des Kompositseitensteins, kann beispielsweise zwischen 500 und 900 mm, bevorzugt zwischen 600 und 800 mm, besonders bevorzugt zwischen 600 und 750 mm, betragen. Bei einem Kompositseitenstein wird hier als Höhe die Länge der Schicht aufweisend eine Blockform genommen.
- 20 Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform weist der Seitenstein, der keinen Kompositseitenstein umfasst, zwei in Dickenrichtung des Seitensteins aufeinander folgende, insbesondere über ihre Grundfläche teilweise oder vollständig miteinander verbundene Schichten auf, die jeweils 30 % – 70 %, bevorzugt 50 %, der Dicke des Seitensteins abdecken und somit die gesamte Dicke des Seitensteins abdecken. Hierbei ist zu verstehen, dass die Prozentangaben der einzelnen Schichtdicken – auch im Folgenden - immer zusammen 100 % ergeben. Eine Schicht kann sich dabei über die gesamte Höhe des Seitensteins erstrecken.
- 25

Ebenso kann der Seitenstein, der keinen Kompositseitenstein umfasst, zwei in Höhenrichtung des Seitensteins aufeinander folgende, insbesondere über ihre Seitenflächen miteinander verbundene Schichten aufweisen, die jeweils 30 % – 70 %, bevorzugt 50 %, der Höhe des Seitensteins abdecken und somit die gesamte
5 Höhe des Seitensteins abdecken. Eine Schicht kann sich dabei über die gesamte Dicke des Seitensteins erstrecken.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform weisen eine oder mehrere und insbesondere alle Schichten des Seitensteins, welcher keinen Kompositseitenstein darstellt, jeweils eine Dicke von 25 bis 125 mm, bevorzugt 30 bis 100 mm, besonders bevorzugt 40 bis 75 mm und ganz besonders bevorzugt 45 bis 55 mm auf. Dies ist besonders dann bevorzugt, wenn der Seitenstein zwei Schichten aufweist, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind und in Dickenrichtung aufeinander folgen und insbesondere jeweils 30 – 70 %, bevorzugt 50 %, der Dicke des
10 Seitensteins ausmachen. Die Schichten können sich dabei jeweils über die gesamte Höhe des Seitensteins erstrecken.
15

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weisen eine oder mehrere und insbesondere alle Schichten des Seitensteins, welcher keinen Kompositseitenstein umfasst, wenn diese Schichten über ihre Seitenflächen miteinander verbunden sind und in Höhenrichtung aufeinander folgen, eine Höhe von 150 bis 450 mm, bevorzugt von 200 bis 400 mm, besonders bevorzugt von 250 bis 350 mm, und ganz besonders bevorzugt von 280 bis 320 mm auf. Dies ist insbesondere dann bevorzugt, wenn dieser Seitenstein zwei Schichten aufweist, die über ihre
20 Seitenflächen miteinander verbunden sind und in Höhenrichtung aufeinander folgen und sich jeweils insbesondere über 30 % – 70 %, bevorzugt zu 50 %, der Höhe des Seitensteins erstrecken. Die Schichten können sich dabei jeweils über die gesamte Dicke des Seitensteins erstrecken. Das Verhältnis der Höhen der
25 insbesondere zwei Schichten kann beispielsweise höchstens 1:3, bevorzugt höchstens 1:2 und besonders bevorzugt 1:1 betragen.
30

Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform für einen Kompositseitenstein weist dieser Seitenstein zwei in Dickenrichtung des Seitensteins aufeinander folgende, insbesondere über ihre Grundfläche teilweise oder vollständig miteinander ver-

5 bundene Schichten auf, die jeweils 30 % – 70 %, bevorzugt 50 %, der Dicke des Seitensteins abdecken und somit die gesamte Dicke des Seitensteins abdecken. Hierbei ist zu verstehen, dass die Prozentangaben der einzelnen Schichtdicken – auch im Folgenden - immer zusammen 100 % ergeben. Eine Schicht kann sich dabei teilweise oder vollständig über die gesamte Höhe des Seitensteins erstrecken.
10 Es kann sein, dass die Schicht aufweisend eine polygone Form sich entweder vollständig über die gesamte Höhe der Schicht aufweisend eine Quaderform erstreckt oder sie erstreckt sich zu 30 % bis unter 100 %, bevorzugt zu 40 % bis 80 %, besonders bevorzugt zu 50 % bis 75 %, über die Höhe der Schicht aufweisend eine Quaderform.

15

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weisen eine oder mehrere - und insbesondere alle - Schichten des Kompositseitensteins jeweils eine Dicke von 75 bis 250 mm, bevorzugt 100 bis 175 mm, und besonders bevorzugt 110 bis

20 150 mm auf. Dies ist besonders dann bevorzugt, wenn der Kompositseitenstein zwei Schichten aufweist, die über ihre Grundflächen teilweise oder vollständig miteinander verbunden sind und in Dickenrichtung aufeinander folgen und insbesondere jeweils 30 – 70 %, bevorzugt 50 %, der Dicke des Kompositseitensteins ausmachen. Bei einem vollständigen Kontakt der Grundflächen erstrecken sich die Schichten dabei jeweils über die gesamte Höhe des Kompositseitensteins; liegt
25 hingegen ein teilweiser Kontakt der Grundflächen vor, so erstreckt sich die Schicht aufweisend eine polygone Form zu 30 % bis unter 100 %, bevorzugt zu 40 bis 80 %, besonders bevorzugt zu 50 % bis 75 %, über die Höhe der Schicht aufweisend eine Quaderform.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform weisen eine oder mehrere quaderförmige Schichten, und insbesondere alle quaderförmige Schichten des Kompositseitensteins eine Höhe von 500 bis 900 mm, bevorzugt von 650 bis 850 mm, besonders bevorzugt von 700 bis 800 mm auf und eine oder mehrere, und insbesondere alle polygonen Schichten weisen eine Höhe von 150 bis unter 900 mm, bevorzugt von 200 bis 720 mm, ganz besonders bevorzugt von 250 bis 675 mm auf.

Der Seitenstein kann über seine Höhe hinweg mit verschiedenen Bestandteilen oder Medien der Elektrolysezelle in Kontakt stehen, insbesondere mit der Schicht

- 10 aus flüssigen Aluminium, der Schmelzeschicht, ggf. einer auf der Schmelzeschicht angeordneten Kruste aus erstarrter Schmelze sowie mit einer sich bei dem Betrieb der Elektrolysezelle entwickelnden gasförmigen Atmosphäre mit den verschiedenen darin enthaltenen Stoffen. In seinem unteren Bereich kann der Seitenstein mit dem Kathodenboden und/oder einer Stampfmasse in Verbindung stehen, die zur Herstellung einer dichten Verbindung zwischen dem Kathodenboden und dem Seitenstein vorgesehen sein kann. Der Seitenstein kann gemäß der vorstehenden Beschreibung mehrere in seiner Höhenrichtung aufeinander folgende Schichten mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten aufweisen, wobei vorzugsweise diejenigen Höhenbereiche des Seitensteins, in denen der Seitenstein mit verschiedenen
- 15 Medien in Kontakt kommt, durch verschiedene Schichten des Seitensteins gebildet sind. Dadurch wird die Wärmeaufnahme und -ableitung über den Seitenstein an die jeweiligen thermischen Bedingungen und Anforderungen in den unterschiedlichen Medien angepasst. Durch diese Anpassung werden die Seitensteine insgesamt weniger beansprucht, was zu einer höheren Verschleißbeständigkeit
- 20 führt.

Alternativ oder zusätzlich kann der Seitenstein mehrere in Dickenrichtung des Seitensteins aufeinander folgende Schichten mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. Dadurch kann die Wärmeleitung des Seitensteins in einer Wär-

meflussrichtung variiert werden, welche senkrecht zu der das Wanneninnere begrenzenden Seitenfläche des Seitensteins verläuft.

Eine im Hinblick auf die für den Einsatz des Seitensteins in einer Elektrolysezelle
5 bedeutsame thermische, mechanische und chemische Stabilität des Seitensteins bevorzugte Ausführungsform besteht darin, dass zumindest eine Schicht, bevorzugt alle Schichten, aus einem Material ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Kohlenstoff, graphitischem Kohlenstoff, graphitiertem Kohlenstoff oder Siliziumcarbid oder beliebigen Mischungen daraus besteht oder ein solches Material
10 enthält. Diese Materialien sind besonders geeignet, um den bei dem Einsatz des Seitensteins in einer Elektrolysezelle und dem dabei auftretenden Kontakt des Seitensteins mit der Schicht aus flüssigem Aluminium und der Schmelzeschicht auftretenden Bedingungen standzuhalten. Ferner ermöglicht die Wahl geeigneter Materialzusammensetzungen eine Anpassung der Wärmeleitfähigkeit des Seitensteins in einem günstigen Wertebereich. Die Wärmeleitfähigkeit einer oder mehrerer und insbesondere aller Schichten des Seitensteins kann – gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C und 1000 °C, bevorzugt zwischen 950 °C und 980 °C - beispielsweise zwischen 4 und 120 W/m•K, insbesondere zwischen 4 und 100 W/m•K, bevorzugt zwischen 5 und 80 W/m•K, besonders bevorzugt zwischen 8
15 und 50 W/m•K betragen.
20

Eine besonders hohe Verschleißbeständigkeit des Seitensteins und damit eine besonders hohe Standzeit einer mit dem Seitenstein ausgestatteten Elektrolysezelle wird erreicht, wenn der Kohlenstoff Anthrazit, vorzugsweise elektrisch kalziniertes Anthrazit, ist und das Siliziumcarbid siliziumnitrid-gebundenes Siliziumcarbid ist.
25

Eine noch weitere Verbesserung der thermischen und mechanischen Eigenschaften des Seitensteins lässt sich erzielen, wenn die Herstellung des Seitensteins
30 einen Imprägnierschritt mit Pech und anschließender Carbonisierung umfasst.

Hierbei kann der ganze Seitenstein oder zumindest eine Schicht des Seitensteins wie vorab beschrieben einer Imprägnierung unterzogen werden.

Zumindest eine der Schichten kann mit Silizium(pulver), einem oxidischen kerami-

5 schen Material, wie beispielsweise Aluminiumoxid oder Titandioxid, oder einem nicht-oxidischen keramischen Material, welches bevorzugt aus wenigstens einem Metall der 4. bis 6. Gruppe und wenigstens einem Element aus der 13. oder 14. Gruppe des Periodensystems der Elemente zusammengesetzt ist, dotiert sein.

Unter Dotierung wird hier die Zugabe in die grüne Mischung verstanden, wobei der

10 Einzelanteil einer oder mehrerer Dotiermittel in der grünen Mischung 3 – 15 Gew.-%, bevorzugt 5 – 10 Gew.-% beträgt. Bevorzugt werden pulverförmige Partikel mit einem Durchmesser von unter 200 µm, besonders bevorzugt unter 63 µm eingesetzt. Unter diese nicht-oxidische Materialien fallen insbesondere Metallcarbide, Metallboride, Metallnitride und Metallcarbonitride mit einem Metall der 4. bis 6.

