(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
16. Mai 2013 (16.05.2013)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/068485 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C25C 3/08 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/072170

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. November 2012 (08.11.2012)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2011 086 040.1
9. November 2011 (09.11.2011) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **SGL CARBON SE** [DE/DE]; Söhnleinstr. 8, 65201 Wiesbaden (DE).

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder *(nur für US)*: **FROMMELT, Thomas** [DE/DE]; Werner-von-Siemens-Str. 18, 86405 Meitingen (DE). **RASHIDI, Arash** [IR/DE]; Werner-von-Siemens-Str. 18, 86405 Meitingen (DE).

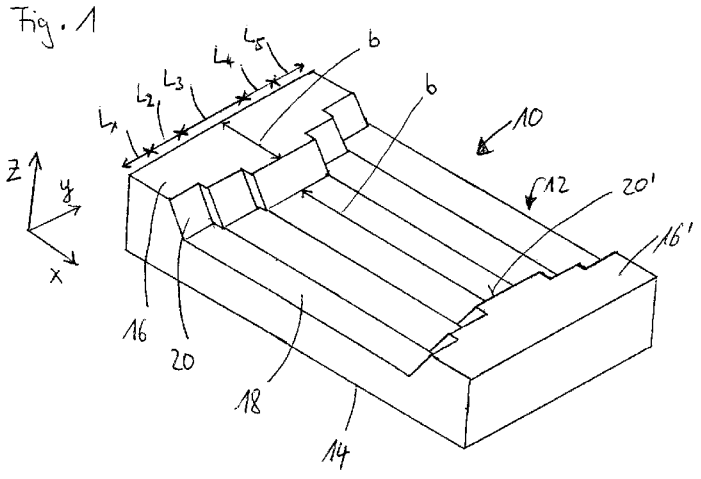
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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, 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.

(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, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTROLYTIC CELL, IN PARTICULAR FOR PRODUCING ALUMINUM, HAVING A TUB-SHAPED CATHODE

(54) Bezeichnung : ELEKTROLYSEZELLE, INSBESONDERE ZUR HERSTELLUNG VON ALUMINIUM, MIT EINER WANNENFÖRMIGEN KATHODE



(57) Abstract: The invention relates to an electrolytic cell, which is suitable in particular for producing aluminum, comprises a cathode, a layer of liquid aluminum arranged on the top side of the cathode, a melt layer on top thereof, an anode above the melt layer, at least one and preferably at least two bus bars that contact the cathode from the bottom side of the cathode in a current-supplying manner, and at least one external current supply, wherein each of the at least one external current supply is connected in an electrically conductive manner to at least one respective and preferably at least two respective bus bars at a respective connection point, wherein the top side of the cathode is tub-shaped as viewed in the cross-section of the cathode, wherein the tube has two edge regions and a bottom region, which is arranged between the edge regions and lowered relative to the edge regions as viewed in the width direction of the cathode, wherein a respective side wall region is provided between each edge region and the bottom region, which side wall region connects the respective edge region and the bottom region, wherein i) the width of at least one of the bottom region and the edge regions varies over the length of the cathode, and/or ii) the height of the top side of the cathode determined from the bottom side of the cathode varies over the length of the cathode.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2013/068485 A1

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, 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)*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Eine Elektrolysezelle, welche insbesondere zur Herstellung von Aluminium geeignet ist, umfasst eine Kathode, eine auf der Oberseite der Kathode angeordnete Schicht aus flüssigem Aluminium, darauf eine Schmelzeschicht, oberhalb der Schmelzeschicht eine Anode, wenigstenseine und bevorzugt wenigstens zwei die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktierende Stromschiene(n) und wenigstens eine äußere Stromzuführung, wobei jede der wenigstens einen äußeren Stromzuführung an jeweils einem Verbindungspunkt mit jeweils wenigstens einer und bevorzugt wenigstens zwei der Stromschiene(n) elektrisch leitend verbunden ist, wobei die Oberseite der Kathode im Querschnitt der Kathode betrachtet wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche und einen,in Breitenrichtung der Kathode gesehen, zwischen den Randbereichen angeordneten und bezogen auf die Randbereiche abgesenkten Bodenbereich aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen und dem Bodenbereich jeweils ein den entsprechenden Randbereich und den Bodenbereich verbindender Seitenwandbereich vorgesehen ist, wobei i) die Breite wenigstens eines des Bodenbereichs und der Randbereiche über die Länge der Kathode variiert, und/oder ii) die von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe der Oberseite der Kathode über die Länge der Kathode variiert.

Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, mit einer wannenförmigen Kathode

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, sowie eine Kathode, welche zur Verwendung in einer solchen Elektrolysezelle geeignet ist.

Elektrolysezellen werden beispielsweise 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 zusammengesetzte Schmelze elektrolysiert. Dabei dient der Kryolith, $Na_3[AlF_6]$, dazu, den Schmelzpunkt von 2.045 °C für reines Aluminiumoxid auf ca. 950 °C für eine Kryolith, Aluminiumoxid und Zusatzstoffe, wie Aluminiumfluorid und Calciumfluorid, enthaltende Mischung zu senken.

Die bei diesem Verfahren eingesetzte Elektrolysezelle weist einen Kathodenboden auf, der aus einer Vielzahl von aneinander angrenzenden, die Kathode ausbildenden Kathodenblöcken zusammengesetzt sein kann. Um den bei dem Betrieb der Zelle herrschenden thermischen und chemischen Bedingungen standzuhalten, ist die Kathode üblicherweise aus einem kohlenstoffhaltigen Material zusammengesetzt. An den Unterseiten der Kathodenblöcke sind üblicherweise jeweils Nuten vorgesehen, in denen jeweils wenigstens eine Stromschiene angeordnet ist, durch welche der über die Anoden zugeführte Strom abgeführt wird. Etwa 3 bis 5 cm oberhalb der auf der Kathodenoberseite befindlichen, üblicherweise 15 bis 50 cm hohen, Schicht aus flüssigem Aluminium ist eine, insbesondere aus einzelnen Anodenblöcken ausgebildete, Anode angeordnet, zwischen der und der Oberfläche des Aluminiums sich der Elektrolyt, also die Aluminiumoxid und Kryolith enthaltende Schmelze, befindet. Während der bei etwa 1.000 °C durchgeführten Elektrolyse setzt sich das gebildete Aluminium aufgrund seiner im Vergleich zu der

des Elektrolyten größeren Dichte unterhalb der Elektrolytschicht ab, also als Zwischenschicht zwischen der Oberseite der Kathode und der Elektrolytschicht. Bei der Elektrolyse wird das in der Schmelze gelöste Aluminiumoxid durch elektrischen Stromfluss zu Aluminium und Sauerstoff aufgespalten. Elektrochemisch gesehen handelt es sich bei der Schicht aus flüssigem Aluminium um die eigentliche Kathode, da an dessen Oberfläche Aluminiumionen zu elementarem Aluminium reduziert werden. Nichtsdestotrotz wird nachfolgend unter dem Begriff Kathode nicht die Kathode aus elektrochemischer Sicht, also die Schicht aus flüssigem Aluminium verstanden, sondern das den Elektrolysezellenboden ausbildende, beispielsweise aus einem oder mehreren Kathodenblöcken zusammengesetzte Bauteil.

Ein wesentlicher Nachteil des Hall-Héroult-Verfahrens ist es, dass dieses sehr energieintensiv ist. Zur Erzeugung von 1 kg Aluminium werden etwa 12 bis 15 kWh elektrische Energie benötigt, was bis zu 40 % der Herstellungskosten ausmacht. Um die Herstellungskosten senken zu können, ist es daher wünschenswert, den spezifischen Energieverbrauch bei diesem Verfahren so weit wie möglich zu verringern.

Aufgrund des insbesondere im Vergleich zu der Schicht aus flüssigem Aluminium und dem Kathodenmaterial relativ hohen elektrischen Widerstands der Schmelze treten vor allem in der Schmelze relativ hohe ohmsche Verluste in der Form von Joule'scher Dissipation auf. In Anbetracht der vergleichsweise hohen spezifischen Verluste in der Schmelze besteht eine dahingehende Bestrebung, die Dicke der Schmelzeschicht und somit den Abstand zwischen der Anode und der Schicht aus flüssigem Aluminium so weit wie möglich zu reduzieren. Allerdings besteht aufgrund der bei der Elektrolyse vorliegenden elektromagnetischen Wechselwirkungen und der dadurch in der Schicht aus flüssigem Aluminium hervorgerufenen Wellenbildung bei einer zu geringen Dicke der Schmelzeschicht die Gefahr, dass die Schicht aus flüssigem Aluminium mit der Anode in Berührung kommt, was zu

Kurzschlüssen der Elektrolysezelle und zu unerwünschter Rückoxidation des gebildeten Aluminiums sowie zur elektrischen Instabilität des Elektrolysebetriebs und insbesondere einer Fluktuation der Zellenspannung führen kann. Auftretende Kurzschlüsse führen ferner zu einem erhöhten Verschleiß und somit zu einer verringerten Standzeit der Elektrolysezelle. Aus diesen Gründen kann der Abstand zwischen der Anode und der Schicht aus flüssigem Aluminium nicht beliebig verringert werden.

Treibende Kraft für die Wellenbildung in der Schicht aus flüssigem Aluminium ist die inhomogene Verteilung der elektrischen Stromdichte und der magnetischen Flussdichte über die Oberfläche der Kathode, die zu einer die Wellenbildung begünstigenden Verteilung der Lorentzkraftdichte in der Schicht aus flüssigem Aluminium führt. Dabei ist die Lorentzkraftdichte als das Vektorprodukt der an einer bestimmten Stelle vorliegenden elektrischen Stromdichte und der an dieser Stelle vorliegenden magnetischen Flussdichte definiert. Ursache für die inhomogene Verteilung der elektrischen Stromdichte und der magnetischen Flussdichte an der Oberseite der Kathode wiederum ist es unter anderem, dass der Strom in der Kathode und in dem Aluminiumbad vorzugsweise den Pfad des geringsten elektrischen Widerstandes nimmt. Aus diesem Grund konzentriert sich der durch die Kathode fließende elektrische Strom typischerweise vornehmlich auf die seitlichen Randbereiche der Kathode, wo die Verbindung der Kathode mit den diese kontaktierenden Stromschienen erfolgt, da der resultierende elektrische Widerstand bei dem Stromfluss über die Randbereiche bis zu der Oberfläche der Kathode geringer ist als bei dem Stromfluss über die Mitte der Kathode bis zu der Oberfläche der Kathode, bei dem ein längerer Weg bzw. elektrischer Pfad zurückgelegt werden muss als bei dem Stromfluss über die Randbereiche bis zu der Oberfläche der Kathode.