15 Gruppe, wie beispielsweise Titan, Zirkonium, Vanadium, Niob, Tantal, Chrom oder Wolfram, wobei vorzugsweise Titan verwendet wird. Es ist auch möglich, beliebige Mischungen aus oxidischen keramischen Materialien, beliebige Mischungen aus nicht-oxidischen keramischen Materialien, beliebige Mischungen aus oxidischen keramischen Materialien und nicht-oxidischen keramischen Materialien, beliebige

20 Mischungen aus oxidischen keramischen Materialien und Silizium(pulver), beliebige Mischungen aus nicht-oxidischen keramischen Materialien und Silizium(pulver) oder beliebige Mischungen aus oxidischen keramischen Materialien, nicht-oxidischen keramischen Materialien und (Silizium)pulver zu verwenden. Als bevorzugte nicht-oxidische Materialien können Titandiborid oder Titancarbid genannt

25 werden. Wird Silizium(pulver) eingesetzt, so setzt sich dieses während des Brennprozesses zu Siliziumcarbid um. Es ist auch möglich, eine Vorstufe (Precursor) für die Herstellung von siliziumnitridgebundenem Siliziumcarbid einzusetzen, wobei eine Mischung aus Siliziumcarbid und Silizumpulver verwendet wird. Hier muss der Brennprozess unter kontrolliertem Stickstoffgehalt des Brenngases bei bis zu

30 1400 °C erfolgen, um eine Umsetzung des Siliziums zu der eigentlichen Binder-

- phase Siliziumnitrid zu gewährleisten. Generell erfolgt hier die Wärmebehandlung durch Brennen wie bei üblichen, keramischen Materialien, d.h. die Brenntemperatur wird an das eingesetzte keramische Material angepasst. Es kann also sein, das bei der Herstellung des Schichtkörpers, die unterschiedlichen Anforderungen
- 5 an die Brennprozesse der einzelnen, eingesetzten Materialien, berücksichtigt werden müssen. Bei dieser Schicht handelt es sich insbesondere um die Schicht, die im Betrieb Kontakt zur umgebenden Stahlwanne hat und so einem erhöhten Risiko eines oxidativen Verschleißes ausgesetzt ist.
- 10 Vorzugsweise ist der Seitenstein monolithisch hergestellt, so dass die Schichten des Seitensteins einteilig und materialschlüssig miteinander verbunden sind. Eine solche Verbindung zeichnet sich gegenüber einer geklebten oder mechanischen Verbindung durch eine erhöhte Stabilität aus. Der Seitenstein kann dabei einen Verbundkörper aus den einzelnen Schichten bilden. Dadurch ergibt sich eine
- 15 thermisch, mechanisch und chemisch besonders hohe Beständigkeit des Seitensteins und damit eine besonders hohe Standzeit einer mit dem Seitenstein ausgestatteten Elektrolysezelle. Insbesondere kann der Seitenstein einteilig aus einem Grünblock erhältlich sein, welcher den verschiedenen Schichten des fertigen Seitensteins entsprechend mehrere verschiedene grüne Mischungen enthalten
- 20 kann, die die Ausgangsmaterialien für die verschiedenen Schichten des Seitensteins bilden. Der Seitenstein kann durch Brennen des Grünblocks erhältlich sein, wobei insbesondere ein Carbonisieren und/oder Graphitieren des Grünmaterials des Grünblocks stattfinden kann.
- 25 Beispielsweise kann die Wärmeleitfähigkeit des Seitensteins bei einer Temperatur zwischen 920 °C und 1000 °C gemäß der DIN 51936 gemessen werden. Hierbei wird bei Messungen, die Temperaturen über 400 °C übersteigen, ein gepulster Laser eingesetzt. Innerhalb einer Schicht kann der Seitenstein eine zumindest im Wesentlichen homogene Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Zwischen einer Schicht,
- 30 die eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit aufweist, und einer Schicht, die eine höhere

Wärmeleitfähigkeit aufweist, kann ein Übergangsbereich ausgebildet sein, in dem die Wärmeleitfähigkeit, z.B. zumindest im Wesentlichen kontinuierlich, von dem höheren auf den niedrigeren Wert abnimmt. Ein solcher Übergangsbereich, welcher gegenüber der Gesamtausdehnung der Schichten relativ klein ausgebildet

5 sein kann, kann als Teil der beiden Schichten angesehen werden.

Weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines wie hierin beschriebenen erfindungsgemäßen Seitensteins, welches die Schritte umfasst:

- 10 a) Bereitstellen einer Mischung für die Schicht mit der niedrigeren Wärmeleitfähigkeit, einer Mischung für die Schicht mit der höheren Wärmeleitfähigkeit, und gegebenenfalls von einer oder mehr Mischungen für wenigstens eine weitere Schicht,
- b) Bilden eines Grünblocks mit Schichtaufbau aus den Mischungen gemäß Schritt a) und
- 15 c) Brennen des Grünblocks gemäß Schritt b) bei einer Temperatur von 800 bis 1400 °C, bevorzugt 1000 bis 1300 °C.

Durch die Herstellung des Seitensteins durch Brennen eines Grünblocks mit verschiedenen, die Ausgangsmaterialien für die Schichten bildenden grünen Mischungen wird ein einheitlicher Seitenstein mit einer hohen Stabilität und einem materialschlüssigen und monolithischen Zusammenhalt zwischen den einzelnen Schichten des Seitensteins erreicht.

25 Das Bilden des Grünblocks gemäß Schritt b) kann umfassen, dass die grünen Mischungen in eine Form eingebracht werden. Dabei können in der Form entsprechend dem Schichtaufbau des fertigen Seitensteins mehrere Schichten der grünen Mischungen ausgebildet werden. Die Herstellung des Schichtaufbaus lässt sich in einfacher Weise so bewerkstelligen, dass die Schichten der grünen Mischungen in

30 einer Öffnungsrichtung der Form aufeinander folgen. In besonders einfacher Wei-

se können die Schichten so in die Form eingebracht werden, dass diese im Wesentlichen horizontal, vorzugsweise horizontal, orientiert sind und vorzugsweise in der vertikalen Richtung aufeinander folgen.

- 5 Das Bilden des Grünblocks gemäß Schritt b) kann ferner eine Vibrationsformgebung und/oder Blockpressen des grünen Materials umfassen. Dies kann mit oder ohne Vakuum durchgeführt werden. Dadurch können innerhalb des Materials vorhandene Hohlräume ganz oder teilweise eliminiert werden, so dass überall gleichmäßig eine gewünschte Rohdichte erreicht wird. Eine besonders hohe Homogenität in Bezug auf die Rohdichte lässt sich außerdem erreichen, wenn das Bilden des Grünblocks eine Druckbeaufschlagung bzw. ein Komprimieren des grünen Materials umfasst, um das Material zu kompaktieren.
- 10

- Als Materialien für die grünen Mischungen eignen sich besonders alle grünen Materialien, die zu einem der vorstehend in Bezug auf den fertigen Seitenstein genannten bevorzugten Materialien gebrannt werden können. Zum Beispiel kann zumindest eine grüne Mischung ein Material enthalten, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einem kohlenstoffhaltigen Material wie z.B. Anthrazit, einem graphitischen oder graphitierbaren Material wie z.B. synthetischem Graphit und Pech besteht, oder eine beliebige Mischung dieser Materialien. Ferner kann ein insbesondere kohlenstoffhaltiges Bindemittel wie beispielsweise Bindepech in der Mischung enthalten sein. Durch die gezielte Zusammensetzung des Materials der einzelnen Schichten des Grünblocks lässt sich die Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Schichten des resultierenden Seitensteins gezielt einstellen.
- 15
- Wenn eine grüne Mischung ein kohlenstoffhaltiges Material umfasst, erfolgt während des Brennens des Grünblocks vorzugsweise ein Carbonisieren des Materials der grünen Mischung. Ferner kann als ein weiterer Schritt d) eine Graphitierung des Materials erfolgen. Dazu kann der carbonisierte oder grüne Formkörper auf Temperaturen von mehr als 2000 °C und vorzugsweise mehr als 2200°C erhitzt
- 20
- werden.
- 25

Zur weiteren Verbesserung der thermischen und mechanischen Eigenschaften des Seitensteins kann nach dem Schritt c) des Brennens und/oder nach einem ggf. vorgesehenen Schritt d) des Graphitierens ein weiterer Schritt e) vorgesehen sein, welcher das Imprägnieren des gebrannten und ggf. graphitierten Grünblocks mit Pech umfasst.

Vorzugsweise wird durch das vorstehend beschriebene Verfahren zunächst ein Grundkörper mit mehreren Schichten hergestellt, aus dem in einem auf die vor-

10 stehend beschriebenen Verfahrensschritte folgenden Schritt mehrere Seitensteine mit den gewünschten Dimensionen herausgetrennt werden, insbesondere durch einen Schneidevorgang. Dies gilt auch für die Herstellung eines Kompositsei-tensteins.

15 Weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Seitenstein, der nach dem hierin be-schriebenen Verfahren erhältlich ist. Der Seitenstein bewirkt bei seinem Einsatz in einer Elektrolysezelle eine Optimierung der thermischen Verhältnisse in der Elektrolysezelle während des Elektrolysebetriebs und weist außerdem eine hohe me-chanische Stabilität und einen sehr starken Zusammenhalt zwischen den ver-schiedenen Schichten des Seitensteins auf. Je nach Breite der Seitensteine kann 20 auf das Klebermaterial zwischen den Seitensteinen verzichtet werden. Wird ein Kompositseitenstein verwendet, so kann zudem teilweise oder ganz auf die Stampfmasse zwischen dem Seitenstein und dem Kathodenblock verzichtet wer-den.

25 Die Verwendung des erfindungsgemäßen Seitensteins nach der vorliegenden Beschreibung zur Auskleidung der seitlichen Wände in einer Elektrolysezelle stellt einen weiteren eigenständigen Gegenstand der vorliegenden Erfindung dar. Im Rahmen der Erfindung ist es auch möglich, dass zur Auskleidung der Seitenwand 30 sowohl mindestens ein Seitenstein, welcher zur Anpassung der thermischen Ver-

hältnisse eingesetzt wird, mit mindestens einem Kompositseitenstein kombiniert wird. Die Anzahl der hier eingesetzten Seitensteine bzw. Kompositseitensteine kann je nach Bedarf angepasst werden.

- 5 Weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, welche eine Kathode, eine Anode und eine Wand umfasst, wobei zumindest ein Abschnitt der Wand durch einen erfindungsgemäßen Seitenstein gemäß der vorliegenden Beschreibung gebildet ist. Dieser Seitenstein kann wie beschrieben auch ein Kompositseitenstein darstellen. Die hierin in
- 10 Bezug auf den Seitenstein, dessen Herstellung und Verwendung und insbesondere dessen Einsatz in einer Elektrolysezelle beschriebenen Vorteile und bevorzugten Ausführungsformen stellen bei entsprechender Anwendung Vorteile und bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Elektrolysezelle dar. Der wenigstens eine Seitenstein bildet vorzugsweise eine seitliche Wand einer Wanne,
- 15 in der die Schicht aus flüssigem Aluminium und die Schmelzeschicht aufgenommen sind. Der Seitenstein kann dabei eine seitliche Wand einer äußeren Stahlwanne der Elektrolysezelle auskleiden, welche die durch den Seitenstein gebildete innere Wanne umgibt.
- 20 Wie oben erwähnt, muss die erzeugte Menge an thermischer Energie in einer Elektrolysezelle einerseits teilweise definiert abgeführt werden, andererseits müssen aber auch zu hohe Wärmeverluste vermieden werden, um eine spezifische Temperaturverteilung in der Elektrolysezelle zu gewährleisten. Neben den bisher beschriebenen erfindungsgemäßen Seitensteinen bzw. Kompositseitensteinen
- 25 und der feuerfesten Auskleidung, welche sich zwischen der Kathode und der Stahlwanne befindet, hat auch die Kathode einen Einfluss auf das Wärmemanagement in der Elektrolysezelle. Wenn zu viel Wärme aus der Elektrolysezelle abgeführt wird, erstarrt das Kryolith in der Schmelze im Übermaße und kann sich bis auf die Kathodenoberfläche erstrecken. Als Folge hiervon wird der kathodische
- 30 Stromfluss gestört, was zu einer inhomogenen Stromverteilung entlang der Katho-

denoberfläche, und damit zu einem erhöhten elektrischen Widerstand und somit zu einer reduzierten Energieeffizienz der Elektrolysezelle führt. Das Wärmemanagement von der Kathode zu den unter ihr liegenden feuerfesten Auskleidung lässt sich gut einstellen, wohingegen das Wärmemanagement von der Kathode zu den

- 5 Seitenwänden hin wesentlicher schwieriger einzustellen ist. Üblicherweise bestehen die Kathodenblöcke, welche die Kathode ausbilden, aus einem einheitlichen Material, d.h. diese homogenen Kathodenblöcke weisen die gleiche Wärmeleitfähigkeit auf, so dass diese Kathodenblöcke schlecht oder gar nicht in der Lage sind, ein optimales Wärmemanagement in der Elektrolysezelle zu unterstützen.
- 10 Dies gilt insbesondere für die Einstellung des Wärmemanagements von der Kathode zu den Seitenwänden hin.

WO 02/064860 beschreibt Kathodenblöcke, welche in Richtung der Kathodenlängsseite betrachtet verschiedene Schichten aufweisen, die unterschiedliche

- 15 elektrische Widerstände aufweisen, d.h. für die Herstellung der Kathodenblöcke werden in Richtung der Kathodenlängsseite schichtweise unterschiedliche Materialien (aufweisend unterschiedliche spezifische elektrische Widerstände) verwendet. Mit diesen Kathodenblöcken soll der Stromfluss durch die Zelle auch ohne aufwendige Führung von Stromleitschienen dem idealen Stromverlauf angenähert
- 20 werden.

Kathodenblöcke, welche in Richtung der Kathodenlängsseite verschiedene Schichten, bedingt durch die Verwendung von unterschiedlichen Materialien, aufweisen, haben ebenfalls unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten innerhalb des

- 25 Kathodenblocks. Solche Kathodenblöcke können auch vorteilhafterweise dazu verwendet werden, die durch die Kathode bedingten Wärmeverluste, insbesondere in Richtung der Kathodenlängsseite, d.h. zu den Seitenwänden hin, zu reduzieren. Dadurch kann auch bei den einzelnen Kathodenblöcken, und damit der Kathode insgesamt, der Verlauf des Wärmeffusses gesteuert werden. Vorteilhafterweise umfasst dabei der jeweilige Kathodenblock in Richtung der Kathodenlängs-
- 30

seite mindestens drei Schichten, bevorzugt drei Schichten bis sieben Schichten, besonders bevorzugt drei Schichten bis fünf Schichten, ganz besonders bevorzugt drei Schichten. Hierbei liegen Schichten mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit und Schichten mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit vor, wobei es zu verstehen ist,

5 dass bei benachbarten Schichten eine Schicht eine höhere Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu der anderen Schicht aufweist. Der Unterschied zwischen der Wärmeleitfähigkeit zwischen einer Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit und einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit beträgt mindestens 10 %, bezogen auf das Material mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit, im Temperaturbereich von 920 bis 1000 °C,

10 gemessen in Richtung der Längsachse des Kathodenblocks. Der Kathodenblock kann mindestens zwei Schichten, welche die gleiche Wärmeleitfähigkeit aufweisen, d.h. welche aus dem gleichen Material bestehen, umfassen. Hierbei kann es sich um die beiden äußeren bzw. randständigen Schichten des Kathodenblocks handeln. Mit solch einem Kathodenblock ist es möglich durch die Auswahl der

15 Anzahl der Schichten, der Reihenfolge der Schichten und der Auswahl der Wärmeleitfähigkeitswerte von jeder einzelnen der Schichten den Wärmefluss in diesem Kathodenblock gezielt zu steuern. Für den Fall, dass ein geringerer Wärmeabfluss aus der Elektrolysezelle gewünscht wird, kann ein Kathodenblock verwendet werden, der beispielsweise drei Schichten aufweist. Die beiden äußeren

20 Schichten, d.h. die beiden Schichten, welche mit der Seitenwand der Elektrolysezelle direkt oder über die Stampfmasse in thermischem Kontakt stehen, stellen Schichten mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit dar, wohingegen die dritte, mittlere Schicht als Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit vorliegt. Wird hingegen ein höherer Wärmeabfluss aus der Elektrolysezelle gewünscht, so sind

25 bei einem Kathodenblock aufweisend drei Schichten, die beiden äußeren Schichten, diejenigen, die eine höhere Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu der dritten, mittleren Schicht, aufweisen.

Die Länge eines Kathodenblocks beträgt normalerweise 2.500 – 3.500 mm.

Die Länge einer oben genannten einzelnen Schicht – in Kathodenlängsrichtung betrachtet – hängt von dem gewünschten Wärmefluss in dem Kathodenblock ab und kann in Abhängigkeit von diesem Wärmefluss gezielt gewählt werden. Weiterhin hängt diese Länge einer einzelnen Schicht von der Anzahl der Schichten in

- 5 dem Kathodenblock ab. Liegen zum Beispiel sieben Schichten vor, so weist eine einzelne Schicht eine Länge von 300 – 600 mm vor. Werden nur drei Schichten verwendet, so sind die äußeren bzw. randständigen Schichten 400 bis 600 mm lang und die innere Schicht weist eine Länge von 1700 – 2300 mm auf. Unabhängig von der Anzahl der Schichten weisen die äußeren bzw. randständigen Schichten des Kathodenblocks eine Länge von 400 bis 600 mm, bevorzugt von 500 mm auf.
- 10

Die einzelnen Schichten der genannten Kathodenblöcke sind auf Basis von Kohlenstoff zusammengesetzt, d.h. aus einem Material, welches Kohlenstoff enthält.

- 15 Im Hinblick auf die Wärmeleitfähigkeit hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der Kathodenblock aus einem Material zusammengesetzt ist, welches mindestens 50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 80 Gew.-%, besonders bevorzugt mindestens 90 Gew.-%, ganz besonders bevorzugt mindestens 95 Gew.-% und höchst bevorzugt mindestens 99 Gew.-% Kohlenstoff enthält. Der genannte Kohlenstoff kann hierbei aus der Gruppe bestehend aus amorphen Kohlenstoffen, graphitischen Kohlenstoffen, graphitierten Kohlenstoffen und beliebigen Mischungen aus zwei oder mehr der vorgenannten Kohlenstoffen ausgewählt sein.
- 20

Für die Herstellung dieser Kathodenblöcke kann das gleiche Verfahren wie für die

- 25 oben beschriebenen erfindungsgemäßen Seitensteine angewendet werden. Deshalb wird für die Herstellung der Kathodenblöcke auf die entsprechenden obigen Ausführungen für das Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Seitensteine verwiesen.

Auch für die Herstellung der Kathodenblöcke gilt, dass durch Brennen eines Grünblocks mit verschiedenen, die Ausgangsmaterialien für die Schichten bildenden grünen Mischungen ein einheitlicher Kathodenblock mit einer hohen Stabilität und einem materialschlüssigen Zusammenhalt zwischen den einzelnen Schichten

5 des resultierenden monolithischen Kathodenblocks erreicht wird.

Als Materialien für die grünen Mischungen eignen sich auch bei der Herstellung von Kathodenblöcken besonders alle grünen Materialien, die zu einem der vorstehend in Bezug auf den fertigen Kathodenblock genannten bevorzugten Materialien gebrannt werden können. Zum Beispiel kann zumindest eine grüne Mischung ein

10 Material enthalten, welches aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einem kohlenstoffhaltigen Material wie z.B. Anthrazit, einem graphitischen oder graphitierbaren Material wie z.B. synthetischem Graphit und Pech besteht, oder eine beliebige Mischung dieser Materialien. Ferner kann ein insbesondere kohlenstoffhaltiges Bindemittel wie beispielsweise Bindepech in der Mischung enthalten sein. Durch 15 die gezielte Zusammensetzung des Materials der einzelnen Schichten des Grünblocks lässt sich die Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Schichten des resultierenden Kathodenblocks gezielt einstellen.

Die Form der Schichten in einem Kathodenblock kann unterschiedlich sein. Neben

20 Schichten, welche die komplette Höhe H des Kathodenblocks einnehmen, kann es auch Schichten geben, welche nur einen Teil dieser Höhe H einnehmen, wie beispielweise in den Figuren 10 und 11 gezeigt. Diese Formgebung der Schichten kann in Abhängigkeit von dem gewünschten Wärmefluss in dem Kathodenblock erfolgen, d.h. mit dieser Formgebung kann neben der Auswahl der Materialien der 25 Schichten, und damit der Wärmeleitfähigkeitswerte, dieser Wärmefluss gezielt gesteuert werden.

Durch die Kombination der erfindungsgemäßen Seitensteine mit den oben ge-

nannten Kathodenblöcken in einer Elektrolysezelle, d.h. dass sowohl die erfin-

30 dungsgemäßen Seitensteine als auch die oben beschriebenen Kathodenblöcke

gemeinsam in einer Elektrolysezelle verwendet werden, lassen sich die thermischen Verhältnisse in einer Elektrolysezelle noch gezielter – als durch die erfindungsgemäßen Seitensteine alleine – steuern. Hierdurch können die Prozessbedingungen in einer Elektrolysezelle optimiert werden, wodurch die erreichbare

- 5 Stabilität und Wirtschaftlichkeit des Elektrolyseprozesses verbessert und die Standzeit der Elektrolysezelle erhöht wird. Hierbei ist zu verstehen, dass jede genannte Ausführungsform für die Seitensteine sich mit jeder genannten Ausführungsform für die Kathodenblöcke kombinierten lässt.
- 10 Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen:
- 15 Fig. 1 eine Elektrolysezelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in einer geschnittenen perspektivischen Darstellung;
- Fig. 2 einen Seitenstein gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in einer perspektivischen Darstellung;
- 20 Fig. 3 einen Seitenstein gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung in einer perspektivischen Darstellung;
- Fig. 4 einen Grundkörper, aus dem mehrere Seitensteine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung heraustrennbar sind, in perspektivischer Darstellung;
- 25 Fig. 5 einen weiteren Grundkörper, aus dem mehrere Seitensteine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung heraustrennbar sind, in perspektivischer Darstellung.

Fig. 6 verschiedene Ausführungsformen eines Kompositseitensteins, im Querschnitt;

Fig. 7 einen Grundkörper, aus dem mehrere Kompositseitensteine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung heraustrennbar sind sowie einen herausgetrennten Kompositseitenstein, in perspektivischer Darstellung;

5 Fig. 8 einen weiteren Grundkörper, aus dem mehrere Kompositseitensteine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung heraustrennbar sind, in perspektivischer Darstellung;

10 Fig. 9 einen weiteren Grundkörper, aus dem mehrere Kompositseitensteine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung heraustrennbar sind, im Querschnitt.

15 Fig. 10 einen Kathodenblock in einer perspektivischen Darstellung und,

Fig. 11 Kathodenblöcke aufweisend unterschiedliche Formen der Schichten.

20 Fig. 1 zeigt eine Elektrolysezelle zur Herstellung von Aluminium gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in einer teilweise geschnittenen perspektivischen Darstellung. Die Elektrolysezelle umfasst eine Kathode, welche aus mehreren, 25 einen Kathodenboden ausbildenden Kathodenblöcken 12 zusammengesetzt ist. Auf der Oberseite der Kathode ist eine Schicht 14 aus flüssigem Aluminium und darauf eine flüssige Schmelzeschicht 16 und oberhalb der flüssigen Schmelzeschicht 16 eine Schicht bzw. Kruste 18 aus erstarrter Schmelze angeordnet.

Oberhalb der Schmelzeschicht 16 ist eine Anode angeordnet, welche aus mehreren in die Schmelzeschicht 16 eintauchenden Anodenblöcken 20 besteht. Während des Betriebs der Elektrolysezelle wird elektrischer Strom über die Anodenblöcke 20 zugeführt und durch die Schmelzeschicht 16 und die Schicht 14 aus

- 5 flüssigem Aluminium hindurch zu den Kathodenblöcken 12 geleitet. Der Strom wird über die Kathodenblöcke 12 und über die an deren Unterseite in entsprechenden Nuten der Kathodenblöcke 12 eingesetzte Stomschienen 22 abgeführt. In der Schmelzeschicht 16 findet dabei die Elektrolyse statt, welche zur Abspaltung von elementarem Aluminium aus der Schmelze führt, welches sich an der
10 Oberseite des Kathodenbodens unter Ausbildung der Schicht 16 aus flüssigem Aluminium ansammelt.