Neben einer verstärkten Wellenbildung in der Schicht aus flüssigem Aluminium führt die inhomogene Stromdichteverteilung und insbesondere die erhöhte Strom-

dichte an den in Querrichtung der Kathode betrachtet seitlichen Randbereichen der Kathode im Vergleich zu der Stromdichte in der Mitte der Kathode auch zu einem verstärkten Verschleiß der Kathode in den seitlichen Randbereichen, was nach längerem Betrieb der Elektrolysezelle typischerweise zu einem charakteristischen im Querschnitt der Kathode etwa W-förmigen Verschleißprofil der Kathode führt.

Um den spezifischen Energieverbrauch einer Elektrolysezelle zu verringern, ist es in jüngster Zeit vorgeschlagen worden, in Elektrolysezellen Kathoden einzusetzen, deren Oberseite - im Querschnitt der Kathode betrachtet - in der Form einer V-förmigen Wanne ausgestaltet sind. Dabei führt die in der Form einer V-förmigen Wanne ausgebildete Vertiefung in der Kathodenoberfläche dazu, dass die Stromdichte in den seitlichen Randbereichen der Kathode verringert wird, wodurch in diesen Bereichen das Wellenbildungspotential und auch der Verschleiß verringert werden.

Auch bei Einsatz einer solchen wannenförmigen Kathode tritt aber in der Schicht aus flüssigem Aluminium eine unerwünscht hohe Wellenbildung auf, die bei einer geringen Dicke der Kryolithschicht zwischen dem Aluminium und der Anode zu Instabilitäten führt und die die erreichbare Energieeffizienz bei der Elektrolyse beschränkt. Zudem findet auch bei der Verwendung einer solchen Kathode während der Elektrolyse an der Oberseite der Kathode ein unerwünscht hoher ungleichmäßiger Verschleiß statt. Diese beiden Faktoren setzen die Standzeit der Elektrolysezelle und somit deren Wirtschaftlichkeit herab. Dies liegt darin begründet, dass auch bei der Verwendung einer solchen Kathode - über die Oberfläche der Kathode gesehen - immer noch - auch wenn diese geringer ist als bei einer nicht wannenförmig ausgestalteten Kathode - eine vergleichsweise inhomogene Stromdichteverteilung sowie inhomogene Verteilung der magnetischen Flussdichte vorliegt. Dies liegt unter anderem daran, dass die die Kathode kontaktierenden Stromschienen üblicherweise über Sammelschienen mit einer oder mehreren

äußeren Stromzuführungen verbunden sind, wobei sich der Abstand zwischen dem Ende der äußeren Stromzuführung und den diesem zugewandten Enden der einzelnen Stromschienen unterscheidet, so dass der elektrische Pfad von der äußeren Stromzuführung zu dem Punkt, an dem eine einzelne Stromschiene die Unterseite der Kathode kontaktiert, für verschiedene Stromschienen unterschiedlich lang ist. Längere elektrische Pfade weisen jedoch für ein vorgegebenes Material einen höheren elektrischen Widerstand als kürzere elektrische Pfade auf. Dadurch wird der elektrische Stromfluss durch diejenigen Stromschienen begünstigt, deren die Unterseite der Kathode kontaktierender Punkt näher an der äußeren Stromzuführung liegt, weswegen in den über diesen Stromschienen angeordneten Randbereichen bzw. Längsabschnitten der Kathode ein größerer Stromfluss stattfindet als in den Randbereichen bzw. Längsabschnitten der Kathode, die über einer Stromschiene liegen, deren die Unterseite der Kathode kontaktierender Punkt weiter von der äußeren Stromzuführung entfernt liegt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Elektrolysezelle bereitzustellen, die bei ihrem Betrieb einen verringerten spezifischen Energieverbrauch sowie eine erhöhte Standzeit aufweist. Insbesondere soll eine Elektrolysezelle bereit gestellt werden, in der die Dicke der Schmelzeschicht verringert ist, ohne dass infolge dadurch erhöhter Wellenbildungstendenz in der Schicht aus flüssigem Aluminium Instabilitäten, wie Kurzschlüsse oder Rückoxidationen des gebildeten Aluminiums oder Fluktuationen der Elektrolysezellenspannung, auftreten.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch die Bereitstellung einer Elektrolysezelle gemäß dem Patentanspruch 1 und insbesondere durch die Bereitstellung einer Elektrolysezelle zur Herstellung von Aluminium, welche eine Kathode, eine auf der Oberseite der Kathode angeordnete Schicht aus flüssigem Aluminium, darauf eine Schmelzeschicht, oberhalb der Schmelzeschicht eine Anode, wenigstens eine und bevorzugt wenigstens zwei die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktierende Stromschiene(n) und wenigstens eine äußere

Stromzuführung umfasst, wobei jede der wenigstens einen äußeren Stromzuführung an jeweils einem Verbindungspunkt mit jeweils wenigstens einer und bevorzugt wenigstens zwei der Stromschiene(n) elektrisch leitend verbunden ist, wobei die Oberseite der Kathode im Querschnitt der Kathode betrachtet wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche und einen, in Breitenrichtung der Kathode gesehen, zwischen den Randbereichen angeordneten und bezogen auf die Randbereiche abgesenkten Bodenbereich aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen und dem Bodenbereich jeweils ein den entsprechenden Randbereich und den Bodenbereich verbindender Seitenwandbereich vorgesehen ist, wobei i) die Breite wenigstens eines des Bodenbereichs und der Randbereiche über die Länge der Kathode variiert, und/oder ii) die von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe der Oberseite der Kathode über die Länge der Kathode variiert.

Unter der Breite des Bodenbereichs bzw. eines Randbereichs der Oberseite der Kathode ist im Sinne der vorliegenden Erfindung die in der Breitenrichtung der Kathode gemessene Erstreckung des Bodenbereichs bzw. des Randbereichs zu verstehen, also der Abstand von dem - im Querschnitt der Kathode betrachtet bzw. in der Breitenrichtung der Kathode betrachtet - einen Ende des Bodenbereichs bzw. Randbereichs zu dem anderen Ende des Bodenbereichs bzw. Randbereichs.

Ferner bezeichnet im Sinne der vorliegenden Erfindung die Formulierung "die von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe der Oberseite der Kathode" den Abstand eines beliebigen auf der Oberseite der Kathode liegenden Punktes von dem vertikal unterhalb dieses Punktes auf der Unterseite der Kathode liegenden Punkt.

Unter äußerer Stromzuführung wird im Sinne der vorliegenden Erfindung ein beliebiger elektrischer Leiter verstanden, welcher außerhalb der Kathode angeordnet

ist und Strom zu der bzw. den Stromschiene(n) führt bzw. von diesen wegführt. Dabei kann die äußere Stromzuführung mit der bzw. den Stromschiene(n) direkt über jeweils einen Verbindungspunkt verbunden sein oder mit der bzw. den Stromschiene(n) indirekt über eine zwischen der äußeren Stromzuführung und den Stromschienen angeordneten Sammelschiene verbunden sein. In dem letztgenannten Fall wird unter Verbindungspunkt der Punkt verstanden, an dem die äußere Stromzuführung mit der mit den Stromschienen verbundenen Sammelschiene verbunden ist. Mit anderen Worten bezeichnet die Formulierung "Verbindungspunkt zwischen der wenigstens einen und bevorzugt wenigstens zwei Stromschienen und der äußeren Stromzuführung" den Punkt, an dem die von der bzw. den mit der äußeren Stromzuführung - direkt oder indirekt - elektrisch leitend verbundene(n) Stromschiene(n) ausgehenden elektrischen Pfade zusammenlaufen und in die äußere Stromzuführung übergehen. In diesem Zusammenhang bezeichnet der Begriff "elektrischer Pfad" den Strompfad des geringsten elektrischen Widerstands zwischen zwei Punkten.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass durch eine Kathode mit der Querschnittsform einer Wanne mit einer variierenden Breite und/oder Höhe des Bodenbereichs und/oder der Randbereiche der Wanne über die Länge der Kathode eine Vergleichmäßigung der elektrischen Stromdichte und der magnetischen Flussdichte an der Oberseite der Kathode erreicht wird, und zwar nicht nur über den Querschnitt eines isolierten Längsabschnitts der Kathode betrachtet, sondern insbesondere auch über die gesamte Oberfläche der Kathode, also sowohl in der Längsrichtung als auch in der Breitenrichtung der Kathode. Dies deshalb, weil das Kathodenmaterial eine im Vergleich zu der darüber angeordneten Schicht aus flüssigem Aluminium geringe Leitfähigkeit besitzt, weswegen der Stromfluss in dem Bodenbereich des wannenförmigen Querschnitts im Vergleich zu den gegenüber dem Bodenbereich erhöhten Randbereichen der Kathode begünstigt ist. Dementsprechend führt eine Verbreiterung des Bodenbereichs bzw. eine Verringerung der Breite eines Randbereichs der Kathode in einem Längsabschnitt der