Die Elektrolysezelle weist eine als äußere Einfassung dienende Stahlwanne 24 auf, in deren Bodenbereich mehrere aufeinander gestapelte Platten 26 aus einem
15 feuerfesten Material eingelegt sind, welche die darauf aufgelegten Kathodenblöcke 12 thermisch von dem Boden der Stahlwanne 24 isolieren.

- Die seitlichen Wände der Stahlwanne 24 sind mit mehreren quaderförmigen Seitensteinen 28 ausgekleidet. Die Seitensteine 28 bilden die Seitenwände einer
20 inneren Wanne, in der die Schicht 14 aus flüssigem Aluminium, die flüssige Schmelzeschicht 16 und die erstarrte Schmelzeschicht 18 aufgenommen sind und deren Boden durch den durch die Kathodenblöcke 12 gebildeten Kathodenboden gebildet ist. Die zwischen einem Kathodenblock 12 und einem Seitenstein 28 ausgebildeten Fugen sind durch eine Stampfmasse 30 abgedichtet. Eine solche
25 Stampfmasse kann ebenfalls zur Abdichtung der Fugen zwischen den Kathodenblöcken 12 und zur Abdichtung der Fugen zwischen den Seitensteinen 28 vorgesehen sein.

- Wie in Fig. 1 gezeigt, sind die Seitensteine 28 im Wesentlichen quaderförmig
30 ausgebildet und stehen aufrecht in der Stahlwanne 24, so dass die Höhenrichtung

der Seitensteine 28 parallel zur Vertikalen ist. Die das Wanneninnere begrenzenden Oberflächen der Seitensteine 28 sind dabei durch deren zu der Höhenrichtung und der Breitenrichtung der Seitensteine 28 parallelen Grundflächen 32 gebildet und die Seitensteine 28 sind über ihre zu der Höhenrichtung und der Breitenrichtung parallelen Seitenflächen 34 miteinander verbunden. Die Seitensteine 28 stehen dabei, wie in Fig. 1 gezeigt, in unterschiedlichen Bereichen ihrer Höhe mit unterschiedlichen Bestandteilen bzw. Medien der Elektrolysezelle in Kontakt, nämlich mit der Stampfmasse 30, ggf. der Schicht 14 aus flüssigem Aluminium, der flüssigen Schmelzeschicht 16 und der erstarrten Schmelzeschicht 18.

10

Während des Elektrolysebetriebs werden in der Elektrolysezelle erhebliche Mengen an thermischer Energie erzeugt. Üblicherweise ungefähr ein Drittel dieser thermischen Energie wird über die Seitensteine 28 aufgenommen und nach außen abgeführt. Die Hauptwärmeflussrichtung entspricht dabei der Dickenrichtung der Seitensteine 28. Ungefähr 15 % der thermischen Energie werden über den Kathodenboden bzw. die Barren aufgenommen.

20

Die Seitensteine 28 der in Fig. 1 gezeigten Elektrolysezelle weisen jeweils wenigstens eine Schicht mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und eine Schicht mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit auf, wobei der Unterschied zwischen niedrigerer und höherer Wärmeleitfähigkeit wenigstens 5 W/m·K ist. Dadurch wird die Wärmeaufnahme und -ableitung über die durch die Seitensteine 28 gebildete Seitenwand derart angepasst, dass sich in der Elektrolysezelle bei deren Betrieb überall optimale thermische Bedingungen einstellen, wodurch die Stabilität, Zuverlässigkeit und Effizienz des Elektrolysebetrieb verbessert und die Standzeit der Elektrolysezelle erhöht wird.

25

Fig. 2 und 3 zeigen jeweils einen Seitenstein 28 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, der beispielsweise in der in Fig. 1 gezeigten Elektrolysezelle einge-

setzt werden kann. Die Seitensteine 28 weisen jeweils eine relativ geringe Dicke d sowie eine Breite b und eine Höhe h auf, welche größer ist als die Breite b.

Der in Fig. 2 gezeigte Seitenstein 28 weist zwei quaderförmige Schichten 36, 38

5 auf, wobei die Schicht 36 eine geringere und die Schicht 38 eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweist. Die Schichten 36, 38 sind über ihre zu der Höhenrichtung und der Breitenrichtung parallelen Grundflächen 40, 42, die jeweils eine Kontaktfläche bilden, miteinander verbunden, folgen in Dickenrichtung des Seitensteins 28 aufeinander und erstrecken sich jeweils über etwa die Hälfte der Dicke d des
10 Seitensteins 28. Dadurch lassen sich die Wärmeffüsse in der Dickenrichtung und die Isothermenlagen innerhalb der Seitensteine 28 so anpassen, dass die thermischen Betriebsbedingungen in der Elektrolysezelle während des Betriebs optimiert werden.

15 Der in Fig. 3 gezeigte Seitenstein 28 weist ebenfalls zwei quaderförmige Schichten 36, 38 auf, wobei die Schicht 36 eine geringere und die Schicht 38 eine höhere

Wärmeleitfähigkeit aufweist. Die Schichten 36, 38 sind über ihre zu der Breitenrichtung und der Dickenrichtung parallelen Seitenflächen 44, 46, die jeweils eine Kontaktfläche bilden, miteinander verbunden, folgen in Höhenrichtung des Seitensteins 28 aufeinander und erstrecken sich jeweils über etwa die Hälfte der Höhe h des Seitensteins 28. Bezogen auf die Einbausituation in der Elektrolysezelle ist dabei vorzugsweise die obere Hälfte der Höhe durch die Schicht 36 mit der niedrigeren Wärmeleitfähigkeit gebildet. Dadurch lässt sich die Wärmeleitung über den Seitenstein 28 an die verschiedenen, in dem jeweiligen Höhenbereich mit dem

20 Seitenstein 28 in Kontakt stehenden Bestandteile bzw. Medien der Elektrolysezelle und der dort vorliegenden thermischen Bedingungen anpassen, wodurch die während der Elektrolyse in der Elektrolysezelle vorherrschenden thermischen Verhältnisse optimiert werden. In dem oben beschriebenen Fall ist es so, dass die Wärme über den guten thermischen Kontakt zwischen der unteren Hälfte der

Höhe umfassend die Schicht 38 mit der höheren Wärmeleitfähigkeit und der Kathode, welcher über die Stampfmasse 30 erfolgt, abgeführt wird.

Bei einer anderen thermischen Auslegung der Elektrolysezelle kann eine umge-

- 5 kehrte Anordnung der Schichten in Bezug auf ihre thermische Leitfähigkeit sinnvoll sein.

Fig. 4 zeigt einen Grundkörper 48, welcher als Zwischenerzeugnis eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Seitensteins hergestellt worden

- 10 ist. Der Grundkörper 48 ist quaderförmig ausgebildet und besteht aus einer quaderförmigen Schicht 36 mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und einer quaderförmigen Schicht 38 mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind. Durch einen Schneidevorgang können von dem Grundkörper 48 mehrere Seitensteine bildende Scheiben abgeschnitten werden,
- 15 die zwei Schichten 36, 38 mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

Dazu wird der Grundkörper 48, wie in Fig. 4 durch gestrichelte Linien angedeutet, entlang mehrerer Schnittebenen durchgeschnitten, die senkrecht zu der zwischen den beiden Schichten 36, 38 verlaufenden Grenzfläche verlaufen.

- 20 Fig. 5 zeigt einen weiteren Grundkörper 48, welcher im Wesentlichen dem in Fig. 4 gezeigten Grundkörper entspricht. Allerdings umfasst der Grundkörper 48 zwei Schichten 36 mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und eine dazwischen angeordnete Schicht 38 mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind. Wie in Fig. 5 gezeigt, wird der Grundkörper 48
- 25 zur Herstellung der Seitensteine nicht nur in mehreren Ebenen senkrecht zu den Grenzflächen zwischen den Schichten 36, 38 zerschnitten, sondern zusätzlich in einer parallel zu diesen Grenzflächen verlaufenden Mittelebene der Schicht 38, so dass die resultierenden Seitensteine jeweils zwei Schichten 36, 38 mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Dieser Herstellungsprozess weist eine
- 30 höhere Wirtschaftlichkeit auf.

Fig. 6 zeigt Querschnitte verschiedener Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Kompositseitensteins 29, welche beispielsweise in der in Fig. 1 gezeigten Elektrolysezelle eingesetzt werden können.

5

Alle in Fig. 6 aufgeführten Kompositseitensteine haben eine quaderförmige Schicht 36 und eine polygonförmige Schicht 38, wobei die Schicht 36 eine geringere Wärmeleitfähigkeit und die Schicht 38 eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweist. Die Schichten 36, 38 sind über ihre zu der Höhenrichtung und der Breitenrichtung parallelen Grundflächen 40, 42, die jeweils eine Kontaktfläche bilden, miteinander verbunden, folgen in Dickenrichtung des Kompositseitensteins 29 aufeinander und erstrecken sich jeweils über 30 % – 70 %, bevorzugt 50 %, der Dicke d des Kompositseitensteins 29. Die Grundflächen 40, 42 können hierbei einen teilweisen oder vollständigen Kontakt miteinander aufweisen. Durch diese unterschiedlichen Ausgestaltungen der Kompositseitensteine lassen sich einerseits die Wärmeflüsse in der Dickenrichtung und die Isothermenlagen innerhalb des Kompositseitensteins 29 so anpassen, dass die thermischen Betriebsbedingungen in der Elektrolysezelle während des Betriebs optimiert werden, andererseits ist es auch möglich, mit solch einem Kompositseitenstein 29 teilweise oder vollständig auf die Stampfmasse zwischen diesem Kompositseitenstein 29 und dem Kathodenblock zu verzichten.

In Fig. 6a) weist die Schicht 38 eine Trapezform, in Fig. 6b) weist die Schicht 38 eine Dreiecksform und in Fig. 6c) weist die Schicht 38 eine Form eines unregelmäßigen Fünfecks mit einer abgerundeten Ecke auf. Bei diesen Ausführungsformen weisen die Grundflächen 40, 42 einen vollständigen Kontakt auf. Die Grundflächen 40, 42 weisen hingegen in den Fig. 6d) und 6e) nur einen teilweisen Kontakt auf, wobei in Fig. 6d) die Schicht 38 ein Rechteck aufweisend eine abgerundete Ecke darstellt und in Fig. 6e) die Schicht 38 die Form eines unregelmäßigen Fünfecks mit einer abgerundeten Ecke aufweist.

Bei einer anderen thermischen Auslegung der Elektrolysezelle kann eine umgekehrte Anordnung der Schichten in Bezug auf ihre thermische Leitfähigkeit sinnvoll sein.

5

Fig. 7 zeigt einen Grundkörper 48, welcher als Zwischenerzeugnis eines erfundungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kompositseitensteins 29 hergestellt worden ist. Dieser Grundkörper 48 ist quaderförmig ausgebildet und besteht aus einer quaderförmigen Schicht 36 mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und einer quaderförmigen Schicht 38 mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind. Diese Schichten stellen horizontale Schichten dar. Die Schicht 36 wird maschinell so bearbeitet, dass diese Schicht die gewünschte polygone Form über die gesamte Länge des Grundkörpers 48 annimmt. In einem nächsten Schritt werden dann von diesem Grundkörper 48 Scheiben mit der gewünschten Breite abgeschnitten. Es ist so möglich, die bei der Herstellung des Grundkörpers auftretende Kornausrichtung und damit in horizontaler oder vertikaler Richtung auftretende unterschiedliche Eigenschaften, wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit, auszunutzen und im Seitenstein einzustellen indem bei der Bearbeitung des Grundkörper die Grundflächen entsprechend gewählt werden.

Fig. 8 zeigt einen Grundkörper 48, welcher als Zwischenerzeugnis eines erfundungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kompositseitensteins 29 hergestellt worden ist. Dieser Grundkörper 48 ist quaderförmig ausgebildet und besteht aus zwei quaderförmigen Schichten 36 mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und einer quaderförmigen Schicht 38 mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind. Diese Schichten stellen vertikale Schichten dar, wobei die Schichten 36 die beiden äußeren Schichten darstellen. Hier können von dem Grundkörper 48 mehrere Scheiben abgeschnitten werden, die zwei äußere Schichten 36 und eine innere Schicht 38 mit unterschiedli-

chen Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. In einem nächsten Schritt wird die Schicht 38 durchgeschnitten, so dass zwei Blöcke erhalten werden, aus welchem in einem weiteren Schritt die Schicht 38 so geschnitten wird, dass die gewünschte polygone Form erhalten wird. Alternativ kann zunächst in Längsrichtung in zwei Hälften 5 geteilt werden, das Polygon herausgearbeitet und dann ggf. Scheiben gewünschter Länge geschnitten werden.

Es ist hier möglich, durch die Ausrichtung der Schichten bei der Herstellung des entsprechenden Grundkörpers – entweder in horizontaler oder in vertikaler Form –

10 Einfluss auf verschiedene Eigenschaften, wie beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit, zu nehmen. Grund hierfür ist die unterschiedliche Kornausrichtung während des Formgebungsprozesses und die daraus resultierende Richtungsabhängigkeit der physikalischen Eigenschaften.

15 Fig. 9 zeigt ebenfalls einen Grundkörper 48, welcher als Zwischenerzeugnis eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kompositseitensteins 29 hergestellt worden ist. Dieser Grundkörper 48 ist quaderförmig ausgebildet und besteht wie der Grundkörper 48 in Fig. 8 aus zwei quaderförmigen Schichten 36 mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und einer quaderförmigen Schicht 38 mit 20 einer höheren Wärmeleitfähigkeit, die über ihre Grundflächen miteinander verbunden sind. Diese Schichten stellen vertikale Schichten dar, wobei die Schichten 36 die beiden äußeren Schichten darstellen. Auch hier können von dem Grundkörper 48 mehrere Scheiben abgeschnitten werden, die zwei äußere Schichten 36 und eine innere Schicht 38 mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten aufweisen. In 25 einem nächsten Schritt können dann durch geeignetes Schneiden aus solch einem einzelnen geschnittenen Stück zwei Kompositseitensteine 29 aufweisend die gleiche Form herausgeschnitten werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Reihenfolge der Bearbeitung, welche bedingt, dass kaum ein Materialverlust auftritt.

Fig. 10 zeigt einen Kathodenblock 12 aufweisend drei Schichten, wobei die beiden äußereren Schichten aus dem gleichen Material A bestehen und die mittlere Schicht aus dem Material B besteht. Die einzelnen Schichten gehen hier über die komplette Höhe des Kathodenblocks.

5

Fig. 11 a) und b) zeigen verschiedene Formen der Schichten in einem Kathodenblock 12, wobei in diesen Kathodenblöcken jeweils zwei Materialien, d.h. Material A und Material B, verwendet wird. Hierbei nehmen die beiden Schichten aus dem Material A nur jeweils einen Teil der Höhe H und der Länge L des Kathodenblocks

10 ein.

Ausführungsbeispiele:**Ausführungsbeispiel 1:**

5 Ein Seitenstein wird aus einer Mischung A, enthaltend 58 Gewichtsprozent (Gew.-%) elektrisch kalzinierten Anthrazit, 9 Gew.-% synthetischen Graphit, 17 Gew.-% Bindepech, 8 Gew.-% Silizium sowie 8 Gew.-% Aluminiumoxid, und einer Mischung B, enthaltend 77 Gew.-% synthetischen Graphit und 23 Gew.-% Bindepech hergestellt. Dazu wird eine Rüttelform zur Herstellung eines Grünblocks so
10 mit den beiden Mischungen gefüllt, dass in dem Grünblock zwei in Höhenrichtung der herzustellenden Seitensteine aufeinander folgende Schichten aus Mischung A und Mischung B aufeinander folgen. Die Höhe der Schichten in der Rüttelform wird dabei unter Berücksichtigung einer Zielrohdichte, die sich durch ein auf das Befüllen folgendes Verdichten des Grünblocks ergibt, so gewählt, dass sich nach
15 dem Verdichten beide Schichten jeweils über die Hälfte der Höhe des Grünblocks erstrecken. Darauf erfolgt ein Brennen des Grünblocks in einem Ringofen bei 1200 °C zur Herstellen eines Grundkörpers.

Danach werden Scheiben mit einer Dicke von 10 cm von dem gebrannten und
20 vorverarbeiteten Grundkörper abgeschnitten, welche in einem nachfolgenden Schritt weiter bearbeitet und beispielsweise mit einem Pech imprägniert werden können. Ein beispielhafter fertiger Seitenstein weist eine Breite von 475 mm, eine Höhe von 640 mm und eine Dicke von 100 mm auf, wobei bezogen auf die Einbausituation des Seitensteins in der Elektrolysezelle, in der dieser entlang seiner
25 Höhenrichtung vertikal angeordnet ist, die oberen 320 mm der Seitensteinhöhe aus dem aus der Mischung A resultierenden Material A und die unteren 320 mm aus dem aus der Mischung B resultierenden Material B gebildet sind.

Das Material A weist dabei eine bei Raumtemperatur in einer Richtung des Seitensteins gemessene Wärmeleitfähigkeit von etwa 8 W/m•K auf, während das

Material B in derselben Richtung des Seitensteins, in Kornausrichtung der Materialien A und B, eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 45 W/m•K aufweist.

Die Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur kann gemäß der ISO 12987 gemessen werden, und zwar in einer bestimmten Richtung, im Falle einer Druckbeaufschla-

5 gung des Ausgangsmaterials während der Herstellung des Seitensteins z.B. senkrecht oder parallel zu der Richtung der Druckbeaufschlagung, d.h. gegen die oder in der Kornausrichtung.

Die bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C gemessene Wärmeleitfä-

10 higkeit beträgt bei Material A etwa 9 W/m•K und bei Material B etwa 37 W/m•K.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit kann hier in Kornausrichtung gemäß der DIN 51936 unter Verwendung eines gepulsten Lasers erfolgen.

Ausführungsbeispiel 2:

15

Ein Kompositseitenstein wird aus einer Mischung A, enthaltend 58 Gew.-% elektrisch kalzinierten Anthrazit, 9 Gew.-% synthetischen Graphit, 17 Gew.-% Bindepech, 8 Gew.-% Silizium sowie 8 Gew.-% Aluminiumoxid, und einer Mischung B, enthaltend 65 Gew.-% synthetischen Graphit, 5 Gew.-% Aluminiumoxid, 10 Gew.-

20 % Siliziumpulver und 20 Gew.-% Bindepech hergestellt. Dazu wird eine Rüttelform zur Herstellung eines Grünblocks so mit den beiden Mischungen gefüllt, dass in dem Grünblock zwei in Höhenrichtung der herzustellenden Combo-Steine aufeinander folgende Schichten aus Mischung A und Mischung B aufeinander folgen.

Die Höhe der Schichten in der Rüttelform wird dabei unter Berücksichtigung einer

25 Zielrohdichte, die sich durch ein auf das Befüllen folgendes Verdichten des Grünblocks ergibt, so gewählt, dass sich nach dem Verdichten beide Schichten jeweils über die Hälfte der Höhe des Grünblocks erstrecken. Darauf erfolgt ein Brennen des Grünblocks in einem Ringofen bei 1300 °C zur Herstellen eines Grundkörpers.

Danach wird die Schicht enthaltend Material A so bearbeitet, dass diese über die gesamte Länge des Grünblocks hinweg die gewünschte polygone Form annimmt.

In einem nächsten Schritt werden dann von diesem Grundkörper Scheiben mit einer Dicke von 50 cm abgeschnitten. Ein beispielhafter fertiger Kompositsei-

tenstein weist eine Breite von 500 mm, eine Höhe von 700 mm und eine Dicke von 250 mm auf.

Das Material A weist dabei eine bei Raumtemperatur in einer Richtung des Seitensteins gemessene Wärmeleitfähigkeit von etwa 8 W/m•K auf, während das

Material B in derselben Richtung des Seitensteins, in Kornausrichtung der Materialien A und B, eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 45 W/m•K aufweist. Die Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur kann gemäß der ISO 12987 gemessen werden, und zwar in einer bestimmten Richtung, im Falle einer Druckbeaufschlagung des Ausgangsmaterials während der Herstellung des Seitensteins z.B. senkrecht oder parallel zu der Richtung der Druckbeaufschlagung, d.h. gegen die oder in der Kornausrichtung.

Die bei einer Temperatur zwischen 920 °C bis 1000 °C gemessene Wärmeleitfähigkeit beträgt bei Material A etwa 9 W/m•K und bei Material B etwa 37 W/m•K.

20

Ausführungsbeispiel 3:

Ein wie in der Fig. 10 dargestellter Kathodenblock wird hergestellt, indem in eine Rüttelform, deren Höhe als Fertighöhe des grünen Formkörpers angesehen wird, zuerst mit einer Mischung A, dann mit einer Mischung B und dann wiederum mit

25 einer Mischung A gefüllt wird.

Dabei ist die Mischung A wie folgt zusammengesetzt:

- 57 Gew.-% Anthrazit
- 24 Gew.-% Graphit und
- 19 Gew.-% Bindepech.

30

Ferner ist die Mischung B wie folgt zusammengesetzt:

- 80 Gew.-% Graphit und
- 20 Gew.-% Bindepech.

- 5 Die Höhe der Schichten in der Rüttelform wird dabei unter Berücksichtigung einer Zielrohdichte, die sich durch ein auf das Befüllen folgendes Verdichten des Grünblocks ergibt, so gewählt, dass sich nach dem Verdichten beide Schichten jeweils über die Hälfte der Höhe des Grünblocks erstrecken. Darauf erfolgt ein Brennen des Grünblocks in einem Ringofen bei 1200 °C zur Herstellen eines Grundkörpers.
- 10 Das Material A weist dabei eine bei Raumtemperatur in einer Richtung des Kathodenblocks gemessene Wärmeleitfähigkeit von etwa 15 W/m•K auf, während das Material B in derselben Richtung des Kathodenblocks, in Kornausrichtung der Materialien A und B, eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 40 W/m•K aufweist. Die Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur kann gemäß der ISO 12987 gemessen werden, und zwar in einer bestimmten Richtung, im Falle einer Druckbeaufschlagung des Ausgangsmaterials während der Herstellung des Kathodenblocks, z.B. senkrecht oder parallel zu der Richtung der Druckbeaufschlagung, d.h. gegen die oder in der Kornausrichtung.
- 15
- 20 Ein so hergestellter Kathodenblock kann eine Breite von 420 mm, eine Höhe von 400 mm und eine Länge von 3100 mm aufweisen, und kann für die Herstellung eines Kathodenbodens aufweisend zum Beispiel 24 Kathodenblöcke verwendet werden. Solche Kathodenblöcke können gemeinsam mit den erfindungsgemäßen Seitensteinen in einer Elektrolysezelle verwendet werden.