Kathode zu einer Begünstigung des Stromflusses in diesem Längsabschnitt insgesamt (also im Vergleich zu einem anderen Längsabschnitt) und zu einer Begünstigung des Stromflusses in dem Bodenbereich in Bezug auf den Stromfluss in den Randbereichen dieses Längsabschnitts der Kathode, wohingegen der Stromfluss in einem Längsabschnitt der Kathode, in dem der Bodenbereich weniger breit und die Randbereiche der Kathode breiter ausgestaltet sind, insgesamt verringert wird und der Stromflusses in dem Bodenbereich in Bezug auf den Stromfluss in den Randbereichen dieses Längsabschnitts der Kathode verringert wird. Gleichermaßen wird aus diesem Grund durch eine Verringerung der Höhe der Kathodenoberseite in einem Längsabschnitt der Kathode der Stromfluss in diesem Längsabschnitt insgesamt begünstigt, wohingegen der Stromfluss in einem Längsabschnitt der Kathode, in dem die Oberseite der Kathode eine größere Höhe aufweist, insgesamt verringert wird. So kann durch die - in Bezug auf die Breite und/oder Höhe - gestufte Ausgestaltung der Randbereiche und Bodenbereiche der Kathode der Stromfluss zwischen den einzelnen Längsabschnitten der Kathode und über die Breite jedes Längsabschnitts hinweg so eingestellt werden, dass sich eine über die Oberfläche der Kathode gesehen gleichmäßigere Stromdichte ergibt. Insbesondere kann durch die gestufte Ausgestaltung der Randbereiche und Bodenbereiche der Kathode der Stromfluss durch diejenigen Längsabschnitte der Kathode, welche oberhalb von Stromschienen angeordnet sind, deren die Unterseite der Kathode kontaktierender Punkt näher an der äußeren Stromzuführung liegt, durch Verbreiterung der Randbereiche und/oder Erhöhung der Randbereiche und/oder Bodenbereiche verringert werden und der Stromfluss durch diejenigen Längsabschnitte der Kathode, welche oberhalb von Stromschienen angeordnet sind, deren die Unterseite der Kathode kontaktierender Punkt weiter von der äußeren Stromzuführung entfernt liegt, durch Verringerung der Breite der Randbereiche und/oder Verringerung der Höhe der Randbereiche und/oder Bodenbereiche vergrößert werden, so dass der Stromfluss und der magnetische Fluss durch die einzelnen Längsabschnitte der Kathode, unabhängig von deren Entfernung zu der äußeren Stromzuführung, vergleichmäßigt werden können. Aufgrund der über die

Oberfläche der Kathode gesehen gleichmäßigen Stromdichte und magnetischen Flussdichte ist die Wellenbildung in der Schicht aus flüssigem Aluminium drastisch verringert sowie der Verschleiß der Kathode über deren Oberfläche betrachtet vergleichmäßigt. Aufgrund dessen weist die erfindungsgemäße Elektrolysezelle bei ihrem Betrieb einen verringerten spezifischen Energieverbrauch sowie eine erhöhte Standzeit auf. Insbesondere kann bei der erfindungsgemäßen Elektrolysezelle die Dicke der Schmelzeschicht verringert werden, ohne dass infolge dadurch erhöhter Wellenbildungstendenz in der Schicht aus flüssigem Aluminium Instabilitäten, wie Kurzschlüsse oder Rückoxidationen des gebildeten Aluminiums oder Fluktuationen der Elektrolysezellenspannung, auftreten. Insgesamt wird so bei dem Betrieb der erfindungsgemäßen Elektrolysezelle eine Wellenbildung in der Schicht aus flüssigem Aluminium wirksam vermieden und eine hohe Energieeffizienz bei gleichzeitiger hoher Stabilität und Zuverlässigkeit des Elektrolysebetriebs erzielt. Dabei ist es von besonderem Vorteil, dass die vorstehend beschriebenen, zur Vergleichmäßigung der elektrischen Stromdichte an der Kathodenoberseite eingesetzten Maßnahmen, nämlich die Einstellung der Breite und/oder Höhe einzelner Längsabschnitte der wannenförmigen Kathode, einfach so aufeinander abgestimmt werden können, dass sich zwischen der in der erfindungsgemäßen Elektrolysezelle eingesetzten Kathode und der Anode - auch bei verringertem Abstand zwischen der Anode und der Schicht aus flüssigem Aluminium - dasselbe Badvolumen ergibt, wie bei dem Einsatz einer herkömmlichen Kathode.

Gemäß einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass wenigstens ein Randbereich der Kathode wenigstens zwei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Breite umfasst, wobei der Längsabschnitt des Randbereichs, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist, die größte Breite von allen Längsabschnitten des Randbereichs aufweist. In diesem Zusammenhang ist der für einen Längsabschnitt eines Randbereichs nächstliegende Verbindungspunkt derjenige Verbindungspunkt zwischen wenigstens einer und bevor-

zugt wenigstens zwei Stromschienen und der äußeren Stromzuführung, der über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem Längsabschnitt der Kathode verbunden ist. Dadurch, dass bei dieser Ausführungsform der Randbereich in demjenigen Längsabschnitt verbreitert ausgebildet ist, der den kürzesten elektrischen Pfad zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt aufweist, wird der elektrische Widerstand dieses Längsabschnitts der Kathode im Vergleich zu den elektrischen Widerständen der anderen Längsabschnitte vergrößert, so dass der Stromfluss durch diesen Längsabschnitt der Kathode verringert und der durch die anderen Längsabschnitte der Kathode vergrößert wird, so dass - über die einzelnen Längsabschnitte der Kathode gesehen - eine gleichmäßige Stromdichteverteilung erreicht wird.

Prinzipiell kann von mehreren Längsabschnitten des Randbereichs bzw. der Randbereiche mit voneinander verschiedener Breite zumindest einer eine über den jeweiligen Längsabschnitt hinweg einheitliche Breite aufweisen und/oder kann die Breite zumindest eines Längsabschnitts von seinem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell abnehmen. Vorzugsweise sind die Breiten aller Längsabschnitte des Randbereichs bzw. der Randbereiche mit voneinander verschiedener Breite konstant, so dass einer der Randbereiche bzw. beide Randbereiche der Kathode - bezogen auf deren Breite - stufen- bzw. treppenförmig ausgestaltet sind, oder nehmen die Breiten aller Längsabschnitte des Randbereichs bzw. der Randbereiche mit voneinander verschiedener Breite von ihrem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell ab.

Eine besonders gleichmäßige Verteilung der elektrischen Stromdichte über die Oberfläche der Kathode wird erreicht, wenn wenigstens ein Randbereich der Kathode wenigstens drei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Breite umfasst, wobei jeder der Längsabschnitte, welcher über einen längeren

elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt, eine geringere Breite als der andere Längsabschnitt aufweist. Dadurch wird der Einfluss der Länge des elektrischen Pfades von dem jeweils nächstgelegenen Verbindungspunkt zu dem jeweiligen Längsabschnitt des Randbereichs der Kathode auf den elektrischen Stromfluss besonders wirksam ausgeglichen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es vorgesehen, dass der Bodenbereich der Kathode wenigstens zwei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Breite umfasst, wobei der Längsabschnitt des Bodenbereichs, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist, die geringste Breite von allen Längsabschnitten des Bodenbereichs aufweist. Durch die Verringerung der Breite des Bodenbereichs wird der elektrische Widerstand dieses Längsabschnitts der Kathode erhöht und so der Stromfluss teilweise von diesem Längsabschnitt - in dem ansonsten der höchste Stromfluss stattfinden würde - in benachbarte Längsabschnitte der Kathode umgeleitet, so dass insgesamt eine Vergleichmäßigung der Stromdichte über die Oberfläche der Kathode erreicht wird.

Grundsätzlich können auch bei dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein oder mehrere Längsabschnitten des Bodenbereichs mit voneinander verschiedener Breite eine über den jeweiligen Längsabschnitt hinweg einheitliche Breite aufweisen und/oder kann die Breite zumindest eines oder mehrerer Längsabschnitte von seinem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell abnehmen. Auch bei dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist es bevorzugt, dass die Breiten aller Längsabschnitte des Bodenbereichs mit voneinander verschiedener Breite konstant sind, so dass der Bodenbereich der Kathode - bezogen auf deren Breite - stufen- bzw. treppenförmig ausgestaltet ist, oder, dass die Breiten aller Längsabschnitte des Bodenbereichs mit voneinander

verschiedener Breite von ihrem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell abnehmen.

Bevorzugt umfasst der Bodenbereich der Kathode wenigstens drei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Breite, wobei jeder der Längsabschnitte, welcher über einen längeren elektrischen Pfad mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt, eine größere Breite als der andere Längsabschnitt aufweist. Dadurch wird eine besonders hohe Gleichmäßigkeit der elektrischen Stromdichte über die Oberfläche der Kathode hinweg erreicht.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens wird es vorgeschlagen, dass wenigstens ein Randbereich der Kathode wenigstens zwei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Höhe umfasst, wobei der Längsabschnitt des Randbereichs der Kathode, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist, die größte von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe von allen Längsabschnitten des Randbereichs aufweist. Dadurch wird der elektrische Widerstand des Längsabschnitts des Randbereichs der Kathode, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist, im Vergleich zu den elektrischen Widerständen der anderen Längsabschnitte vergrößert, so dass der Stromfluss durch diesen Längsabschnitt der Kathode verringert und der durch die anderen Längsabschnitte der Kathode vergrößert wird, so dass - über die einzelnen Längsabschnitte der Kathode gesehen - eine gleichmäßige Stromdichteverteilung erreicht wird.

Dabei können die vorgenannten Ausführungsformen auch miteinander kombiniert werden, und zwar beispielsweise so, dass der Randbereich der Kathode in dem Längsabschnitt, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem nächstlie-

genden Verbindungspunkt verbunden ist, eine größere Breite und eine größere Höhe aufweist als diejenigen Längsabschnitte, welche über einen längeren elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden sind.

In weiterer Fortbildung des Erfindungsgedankens kann es vorgesehen sein, dass der Bodenbereich der Kathode wenigstens zwei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Höhe umfasst, wobei der Längsabschnitt des Bodenbereichs der Kathode, welcher über den kürzesten elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist, die größte von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe von allen Längsabschnitten des Bodenbereichs aufweist. Auch bei dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine besonders gute Vergleichmäßigung der Verteilung der elektrischen Stromdichte über die Kathodenoberfläche erreicht.