Bezugszeichenliste

- | | |
|--------|--|
| 12 | Kathodenblock |
| 14 | Schicht aus flüssigem Aluminium |
| 5 16 | Schicht aus flüssiger Schmelze |
| 18 | Schicht aus erstarrter Schmelze |
| 20 | Anodenblock |
| 22 | Stromschiene |
| 24 | Stahlwanne |
| 10 26 | feuerfeste Platte |
| 28 | Seitenstein |
| 29 | Kompositseitenstein |
| 30 | Stampfmasse |
| 32 | Grundfläche |
| 15 34 | Seitenfläche |
| 36 | Schicht mit niedrigerer Wärmeleitfähigkeit |
| 38 | Schicht mit höherer Wärmeleitfähigkeit |
| 40, 42 | Grundfläche |
| 44, 46 | Seitenfläche |
| 20 48 | Grundkörper |
| b | Breite |
| h | Höhe |
| d | Dicke |
| 25 H | Höhe des Kathodenblocks |
| L | Länge des Kathodenblocks |

Patentansprüche:

1. Seitenstein für eine Wand in einer Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, wobei
5 der Seitenstein (28) ein Schichtkörper ist,
umfassend eine Schicht (36) mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und
eine Schicht (38) mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit, wobei der Unterschied zwischen niedrigerer und höherer Wärmeleitfähigkeit wenigstens 5
10 W/m•K – gemessen bei einer Temperatur zwischen 920 °C und 1000 °C –
beträgt,
dadurch gekennzeichnet, dass
zumindest eine der Schichten (36, 38) mit Silizium(pulver), einem oxidi-
schen keramischen Material oder einem nicht-oxidischen Material dotiert ist.
15
2. Seitenstein nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Schichtkörper eine alternierende Abfolge aus einer Schicht (36) mit ei-
ner niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und einer Schicht (38) mit einer höheren
20 Wärmeleitfähigkeit aufweist.
3. Seitenstein nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine äußere Schicht des Schichtkörpers eine Schicht (36) mit einer niedri-
25 geren Wärmeleitfähigkeit und die andere äußere Schicht eine Schicht (38)
mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit darstellt.
4. Seitenstein nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Schichten (36, 38) eine Blockform, insbesondere eine Quaderform aufweisen und über Kontaktflächen, insbesondere ihre Grundflächen (40, 42) oder über ihre Seitenflächen (44, 46), miteinander verbunden sind.

- 5 5. Seitenstein nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
 eine der Schichten (36, 38) eine Blockform, insbesondere eine Quaderform
 aufweist und die andere Schicht (36, 38) eine polygone Form aufweist, wo-
 bei die beiden Schichten über Kontaktflächen, insbesondere ihre Grundflä-
10 che (40, 42), miteinander verbunden sind.
- 15 6. Seitenstein nach Anspruch 5,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
 die Schicht (36, 38) aufweisend eine polygone Form ein Polygon mit drei
 bis sechs Ecken darstellt.
- 20 7. Seitenstein nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass,
 wenn die Schichten (36, 38) über ihre Grundflächen (40, 42) miteinander
 verbunden sind, die Dicke des Schichtkörpers 50 bis 700 mm beträgt.
- 25 8. Seitenstein nach Anspruch 4,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
 wenn die Schichten (36, 38) über ihre Seitenflächen (44, 46) miteinander
 verbunden sind, die Höhe der Schichten 150 bis 450 mm beträgt.
- 30 9. Seitenstein nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
 zumindest eine Schicht (36, 38) aus einem Material ausgewählt aus der
 Gruppe bestehend aus Kohlenstoff, graphitischem Kohlenstoff, graphitier-

tem Kohlenstoff oder Siliziumcarbid oder beliebigen Mischungen daraus besteht oder ein solches Material enthält.

10. Seitenstein nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
5 dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
der Unterschied zwischen niedrigerer Wärmeleitfähigkeit und höherer Wärmeleitfähigkeit 5 bis 80 W/m•K, bevorzugt 5 bis 70 W/m•K, besonders bevorzugt 8 bis 60 W/m•K und ganz besonders bevorzugt zwischen 10 W/m•K und 50 W/m•K beträgt.

10

11. Verfahren zur Herstellung eines Seitensteins (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 umfassend folgende Schritte:
15 a) Bereitstellen einer Mischung für die Schicht (36) mit der niedrigeren Wärmeleitfähigkeit, einer Mischung für die Schicht (38) mit der höheren Wärmeleitfähigkeit, und gegebenenfalls von einer oder mehr Mischungen für wenigstens eine weitere Schicht,
b) Bilden eines Grünblocks mit Schichtaufbau aus den Mischungen gemäß Schritt a)
c) Brennen des Grünblocks gemäß Schritt b) bei einer Temperatur von
20 1100 bis 1400 °C, bevorzugt 1200 °C.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
das Bilden gemäß Schritt b) eine Vibrationsformgebung umfasst.

25

13. Verwendung eines Seitensteins (28) nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Auskleidung der seitlichen Wände in einer Elektrolysezelle.
14. Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, welche eine Kathode (12) und eine Anode (20) umfasst sowie eine seitliche Wand, wo-
30

bei zumindest ein Abschnitt der Wand durch einen Seitenstein (28) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 11 gebildet ist.

15. Elektrolysezelle nach Anspruch 14, wobei die Kathode aus Kathodenblöcken gebildet ist, welche einen Schichtkörper darstellen, umfassend Schichten mit einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit und Schichten mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit.

5

Fig. 1

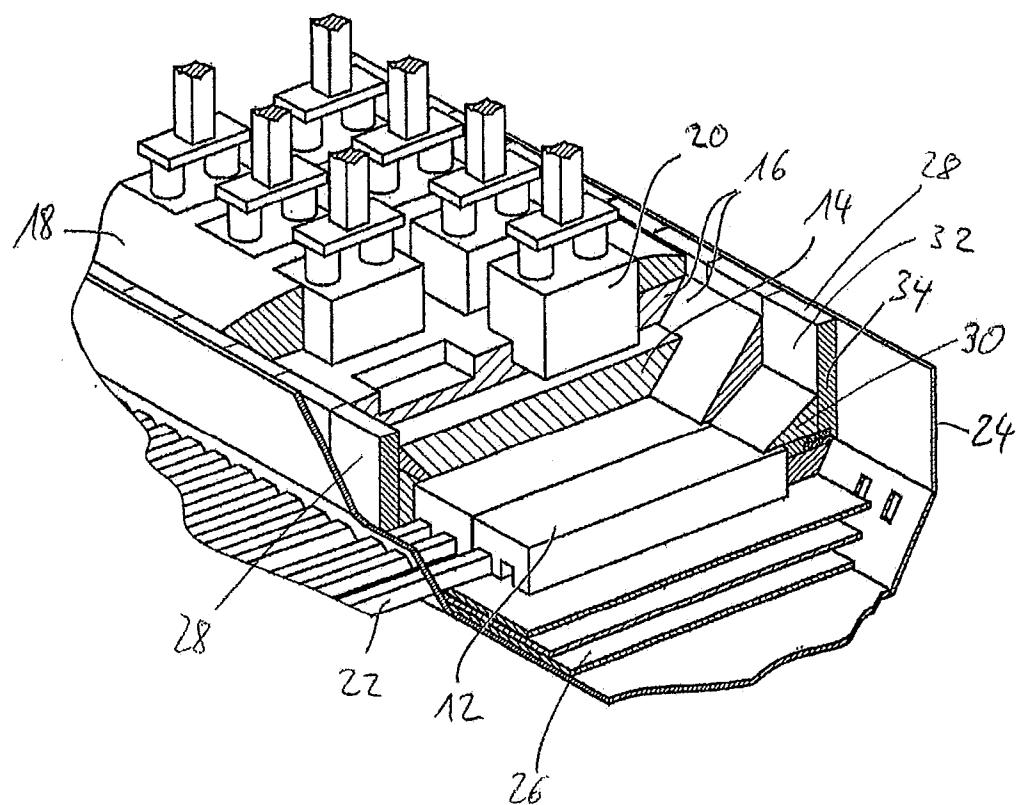


Fig. 2

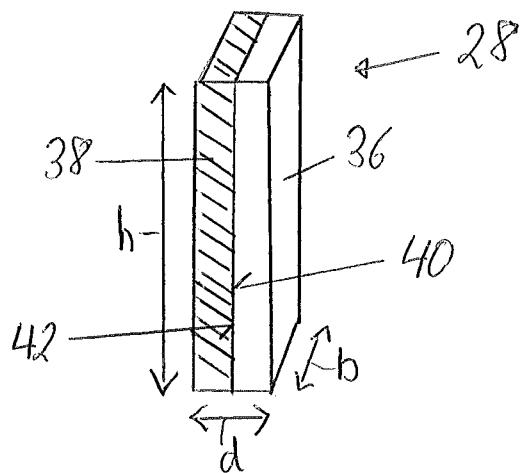


Fig. 3

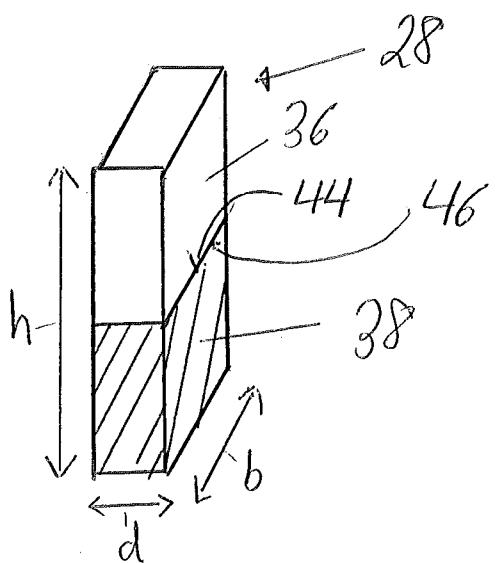


Fig. 4

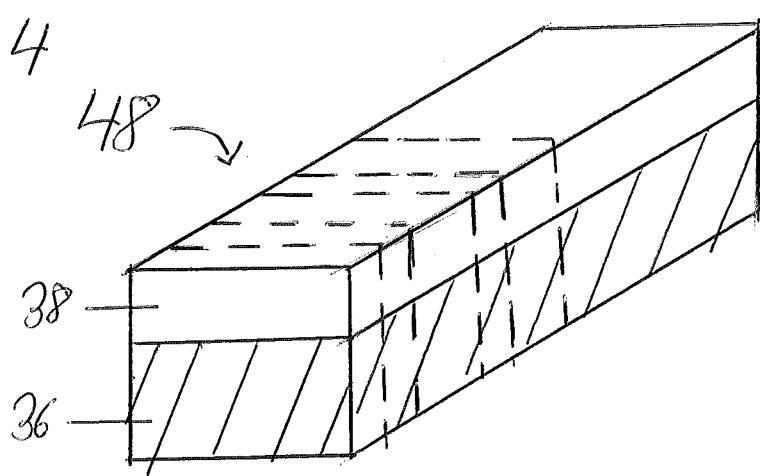


Fig. 5

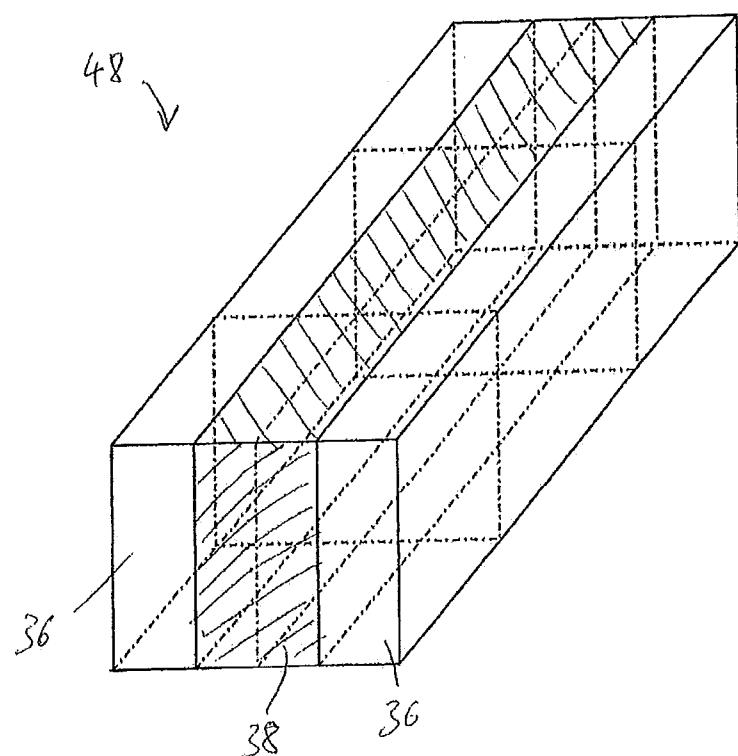
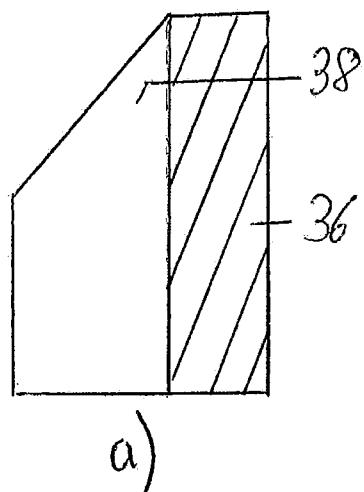
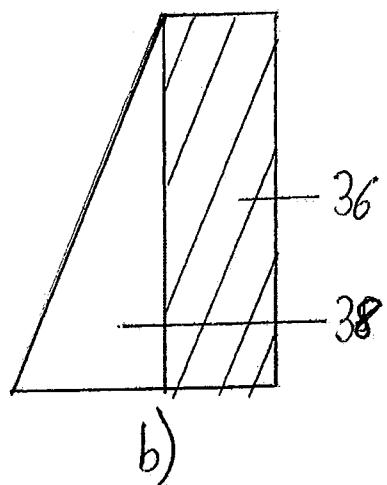


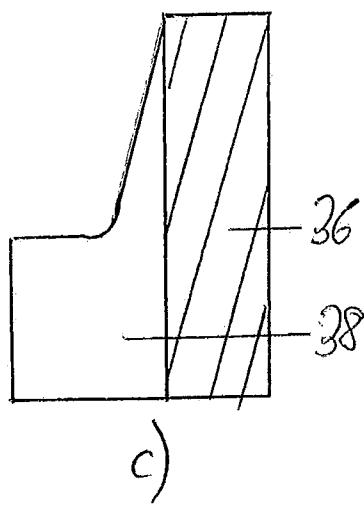
Fig. 6



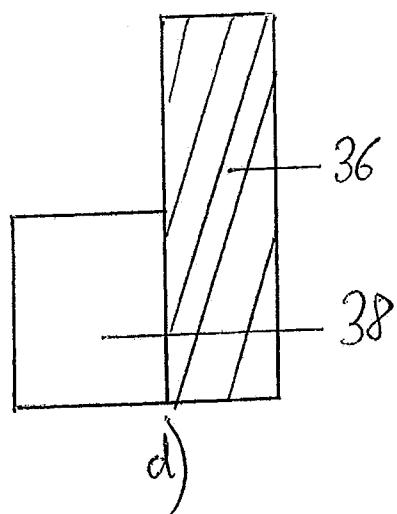
a)



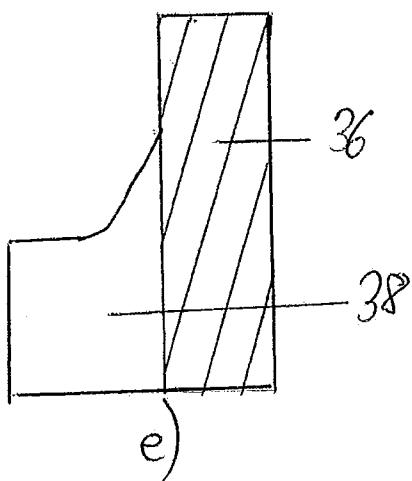
b)



c)



d)



e)