Prinzipiell kann von mehreren Längsabschnitten eines der Randbereiche, der beiden Randbereiche und/oder des Bodenbereichs mit voneinander verschiedener Höhe zumindest einer eine über den jeweiligen Längsabschnitt hinweg einheitliche Höhe aufweisen und/oder kann die Höhe zumindest eines Längsabschnitts von seinem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell abnehmen. Vorzugsweise sind die Höhen aller Längsabschnitte eines der Randbereiche, der beiden Randbereiche bzw. des Bodenbereichs mit voneinander verschiedener Höhe konstant, so dass einer der Randbereiche, beide Randbereiche bzw. der Bodenbereich der Kathode - bezogen auf dessen/deren Höhe - stufen- bzw. treppenförmig ausgestaltet sind, oder nehmen die Höhen aller Längsabschnitte eines der Randbereiche, der Randbereiche bzw. des Bodenbereichs mit voneinander verschiedener Höhe von ihrem näher zu dem nächstgelegenen Verbindungspunkt liegenden längsseitigen Ende zu dem weiter entfernt liegenden längsseitigen Ende graduell ab.

Im Rahmen der Erfindung ist es auch möglich, dass die Höhe der Kathodenoberseite - in Längsrichtung der Kathode gesehen - für den Randbereich und den Bodenbereich eines oder mehrere Längsabschnitte in entgegengesetzter Richtung variiert, d.h. dass beispielsweise die Höhe beider Randbereiche eines Längsabschnitts größer ist als die der Randbereiche der benachbarten Längsabschnitte, wobei jedoch die Höhe des Bodenbereichs dieses Längsabschnitts kleiner ist als die der Bodenbereiche der benachbarten Längsabschnitte. Allerdings ist es bevorzugt, dass die Höhe der Randbereiche und die Höhe des Bodenbereichs jedes Längsabschnitts der Kathode gleichgerichtet variieren, d.h. die Höhe sowohl der Randbereiche als auch des Bodenbereichs jedes Längsabschnitts der Kathode größer oder kleiner sind als die der Randbereiche und des Bodenbereichs der benachbarten Längsabschnitte.

Eine besonders hohe Gleichmäßigkeit der Verteilung der elektrischen Stromdichte an der Kathodenoberseite wird erreicht, wenn der Randbereich der Kathode wenigstens drei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Höhe umfasst, wobei jeder der Längsabschnitte, welcher über einen längeren elektrischen Pfad mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt, eine geringere Höhe als der andere Längsabschnitt aufweist.

Alternativ zu der vorgenannten Ausführungsform oder bevorzugt zusätzlich zu der vorgenannten Ausführungsform kann der Bodenbereich der Kathode wenigstens drei Längsabschnitte mit jeweils voneinander verschiedener Höhe umfassen, wobei jeder der Längsabschnitte, welcher über einen längeren elektrischen Pfad mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt, eine geringere Höhe als der andere Längsabschnitt aufweist. Hierdurch wird eine besonders gleichmäßige Verteilung der Stromdichte im Bodenbereich der durch die Kathodenoberseite gebildeten Wanne erreicht.

Eine besonders günstige Verteilung der elektrischen Stromdichte lässt sich erreichen, wenn das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Breite wenigstens eines der Randbereiche der Kathode zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Höhe wenigstens eines der Randbereiche der Kathode zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Breite des Bodenbereichs der Kathode zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Höhe des Bodenbereichs der Kathode zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1:5 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt.

Bei den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, bei denen die Höhe der Kathodenoberseite über die Länge der Kathode variiert, beträgt der Unterschied zwischen der maximalen Höhe in den Randbereichen der Kathode und der minimalen Höhe in den Randbereichen der Kathode und/oder der Unterschied zwischen der maximalen Höhe in dem Bodenbereich der Kathode und der minimalen Höhe in dem Bodenbereich der Kathode bevorzugt weniger als 30 cm, besonders bevorzugt weniger als 20 cm und ganz besonders bevorzugt maximal 10 cm. Gleichermaßen ist es bevorzugt, dass der Unterschied zwischen der maximalen Höhe in den Randbereichen der Kathode und der minimalen Höhe in dem Bodenbereich der Kathode höchstens 50 % des Abstandes zwischen der höchsten Stellen auf der Kathodenoberseite und der Kathodenunterseite beträgt.

Bei den Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, bei denen die Breite eines der Randbereiche, der beiden Randbereiche oder des Bodenbereichs über die Länge der Kathode variiert/variieren, beträgt der Unterschied zwischen der maximalen Breite des Bodenbereichs und der minimalen Breite des Bodenbe-

reichs - über die gesamte Längserstreckung der Kathode hinweg betrachtet - bevorzugt weniger als 30 cm, besonders bevorzugt weniger als 20 cm und ganz besonders bevorzugt weniger als 10 cm. Gleichermaßen ist es bevorzugt, dass der Unterschied zwischen der maximalen Breite des Bodenbereichs und der minimalen Breite des Bodenbereichs - über die gesamte Längserstreckung der Kathode hinweg betrachtet - höchstens 20 % und besonders bevorzugt höchstens 10 % der Kathodenlänge beträgt.

In Weiterbildung des Erfindungsgedankens ist es vorgesehen, dass die Elektrolysezelle wenigstens zwei die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktierende Stromschienen umfasst, wobei jede der wenigstens einen äußeren Stromzuführung an jeweils einem Verbindungspunkt mit jeweils wenigstens zwei der Stromschienen elektrisch leitend verbunden ist, und die wenigstens zwei die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktierenden Stromschienen parallel und in festem Abstand zueinander angeordnet sind, sich über die gesamte Breite der Kathode erstrecken und die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktieren, wobei die einzelnen Stromschienen mit einem oder beiden ihrer Enden jeweils mit einer Sammelschiene elektrisch leitend verbunden sind und die Sammelschiene(n) mit einer oder mehreren äußeren Stromzuführungen elektrisch leitend verbunden ist/sind.

Alternativ dazu können die einzelnen Stromschienen parallel und in festem Abstand zueinander angeordnet sind, sich aber nicht über die gesamte Breite der Kathode erstrecken. Beispielsweise können sich die einzelnen Stromschienen nur über etwa die Hälfte der Breite der Kathode erstrecken. Bei dieser Ausführungsform sind - in der Breitenrichtung der Kathode gesehen - beispielsweise 2 Stromschienen hintereinander angeordnet, d.h. die Stromschienen sind quasi mehrstückig ausgebildet, wobei jede dieser beiden hintereinander angeordneten Stromschienen mit ihrem dem Kathodenrand zugewandten Ende ggf. über eine Sammelschiene mit einer äußeren Stromzuführung verbunden sind. Bei dieser Ausfüh-

rungsform sind selbstverständlich nur die - in der Längsrichtung der Kathode gesehen - benachbarten Stromschienen an jeweils einem Verbindungspunkt mit einer äußeren Stromzuführung verbunden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst die Elektrolysezelle 2 bis 60, bevorzugt 10 bis 48, besonders bevorzugt 16 bis 40, ganz besonders bevorzugt 20 bis 40 und höchst bevorzugt 36 parallel und in festem Abstand zueinander angeordnete, sich über die gesamte Breite der Kathode erstreckende und die Kathode von deren Unterseite stromzuführend kontaktierende Stromschienen und 2 bis 6 äußere Stromzuführungen.

Dabei kann die Kathode der Elektrolysezelle beispielsweise aus 2 bis 60, bevorzugt 10 bis 48, besonders bevorzugt 16 bis 40, ganz besonders bevorzugt 20 bis 40 und höchst bevorzugt 36 nebeneinander angeordneten Kathodenblöcken zusammengesetzt sein, wobei jeder der Kathodenblöcke an seiner Unterseite mindestens eine sich in Längsrichtung des Kathodenblocks bzw. in der Breitenrichtung der Kathode erstreckende Nut aufweist, in der mindestens eine Stromschiene angeordnet ist.

Um die Gleichmäßigkeit der Verteilung der elektrischen Stromdichte über die Kathodenoberfläche noch weiter zu steigern, und insbesondere, um eine Überhöhung der elektrischen Stromdichte in den Randbereichen der Kathodenoberseite zu verhindern, wird es in weiterer Fortbildung des Erfindungsgedankens vorgeschlagen, dass jede der Nuten einen rechteckigen Querschnitt und eine über ihre Länge variierende Tiefe aufweist, wobei jede der Nuten an ihrem längsseitigen Ende eine geringere Tiefe aufweist als in ihrer Mitte. Dabei kann eine Nut - im Querschnitt der Kathode betrachtet - zum Beispiel eine im Wesentlichen dreieckförmige Gestalt aufweisen.

Um insbesondere auch innerhalb der Randbereiche der Kathode eine gleichmäßige Verteilung der elektrischen Stromdichte zu erreichen, wird es in Weiterbildung des Erfindungsgedankens vorgeschlagen, dass wenigstens einer der beiden Randbereiche und bevorzugt beide Randbereiche der Kathode - im Querschnitt der Kathode und in der Breitenrichtung der Kathode betrachtet - zur Mitte der Kathode hin abfallend geneigt verläuft/verlaufen, wobei der Neigungswinkel des Randbereichs bzw. der Randbereiche bezogen auf die Horizontalebene bevorzugt zwischen 2° und 45°, besonders bevorzugt zwischen 3° und 20° und ganz besonders bevorzugt zwischen 10° und 15° beträgt.