Fig. 7

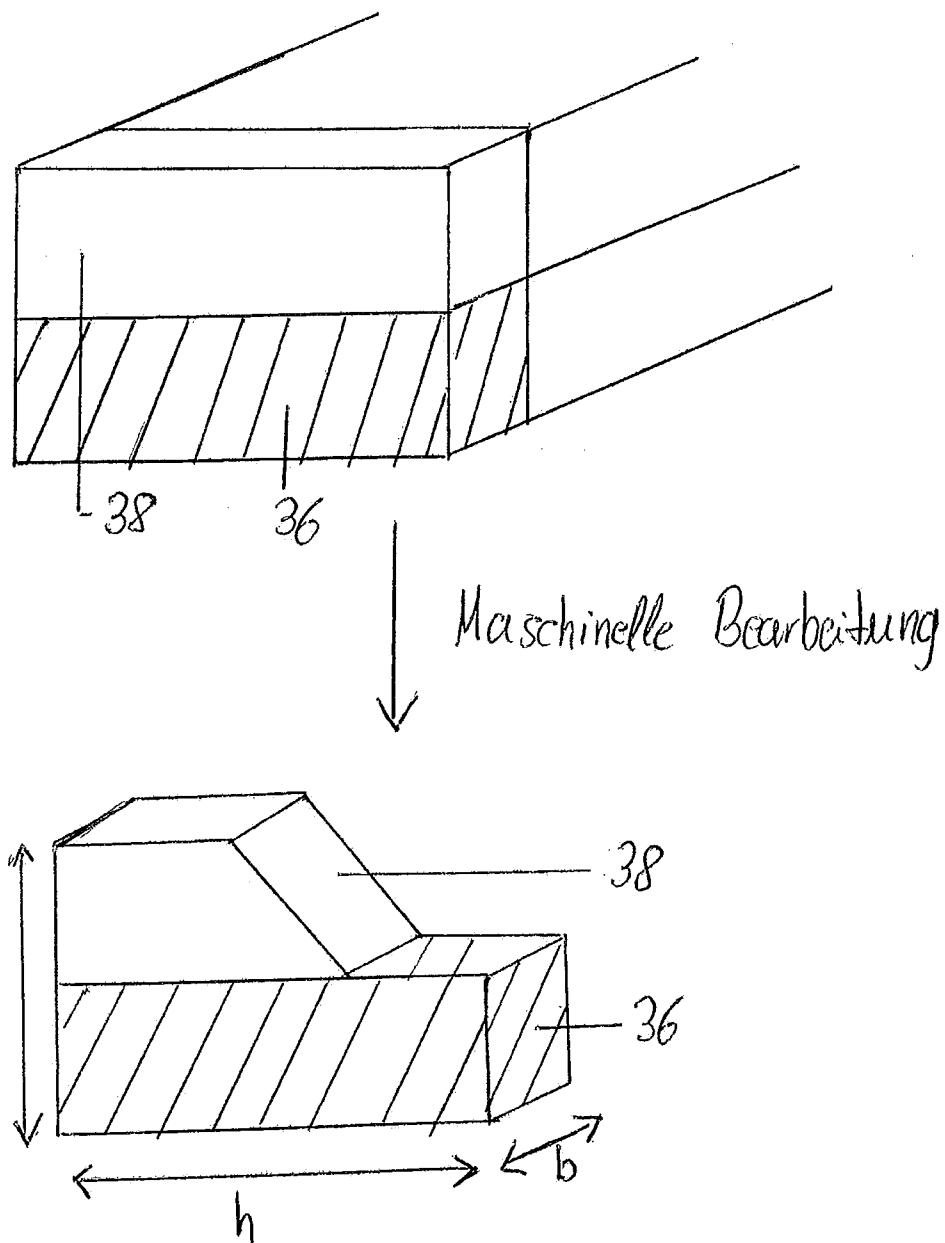


Fig. 8

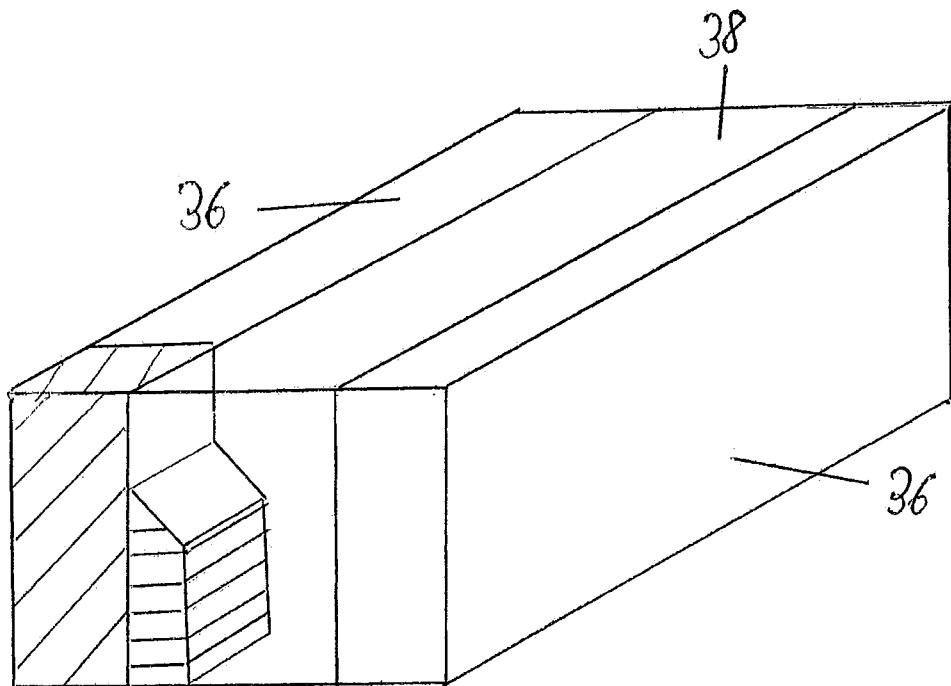


Fig. 9

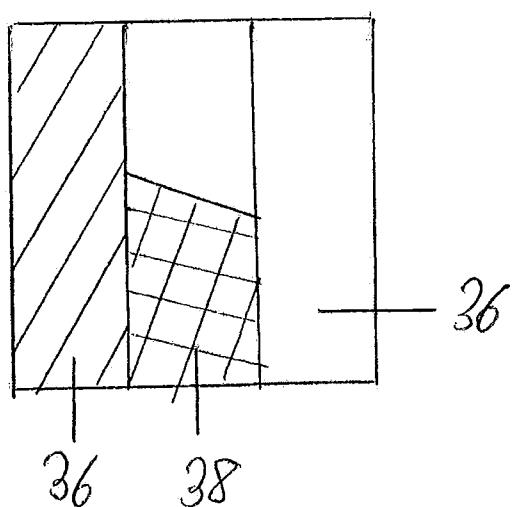


Fig. 10

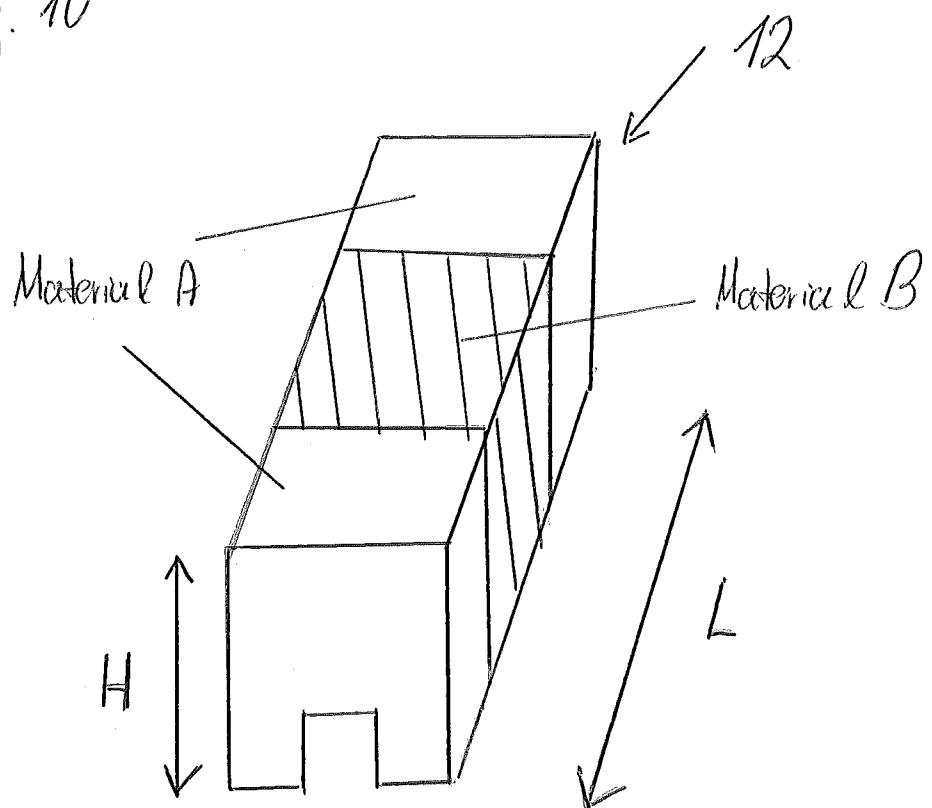
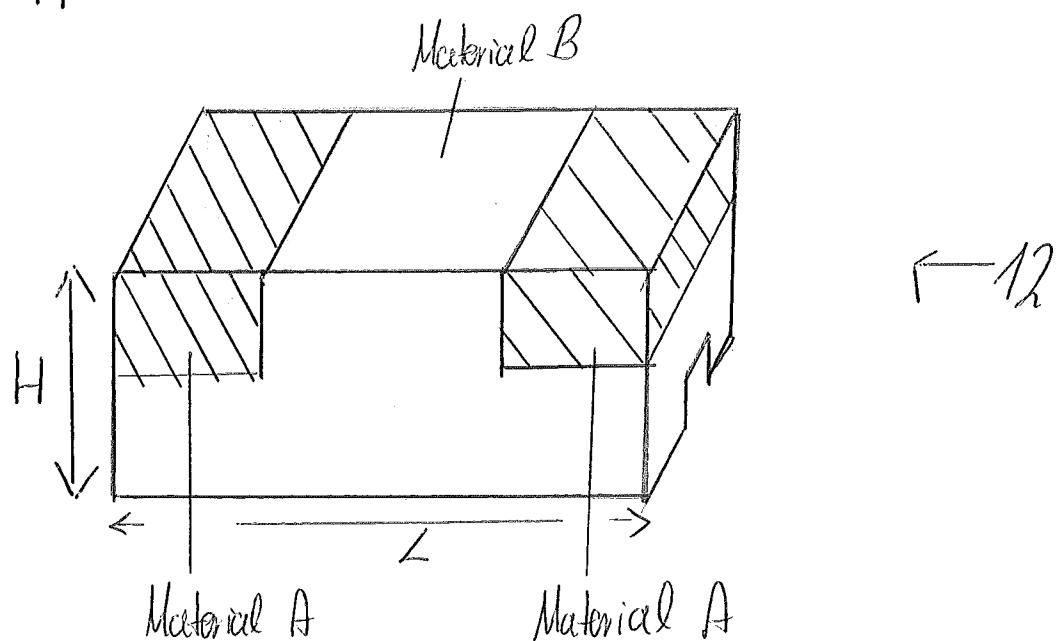
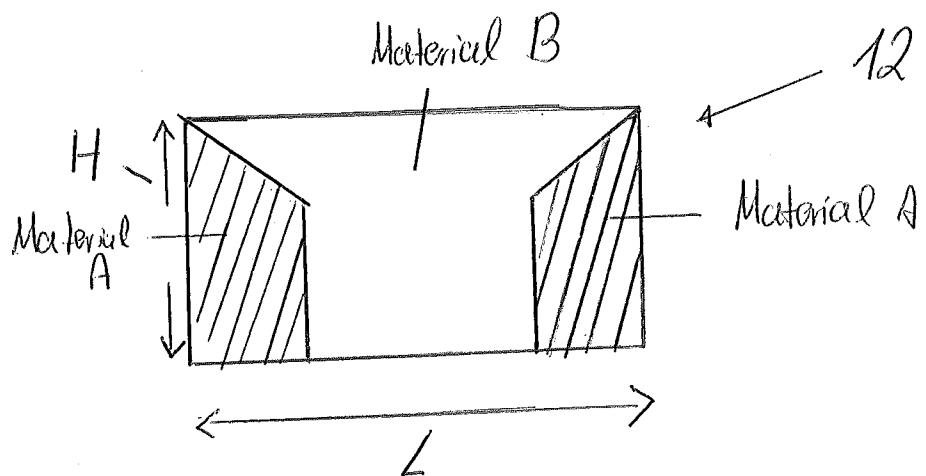


Fig. 11

a)



b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/076624

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. C25C3/08 C25C7/00
 ADD. C25C3/16

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)
C25C C04B F27D B32B C21B F27B C25B

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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	GB 2 103 657 A (BRITISH ALUMINIUM CO LTD [GB]) 23 February 1983 (1983-02-23)	1-14
Y	page 2, line 18 - line 43; figure 3 page 3, line 12 - line 17 page 1, line 41 - line 56 page 1, line 3 - line 11 -----	15
X	FR 2 882 051 A1 (SAINT GOBAIN CT RECHERCHES [FR]) 18 August 2006 (2006-08-18)	1-14
Y	page 4, line 17 - page 5, line 20; figure 3 page 5, line 32 - page 6, line 17 page 8, line 13 - page 9, line 18 page 17, line 8 - line 10 page 17, line 23 - line 28 ----- -/-	15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family 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 application or patent 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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
20 February 2014	04/03/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Beckmann, Oliver

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2013/076624

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 544 641 A (DUMAS DANIEL [FR] ET AL) 1 October 1985 (1985-10-01)	1-14
Y	column 12, line 5 - column 13, line 20; examples 11,12; tables 5,6 column 8, line 54 - column 9, line 2; example 5 column 5, line 8 - line 50 column 5, line 58 - column 6, line 10; claim 19 -----	15
X	DE 35 06 200 A1 (ALUSUISSE [CH]) 12 September 1985 (1985-09-12) cited in the application	1-14
Y	page 9, line 32 - page 10, line 15; figures 1-6 page 11, line 16 - line 28 page 13, line 1 - page 14, line 9 -----	15
Y	WO 02/064860 A1 (ALCAN TECH & MAN AG [CH]; ANTILLE JACQUES [CH]) 22 August 2002 (2002-08-22) cited in the application page 8, line 7 - line 27; figure 8 -----	15
A	Page63 ET AL: "HighTemperatureProcessingSymposium2010 PRESENTATION-24 SIDEWALL MATERIALS FOR HALL-HÉROULT PROCESS", , 31 December 2010 (2010-12-31), XP55101816, ISBN: 978-0-98-067080-6 Retrieved from the Internet: URL: http://www.swinburne.edu.au/lib/ir/onlineconferences/HTP2010/ [retrieved on 2014-02-12] page 65, paragraph 3 - page 66; figure 2 -----	1,13,14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2013/076624

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)			Publication date
GB 2103657	A	23-02-1983	NONE			
FR 2882051	A1	18-08-2006	FR 2882051 A1 WO 2006087466 A1		18-08-2006 24-08-2006	
US 4544641	A	01-10-1985	AU 578594 B2 CA 1209593 A1 DE 3373893 D1 EP 0128165 A1 FR 2537567 A1 IN 161625 A1 IT 1167300 B US 4544641 A WO 8402335 A1		03-11-1988 12-08-1986 05-11-1987 19-12-1984 15-06-1984 02-01-1988 13-05-1987 01-10-1985 21-06-1984	
DE 3506200	A1	12-09-1985	CA 1239617 A1 CH 658674 A5 DE 3506200 A1 FR 2560612 A1 GB 2155040 A IT 1214592 B JP S60208490 A NO 850812 A US 4619750 A		26-07-1988 28-11-1986 12-09-1985 06-09-1985 18-09-1985 18-01-1990 21-10-1985 03-09-1985 28-10-1986	
WO 02064860	A1	22-08-2002	EP 1233083 A1 WO 02064860 A1		21-08-2002 22-08-2002	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/076624

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. C25C3/08 C25C7/00
 ADD. C25C3/16

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 C25C C04B F27D B32B C21B F27B C25B

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)

EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	GB 2 103 657 A (BRITISH ALUMINIUM CO LTD [GB]) 23. Februar 1983 (1983-02-23)	1-14
Y	Seite 2, Zeile 18 - Zeile 43; Abbildung 3 Seite 3, Zeile 12 - Zeile 17 Seite 1, Zeile 41 - Zeile 56 Seite 1, Zeile 3 - Zeile 11 -----	15
X	FR 2 882 051 A1 (SAINT GOBAIN CT RECHERCHES [FR]) 18. August 2006 (2006-08-18)	1-14
Y	Seite 4, Zeile 17 - Seite 5, Zeile 20; Abbildung 3 Seite 5, Zeile 32 - Seite 6, Zeile 17 Seite 8, Zeile 13 - Seite 9, Zeile 18 Seite 17, Zeile 8 - Zeile 10 Seite 17, Zeile 23 - Zeile 28 ----- -/-	15

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

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

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 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

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20. Februar 2014

04/03/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Beckmann, Oliver

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/076624

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 544 641 A (DUMAS DANIEL [FR] ET AL) 1. Oktober 1985 (1985-10-01)	1-14
Y	Spalte 12, Zeile 5 - Spalte 13, Zeile 20; Beispiele 11,12; Tabellen 5,6 Spalte 8, Zeile 54 - Spalte 9, Zeile 2; Beispiel 5 Spalte 5, Zeile 8 - Zeile 50 Spalte 5, Zeile 58 - Spalte 6, Zeile 10; Anspruch 19 -----	15
X	DE 35 06 200 A1 (ALUSUISSE [CH]) 12. September 1985 (1985-09-12) in der Anmeldung erwähnt	1-14
Y	Seite 9, Zeile 32 - Seite 10, Zeile 15; Abbildungen 1-6 Seite 11, Zeile 16 - Zeile 28 Seite 13, Zeile 1 - Seite 14, Zeile 9 -----	15
Y	WO 02/064860 A1 (ALCAN TECH & MAN AG [CH]; ANTILLE JACQUES [CH]) 22. August 2002 (2002-08-22) in der Anmeldung erwähnt Seite 8, Zeile 7 - Zeile 27; Abbildung 8 -----	15
A	Page63 ET AL: "HighTemperatureProcessingSymposium2010 PRESENTATION-24 SIDEWALL MATERIALS FOR HALL-HÉROULT PROCESS", , 31. Dezember 2010 (2010-12-31), XP55101816, ISBN: 978-0-98-067080-6 Gefunden im Internet: URL: http://www.swinburne.edu.au/lib/ir/onlineconferences/HTP2010/ [gefunden am 2014-02-12] Seite 65, Absatz 3 - Seite 66; Abbildung 2 -----	1,13,14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/076624

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
GB 2103657	A	23-02-1983		KEINE		
FR 2882051	A1	18-08-2006	FR	2882051 A1	18-08-2006	
			WO	2006087466 A1		24-08-2006
US 4544641	A	01-10-1985	AU	578594 B2	03-11-1988	
			CA	1209593 A1	12-08-1986	
			DE	3373893 D1	05-11-1987	
			EP	0128165 A1	19-12-1984	
			FR	2537567 A1	15-06-1984	
			IN	161625 A1	02-01-1988	
			IT	1167300 B	13-05-1987	
			US	4544641 A	01-10-1985	
			WO	8402335 A1	21-06-1984	
DE 3506200	A1	12-09-1985	CA	1239617 A1	26-07-1988	
			CH	658674 A5	28-11-1986	
			DE	3506200 A1	12-09-1985	
			FR	2560612 A1	06-09-1985	
			GB	2155040 A	18-09-1985	
			IT	1214592 B	18-01-1990	
			JP	S60208490 A	21-10-1985	
			NO	850812 A	03-09-1985	
			US	4619750 A	28-10-1986	
WO 02064860	A1	22-08-2002	EP	1233083 A1	21-08-2002	
			WO	02064860 A1	22-08-2002	