Dabei ist es bevorzugt, wenn wenigstens einer der beiden Randbereiche und bevorzugt beide der Randbereiche über wenigstens 30 %, bevorzugt über wenigstens 50 %, besonders bevorzugt über wenigstens 75 % und ganz besonders bevorzugt über 100 % dessen/deren Breite - im Querschnitt der Kathode und in der Breitenrichtung der Kathode betrachtet - zur Mitte der Kathode hin abfallend geneigt verläuft/verlaufen. Wenigstens einer der Randbereiche kann aber auch im Wesentlichen horizontal verlaufen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung verläuft der Bodenbereich der Kathode zumindest bereichsweise eben, wobei die Oberfläche des Bodenbereichs gegenüber der in der Vertikalrichtung verlaufenden Ebene einen Winkel zwischen -20° und 20°, bevorzugt zwischen -10° und 10° und besonders bevorzugt von 0° aufweist.

Bevorzugt ist die Oberseite der Kathode über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode - im Querschnitt der Kathode betrachtet - wannenförmig ausgestaltet, wobei die Wanne zwei Randbereiche und einen, in Breitenrichtung der Kathode gesehen, zwischen den Randbereichen angeordneten und bezogen auf die Randbereiche ab-

gesenkten Bodenbereich aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen und dem Bodenbereich jeweils ein den entsprechenden Randbereich und den Bodenbereich verbindender Seitenwandbereich vorgesehen ist.

Dabei ist es bevorzugt, wenn i) die Breite wenigstens eines des Bodenbereichs und der Randbereiche über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode variiert, und/oder ii) die von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe der Oberseite der Kathode über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode variiert.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Kathode für eine Elektrolysezelle, insbesondere für eine Elektrolysezelle zur Herstellung von Aluminium, wobei die Oberseite der Kathode im Querschnitt der Kathode betrachtet wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche und einen, in Breitenrichtung der Kathode gesehen, zwischen den Randbereichen angeordneten und bezogen auf die Randbereiche abgesenkten Bodenbereich aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen und dem Bodenbereich jeweils ein den entsprechenden Randbereich und den Bodenbereich verbindender Seitenwandbereich vorgesehen ist, wobei i) die Breite wenigstens eines des Bodenbereichs und der Randbereiche über die Länge der Kathode variiert, und/oder ii) die von der Unterseite der Kathode aus bestimmte Höhe der Oberseite der Kathode über die Länge der Kathode variiert. Die vorstehend in Bezug auf die in der erfindungsgemäßen Elektrolysezelle enthaltene Kathode beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen gelten auch für die erfindungsgemäße Kathode.

Nachfolgend wird die Erfindung rein beispielhaft anhand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines Abschnitts einer Kathode einer Elektrolysezelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine teilweise geschnittene perspektivische Ansicht einer Kathode einer Elektrolysezelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3a eine teilweise geschnittene perspektivische Ansicht einer Kathode einer Elektrolysezelle gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

Fig. 3b eine Vorderansicht der Kathode von Fig. 3a und

Fig. 4 eine Draufsicht auf eine Elektrolysezelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Kathode 10 einer Elektrolysezelle gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Die aus einem kohlenstoffhaltigen Material zusammengesetzte Kathode 10 weist eine Oberseite 12 auf, auf der bei dem Betrieb der Elektrolysezelle beispielsweise nach dem Hall-Héroult-Verfahren die Schicht aus flüssigem Aluminium der Elektrolysezelle angeordnet ist. In der Praxis ist die Kathode 10 aus mehreren, in Längsrichtung y der Kathode gesehen, nebeneinander angeordneten Kathodenblöcken zusammengesetzt, wobei die Längsrichtungen der einzelnen Kathoden-

blöcke jeweils in der Breitenrichtung x der Kathode 10 verlaufen. In der Fig. 1 nicht gezeigt sind die Stromschienen, die die Kathode 10 von deren Unterseite 14 her stromzuführend kontaktieren und mit wenigstens einer äußeren Stromzuführung elektrisch leitend verbunden sind. Dabei sind die Stromschienen bevorzugt jeweils in einer Nut eingesetzt, welche in jedem Kathodenblock vorgesehen ist und in der Breitenrichtung x der Kathode 10, d.h. in Längsrichtung des jeweiligen Kathodenblocks, verläuft.

Wie in der Fig. 1 dargestellt, ist die Oberseite 12 der Kathode 10 - im Querschnitt der Kathode 10 betrachtet - wannenförmig ausgestaltet, wobei die Wanne zwei Randbereiche 16, 16' und einen, in der Breitenrichtung x der Kathode 10 gesehen, zwischen den Randbereichen 16, 16' angeordneten und bezogen auf die Randbereiche 16, 16' abgesenkten Bodenbereich 18 aufweist, wobei zwischen den Randbereichen 16, 16' und dem Bodenbereich 18 jeweils ein den entsprechenden Randbereich 16, 16' und den Bodenbereich 18 verbindender Seitenwandbereich 20, 20' vorgesehen ist. Bei dem Betrieb der Elektrolysezelle beispielsweise nach dem Hall-Héroult-Verfahren sind sowohl die Randbereiche 16, 16' als auch der Bodenbereich 18 und die Seitenwandbereiche 20, 20' der Oberseite 12 von der Schicht aus flüssigem Aluminium bedeckt. Dabei sind die Randbereiche 16, 16', der Bodenbereich 18 und die Seitenwandbereiche 20, 20' der Kathode 10 bevorzugt so dimensioniert, dass das Badvolumen, also das Volumen zwischen der Oberseite der Kathode 10 und der Unterseite der Anode, zumindest annähernd dem Badvolumen einer eine herkömmliche Kathode aufweisenden Elektrolysezelle entspricht.

Die in der Fig. 1 gezeigten Randbereiche 16, 16' der Kathode 10 weisen eine in Breitenrichtung x der Kathode 10 gemessene Breite b auf, die - wie aus der Fig.1 ersichtlich - über die in Längsrichtung y der Kathode 10 gemessene Länge variiert. Genauer weisen die in der Fig. 1 gezeigten Ausschnitte der Randbereiche 16, 16' fünf Längsabschnitte L_1-L_5 auf, wobei die Breite b der Randbereiche 16, 16' inner-

halb jedes Längsabschnitts L_1-L_5 jeweils gleich ist und von Längsabschnitt L_1-L_5 zu Längsabschnitt L_1-L_5 variiert, und zwar so, dass sich dabei eine, in der Längsrichtung y der Kathode 10 betrachtet, stufenförmige Variation der Breiten b der Randbereiche 16, 16' ergibt.

Dabei ist die in der Fig. 1 gezeigte Kathode 10 symmetrisch zu ihrer parallel zu der Längsrichtung y verlaufenden Mittellängsebene ausgestaltet und die Breite b des Bodenbereichs 18 variiert somit ebenso in der Längsrichtung y der Kathode 10 wie die der Randbereiche 16, 16'.

In der Fig. 2 ist eine weitere Ausführungsform einer Kathode 10 für eine Elektrolysezelle in teilweise geschnittener perspektivischer Ansicht dargestellt.

Diese Ausführungsform ähnelt der in der Fig. 1 gezeigten Ausführungsform dahingehend, dass die Kathode 10 - im Querschnitt der Kathode 10 betrachtet - wannenförmig ausgestaltet, wobei die Wanne zwei Randbereiche 16 aufweist, von denen in der geschnittenen Darstellung von Fig. 2 nur der linke gezeigt ist, und einen, in Breitenrichtung x der Kathode 10 gesehen, zwischen den Randbereichen 16 angeordneten und bezogen auf die Randbereiche 16 abgesenkten Bodenbereich 18, wobei zwischen den Randbereichen 16 und dem Bodenbereich 18 jeweils ein den entsprechenden Randbereich 16 und den Bodenbereich 18 verbindender Seitenwandbereich 20 vorgesehen ist. Im Unterschied zu der in der Fig. 1 dargestellten Ausführungsform variiert bei der in der Fig. 2 gezeigten Ausführungsform nicht die Breite der Rand- und Bodenbereiche 16, 18 in der Längsrichtung y der Kathode 10, sondern die von der Unterseite 14 der Kathode 10 aus in der Vertikalrichtung z gemessene Höhe h der Oberseite 12 der Kathode 10 in der Längsrichtung y der Kathode 10. Genauer weist der in Fig. 2 gezeigte Ausschnitt der Oberseite 12 der Kathode 10 drei Längsabschnitte L_1-L_3 auf, wobei die Höhe h der Oberseite 12 der Kathode 10 innerhalb jedes der Längsabschnitts L_1-L_3 - in der Längsrichtung y der Kathode 10 - gleich ist, aber von Längsabschnitt L_1-L_3 zu

Längsabschnitt L_1-L_3 variiert, und zwar so, dass sich dabei eine, in der Längsrichtung y der Kathode 10 betrachtet, stufenförmige Variation der Höhe h der Oberseite 12 der Kathode 10 sowohl in den Randbereichen 16 als auch in dem Bodenbereich 18 und in den Seitenwandbereichen 20 ergibt.

Wie aus der Fig. 2 ersichtlich, ist der Randbereich 16, in der Breitenrichtung x der Kathode 10 betrachtet, gegenüber der Horizontalen um einen Winkel α geneigt, der vorliegend etwas weniger als 10° beträgt.

In der Fig. 3a ist in perspektivischer, teilweise geschnittener Darstellung ein Abschnitt einer Kathode 10 gemäß einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt, die weitgehend der in der Fig. 2 gezeigten Ausführungsform entspricht, nämlich darin, dass die Höhe h der Oberseite 12 der Kathode 10 - in der Längsrichtung y der Kathode 10 gesehen - variiert; allerdings unterscheidet sich die in der Fig. 3a gezeigte Kathode von der in der Fig. 2 dargestellten dahingehend, dass die Höhe h des Randbereichs 16 einerseits und die Höhe h des Bodenbereichs 18 andererseits in entgegengesetzter Richtung variieren, nämlich die Höhe h des Randbereichs 16 in der vom Längsabschnitt L_1 zu dem Längsabschnitt L_2 verlaufenden Längsrichtung y zunimmt, wohingegen die Höhe h des Bodenbereichs 18 in dieser Richtung abnimmt.

Die Fig. 3b zeigt den Kathodenausschnitt der Fig. 3b in der Längsrichtung y von der Vorderseite der Kathode 10 her betrachtet und veranschaulicht die entgegengesetzt gerichtete Änderung der Höhe h des Randbereichs 16 und des Bodenbereichs 18. Dabei zeigt die gestrichelte Linie den von dem Längsabschnitt L_1 der Kathode 10 verdeckten Verlauf des Längsabschnitts L_2.

In der Fig. 4 ist eine Elektrolysezelle gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung in Draufsicht gezeigt. Dabei sind die Anodenstruktur und der mit der Anodenstruktur verbundene Teil der Stromversorgung nicht gezeigt, um den Blick

auf die Kathode 10 und die darunter bzw. daneben angeordneten Komponenten freizugeben.

Die Kathode 10 weist im Querschnitt die Form einer Wanne mit zwei Randbereichen 16, 16', mit einem Bodenbereich 18 und mit zwischen dem Bodenbereich 18 und den Randbereichen 16, 16' angeordneten Seitenwandbereichen 20, 20' auf. Die Kathode 10 an sich entspricht dabei der in der Fig. 1 gezeigten Ausführungsform, und zwar insbesondere insoweit als die in der Fig. 4 gezeigte Kathode 10 mehrere Längsabschnitte L_1 bis L_9 aufweist, wobei die Breite b der einzelnen Randbereiche 16, 16' und des Bodenbereichs 18 in der Längsrichtung y, der Kathode 10 variieren.

Die Elektrolysezelle umfasst neun barrenförmig ausgestaltete Stromschienen 22, 22', welche jeweils die Kathode 10 von deren Unterseite her stromzuführend kontaktieren und sich mit ihrer Längsrichtung jeweils in der Breitenrichtung x der Elektrolysezelle erstrecken. Zudem umfasst die Elektrolysezelle zwei Sammelschienen 24, 24', welche so angeordnet sind, dass jede dieser Sammelschienen 24, 24' jeweils mit einem Ende aller Stromschienen 22, 22' verbunden ist. Dementsprechend verlaufen die Sammelschienen 24, 24' in der Längsrichtung y seitlich versetzt zu der Kathode 10.

Jeder Sammelschiene 24, 24' sind jeweils zwei äußere Stromzuführungen 26, 26' bzw. 26", 26'" zugeordnet, durch welche den an der Unterseite 14 der Kathode 10 angeordneten Stromschienen 22, 22' von außen Strom zugeführt wird. Dabei sind die äußeren Stromzuführungen 26, 26', 26", 26'" jeweils an einem Verbindungspunkt 28, 28', 28", 28'" mit einer der Sammelschienen 24, 24' und dadurch an diesem Punkt indirekt auch mit den mit dieser Sammelschiene 24, 24' verbundenen Stromschienen 22, 22' verbunden.

Wie aus der Fig. 4 ersichtlich, sind die Abstände zwischen den einzelnen Verbindungspunkten 28, 28', 28'', 28''' und den Eintrittspunkten der einzelnen Stromschienen 22, 22' in die Kathode 10, also die elektrischen Pfade P_1-P_3, über welche der elektrische Strom von den einzelnen Verbindungspunkten 28, 28', 28'', 28''' zu den Eintrittspunkten der einzelnen Stromschienen 22, 22' in die Randbereiche 16, 16' der Kathode 10 fließen muss, unterschiedlich lang. Dabei weist ein Längsabschnitt L_1-L_9 der Kathode 10, der einen kürzeren elektrischen Pfad P_1-P_3 zu dem diesem Längsabschnitt L_1 bis L_9 nächstgelegenen Verbindungspunkt 28, 28', 28'', 28''' aufweist, in seinen Randbereichen 16, 16' eine größere Breite b auf als ein Längsabschnitt L_1-L_9 der Kathode 10 mit einem längeren elektrischen Pfad zu dem diesem Längsabschnitt nächstgelegenen Verbindungspunkt 28, 28', 28'', 28'''. Gleichermaßen weist ein Längsabschnitt L_1-L_9 der Kathode 10, der einen kürzeren elektrischen Pfad P_1-P_3 zu dem diesem Längsabschnitt L_1 bis L_9 nächstgelegenen Verbindungspunkt 28, 28', 28'', 28''' aufweist, in seinem Bodenbereich 18 eine geringere Breite b auf als ein Längsabschnitt L_1-L_9 der Kathode 10 mit einem längeren elektrischen Pfad zu dem diesem Längsabschnitt nächstgelegenen Verbindungspunkt 28, 28', 28'', 28'''.

Bezugszeichenliste

10	Kathode
12	Oberseite
14	Unterseite
16, 16'	Randbereich
18	Bodenbereich
20, 20'	Seitenwandbereich
22, 22'	Stromschiene
24, 24'	Sammelschiene
26, 26', 26'', 26'''	äußere Stromzuführung
28, 28', 28'', 28'''	Verbindungspunkt
x, y, z	Breiten-, Längs- und Vertikalrichtung
b	Breite
l	Länge
h	Höhe
L_1-L_9	Längsabschnitt
P_1-P_3	elektrischer Pfad
α	Neigungswinkel

Patentansprüche

1. Elektrolysezelle, insbesondere zur Herstellung von Aluminium, umfassend eine Kathode (10), eine auf der Oberseite (12) der Kathode (10) angeordnete Schicht aus flüssigem Aluminium, darauf eine Schmelzeschicht, oberhalb der Schmelzeschicht eine Anode, wenigstens eine und bevorzugt wenigstens zwei die Kathode (10) von deren Unterseite (14) stromzuführend kontaktierende Stromschiene(n) (22, 22') und wenigstens eine äußere Stromzuführung (26, 26', 26", 26'"), wobei jede der wenigstens einen äußeren Stromzuführung (26, 26', 26", 26'") an jeweils einem Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28'") mit jeweils wenigstens einer und bevorzugt wenigstens zwei der Stromschiene(n) (22, 22') elektrisch leitend verbunden ist, wobei die Oberseite (12) der Kathode (10) im Querschnitt der Kathode (10) betrachtet wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche (16, 16') und einen, in Breitenrichtung (x) der Kathode (10) gesehen, zwischen den Randbereichen (16, 16') angeordneten und bezogen auf die Randbereiche (16, 16') abgesenkten Bodenbereich (18) aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen (16, 16') und dem Bodenbereich (18) jeweils ein den entsprechenden Randbereich (16, 16') und den Bodenbereich (18) verbindender Seitenwandbereich (20, 20') vorgesehen ist, wobei i) die Breite (b) wenigstens eines des Bodenbereichs (18) und der Randbereiche (16, 16') über die Länge der Kathode (10) variiert, und/oder ii) die von der Unterseite (14) der Kathode (10) aus bestimmte Höhe (h) der Oberseite (12) der Kathode (10) über die Länge der Kathode (10) variiert.

2. Elektrolysezelle nach Anspruch 1,
dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass

wenigstens ein Randbereich (16, 16') der Kathode (10) wenigstens zwei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Breite (b) umfasst, wobei der Längsabschnitt (L_1-L_9) des Randbereichs (16, 16'), welcher über den kürzesten elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist, die größte Breite (b) von allen Längsabschnitten (L_1-L_9) des Randbereichs (16, 16') aufweist.

3. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass wenigstens ein Randbereich (16, 16') der Kathode (10) wenigstens drei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Breite (b) umfasst, wobei jeder der Längsabschnitte (L_1-L_9), welcher über einen längeren elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt (L_1-L_9), eine geringere Breite (b) als der andere Längsabschnitt (L_1-L_9) aufweist.

4. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass der Bodenbereich (18) der Kathode (10) wenigstens zwei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Breite (b) umfasst, wobei der Längsabschnitt (L_1-L_9) des Bodenbereichs (18), welcher über den kürzesten elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist, die geringste Breite (b) von allen Längsabschnitten (L_1-L_9) des Bodenbereichs (18) aufweist.

5. Elektrolysezelle zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass der Bodenbereich (18) der Kathode (10) wenigstens drei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Breite (b) umfasst, wobei je-

der der Längsabschnitte (L_1-L_9), welcher über einen längeren elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt (L_1-L_9), eine größere Breite (b) als der andere Längsabschnitt (L_1-L_9) aufweist.

6. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass wenigstens ein Randbereich (16, 16') der Kathode (10) wenigstens zwei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Höhe (h) umfasst, wobei der Längsabschnitt (L_1-L_9) des Randbereichs (16, 16') der Kathode (10), welcher über den kürzesten elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist, die größte von der Unterseite (14) der Kathode (10) aus bestimmte Höhe (h) von allen Längsabschnitten (L_1-L_9) des Randbereichs (16, 16') aufweist und/oder der Bodenbereich (18) der Kathode (10) wenigstens zwei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Höhe (h) umfasst, wobei der Längsabschnitt (L_1-L_9) des Bodenbereichs (18) der Kathode (10), welcher über den kürzesten elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist, die größte von der Unterseite (14) der Kathode (10) aus bestimmte Höhe (h) von allen Längsabschnitten (L_1-L_9) des Bodenbereichs (18) aufweist.

7. Elektrolysezelle nach Anspruch 6, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass der Randbereich (16, 16') der Kathode (10) wenigstens drei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Höhe (h) umfasst, wobei jeder der Längsabschnitte (L_1-L_9), welcher über einen längeren elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem für ihn nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28", 28"') verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt (L_1-L_9), eine geringere Höhe (h) als der andere Längsabschnitt (L_1-L_9) aufweist und/oder der

Bodenbereich (18) der Kathode (10) wenigstens drei Längsabschnitte (L_1-L_9) mit jeweils voneinander verschiedener Höhe (h) umfasst, wobei jeder der Längsabschnitte (L_1-L_9), welcher über einen längeren elektrischen Pfad (P_1-P_3) mit dem nächstliegenden Verbindungspunkt (28, 28', 28'', 28''') verbunden ist als ein anderer Längsabschnitt (L_1-L_9), eine geringere Höhe (h) als der andere Längsabschnitt (L_1-L_9) aufweist.

8. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Breite (b) wenigstens eines der Randbereiche (16, 16') der Kathode (10) zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder
. das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Höhe (h) wenigstens eines der Randbereiche (16, 16') der Kathode (10) zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder
das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Breite (b) des Bodenbereichs (18) der Kathode (10) zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt und/oder
das Verhältnis der maximalen zu der minimalen Höhe (h) des Bodenbereichs (18) der Kathode (10) zwischen 2:1 und 1,05:1, bevorzugt zwischen 1,5:1 und 1,05:1 und besonders bevorzugt zwischen 1,3:1 und 1,05:1 beträgt.

9. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass
die wenigstens eine und bevorzugt wenigstens zwei die Kathode (10) von deren Unterseite (14) stromzuführend kontaktierenden Stromschiene(n)

(22, 22') parallel und in festem Abstand zueinander angeordnet sind, sich über die gesamte Breite (b) der Kathode (10) erstrecken und die Kathode (10) von deren Unterseite (14) stromzuführend kontaktieren, wobei die einzelnen Stromschienen (22, 22') mit einem oder beiden ihrer Enden mit jeweils einer Sammelschiene (24, 24') elektrisch leitend verbunden sind und die Sammelschiene(n) (24, 24') mit einer oder mehreren äußeren Stromzuführungen (26, 26', 26'', 26''') elektrisch leitend verbunden ist/sind.

10. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass diese 2 bis 60, bevorzugt 10 bis 48, besonders bevorzugt 16 bis 40, ganz besonders bevorzugt 20 bis 40 und höchst bevorzugt 36 parallel und in festem Abstand zueinander angeordnete, sich über die gesamte Breite (b) der Kathode (10) erstreckende und die Kathode (10) von deren Unterseite (14) stromzuführend kontaktierende Stromschienen (22, 22') und 2 bis 6 äußere Stromzuführungen (26, 26', 26'', 26''') umfasst.

11. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass die Kathode (10) aus 2 bis 60, bevorzugt 10 bis 48, besonders bevorzugt 16 bis 40, ganz besonders bevorzugt 20 bis 40 und höchst bevorzugt 36 nebeneinander angeordneten Kathodenblöcken zusammengesetzt ist, wobei jeder der Kathodenblöcke an seiner Unterseite mindestens eine sich in Längsrichtung des Kathodenblocks bzw. in der Breitenrichtung (x) der Kathode (10) erstreckende Nut aufweist, in der mindestens eine Stromschiene (22, 22') angeordnet ist.

12. Elektrolysezelle nach Anspruch 11, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass

jede der Nuten einen rechteckigen Querschnitt und eine über ihre Länge variierende Tiefe aufweist, wobei jede der Nuten an ihrem längsseitigen Ende eine geringere Tiefe aufweist als in ihrer Mitte.

13. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass wenigstens einer der beiden Randbereiche (16, 16') und bevorzugt beide Randbereiche (16, 16'), im Querschnitt der Kathode (10) und in der Breitenrichtung (x) der Kathode (10) betrachtet, zur Mitte der Kathode (10) hin abfallend geneigt verläuft/verlaufen, wobei der Neigungswinkel (α) des Randbereichs (16, 16') bzw. der Randbereiche (16, 16') bezogen auf die Horizontalebene bevorzugt zwischen 2° und 45°, besonders bevorzugt zwischen 3° und 20° und ganz besonders bevorzugt zwischen 10° und 15° beträgt.

14. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass wenigstens einer der beiden Randbereiche (16, 16') und bevorzugt beide der Randbereiche (16, 16') über wenigstens 30 %, bevorzugt über wenigstens 50 %, besonders bevorzugt über wenigstens 75 % und ganz besonders bevorzugt über 100 % dessen/deren Breite (b), im Querschnitt der Kathode (10) und in der Breitenrichtung (x) der Kathode (10) betrachtet, zur Mitte der Kathode (10) hin abfallend geneigt verläuft/verlaufen.

15. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass der Bodenbereich (18) zumindest bereichsweise eben verläuft, wobei die Oberfläche des Bodenbereichs (18) gegenüber der in der Vertikalrichtung (z) verlaufenden Ebene einen Winkel zwischen -20° und 20°, bevorzugt zwischen -10° und 10° und besonders bevorzugt von 0° aufweist.

16. Elektrolysezelle nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass die Oberseite (12) der Kathode (10) über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode (10), im Querschnitt der Kathode (10) betrachtet, wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche (16, 16') und einen, in Breitenrichtung (x) der Kathode (10) gesehen, zwischen den Randbereichen (16, 16') angeordneten und bezogen auf die Randbereiche (16, 16') abgesenkten Bodenbereich (18) aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen (16, 16') und dem Bodenbereich (18) jeweils ein den entsprechenden Randbereich (16, 16') und den Bodenbereich (18) verbindender Seitenwandbereich (20, 20') vorgesehen ist.

17. Elektrolysezelle nach Anspruch 16, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , dass i) die Breite (b) wenigstens eines des Bodenbereichs (18) und der Randbereiche (16, 16') über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode (10) variiert, und/oder ii) die von der Unterseite (14) der Kathode (10) aus bestimmte Höhe (h) der Oberseite (12) der Kathode (10) über zumindest 25 %, bevorzugt zumindest 50 %, insbesondere bevorzugt zumindest 75 %, besonders bevorzugt zumindest 90 % und höchst bevorzugt annähernd 100 % der Länge der Kathode (10) variiert.

18. Kathode für eine Elektrolysezelle, insbesondere für eine Elektrolysezelle zur Herstellung von Aluminium, wobei die Oberseite (12) der Kathode (10) im Querschnitt der Kathode (10) betrachtet wannenförmig ausgestaltet ist, wobei die Wanne zwei Randbereiche (16, 16') und einen, in Breitenrichtung (x)

der Kathode (10) gesehen, zwischen den Randbereichen (16, 16') angeordneten und bezogen auf die Randbereiche (16, 16') abgesenkten Bodenbereich (18) aufweist, wobei zwischen den beiden Randbereichen (16, 16') und dem Bodenbereich (18) jeweils ein den entsprechenden Randbereich (16, 16') und den Bodenbereich (18) verbindender Seitenwandbereich (20, 20') vorgesehen ist, wobei i) die Breite (b) wenigstens eines des Bodenbereichs (18) und der Randbereiche (16, 16') über die Länge der Kathode (10) variiert, und/oder ii) die von der Unterseite (14) der Kathode (10) aus bestimmte Höhe (h) der Oberseite (12) der Kathode (10) über die Länge der Kathode (10) variiert.

Fig. 1

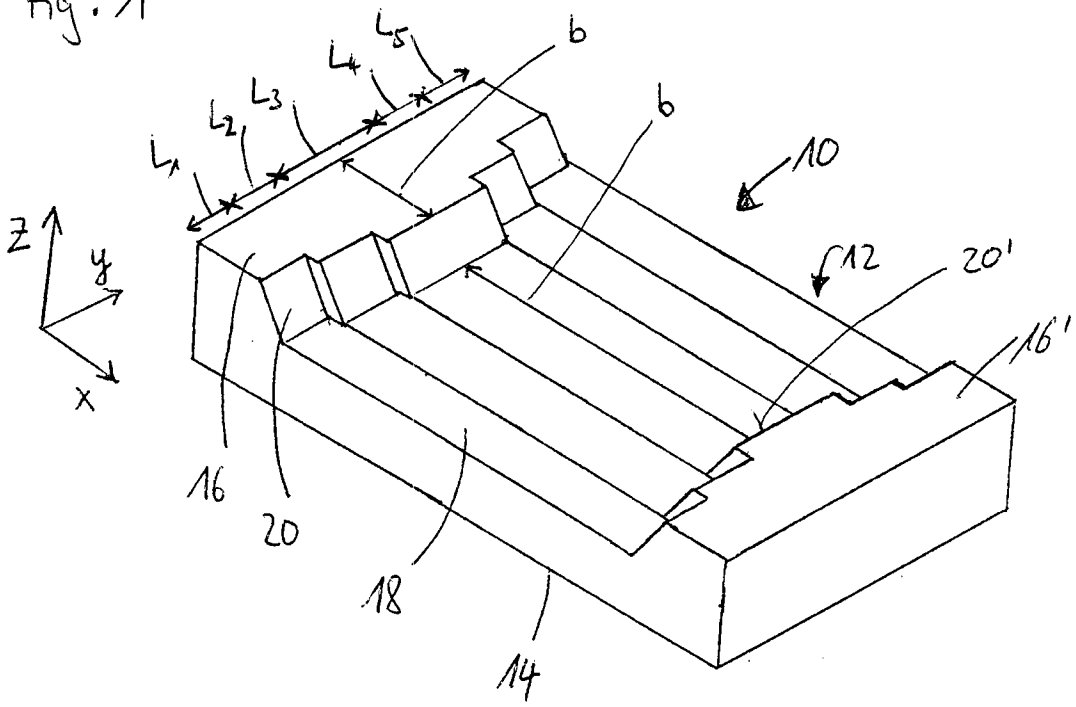

L5
L4
L3
L2
L1
b
b
10
12
20'
16'
z
y
x
16
20
18
14

Fig. 2

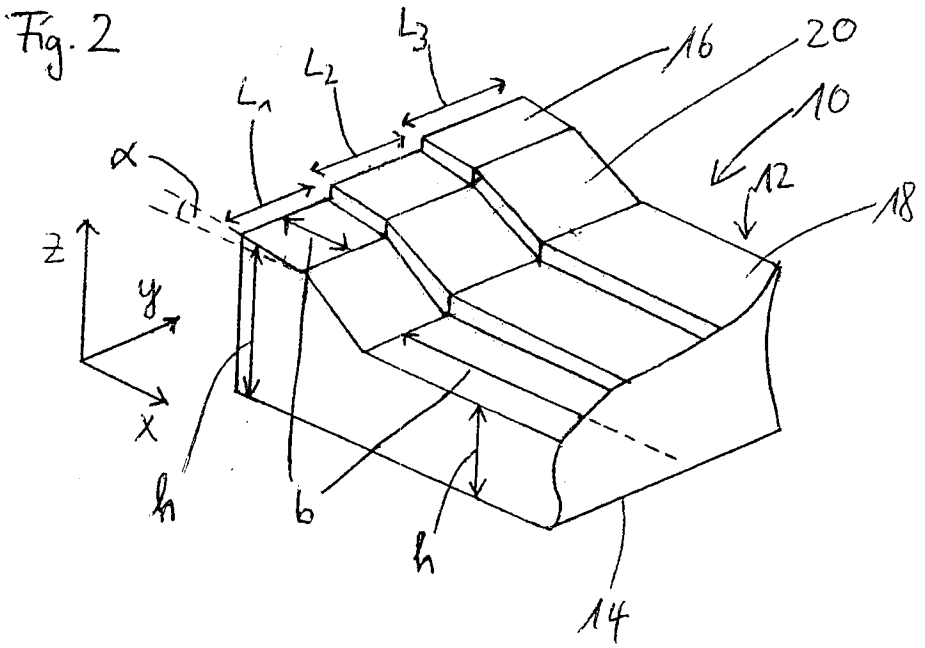

L3
L2
L1
16
20
10
12
18
α
z
y
x
h
b
h
14

Fig. 3a)

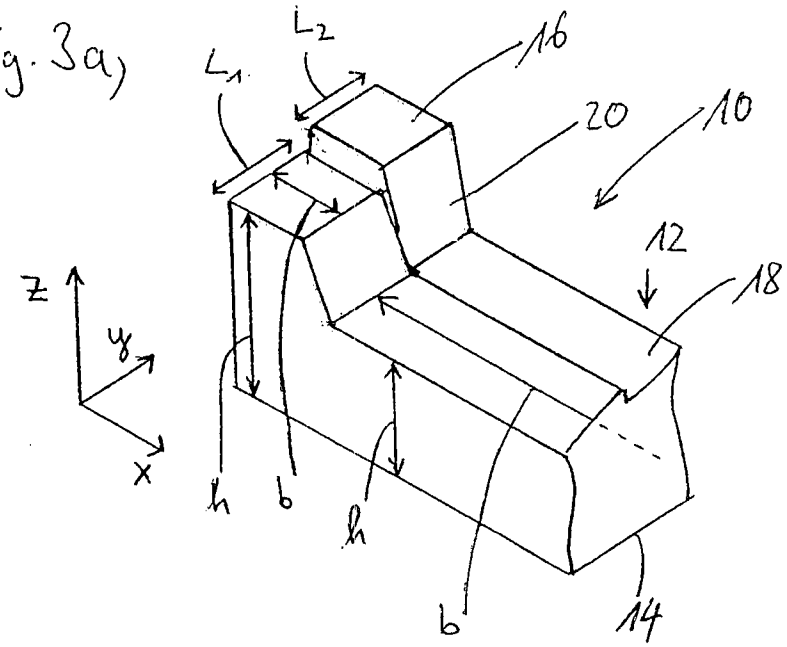


Fig. 3b

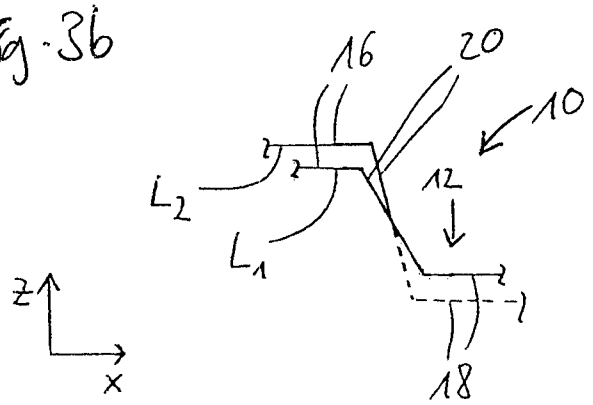
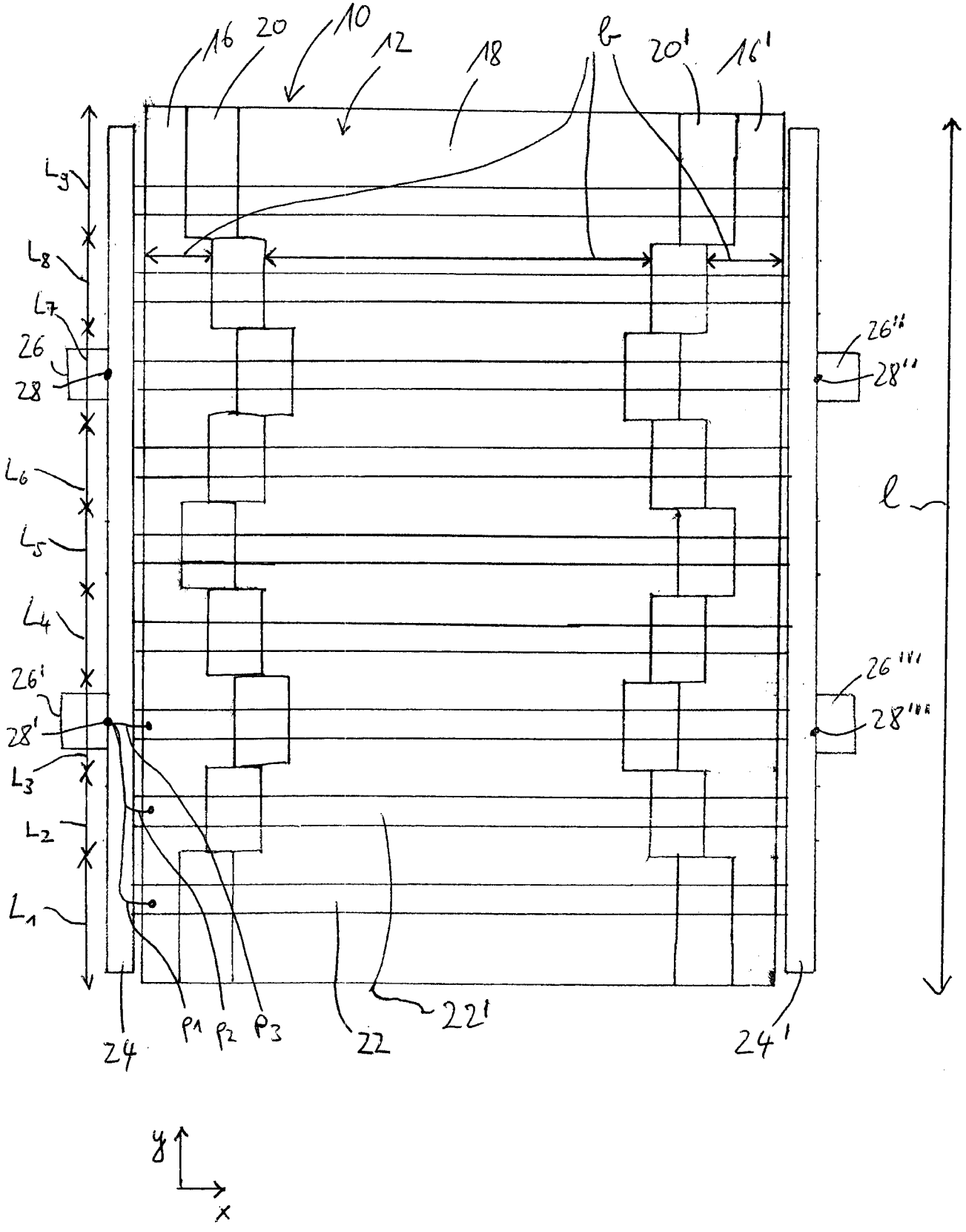


Fig. 4


16
20
10
12
18
l
20'
16'
L9
L8
L7
26
28
L6
L5
L4
26'
28'
L3
L2
L1
26''
28''
l
26'''
28'''
24
p1
p2
p3
22
22'
24'
y
x

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/072170

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C25C3/08
ADD.

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/056826 A1 (FENG NAIXIANG [CN]) 10 March 2011 (2011-03-10) abstract; figures 1,2	1,6-16, 18
X	WO 99/02764 A1 (MOLTECH INVENT SA [LU]; NORA VITTORIO DE [BS]; DURUZ JEAN JACQUES [CH]) 21 January 1999 (1999-01-21) abstract; figure 5	1,6-16, 18
A	EP 1 233 083 A1 (ALCAN TECH & MAN AG [CH]) 21 August 2002 (2002-08-21) paragraphs [0003] - [0006], [0012], [0016], [0020] - [0022]; figures 1,2,8	1-18
X,P	WO 2012/107403 A1 (SGL CARBON SE [DE]; HILTMANN FRANK [DE]) 16 August 2012 (2012-08-16) page 15 - page 16; figure 1	1,6-8,18

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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
24 April 2013	06/05/2013

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Hammerstein, G

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/072170

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X,P	WO 2012/025498 A1 (SGL CARBON SE [DE]; HILTMANN FRANK [DE]) 1 March 2012 (2012-03-01) page 9; figure 1A -----	1,6-8,18

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2012/072170

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011056826 A1	10-03-2011	CN 101413136 A	22-04-2009
		US 2011056826 A1	10-03-2011
		WO 2010040270 A1	15-04-2010
WO 9902764 A1	21-01-1999	AU 8031398 A	08-02-1999
		CA 2295495 A1	21-01-1999
		DE 69837966 T2	28-02-2008
		EP 0996773 A1	03-05-2000
		NO 20000095 A	06-03-2000
		WO 9902764 A1	21-01-1999
EP 1233083 A1	21-08-2002	EP 1233083 A1	21-08-2002
		WO 02064860 A1	22-08-2002
WO 2012107403 A1	16-08-2012	DE 102011004010 A1	16-08-2012
		WO 2012107403 A1	16-08-2012
WO 2012025498 A1	01-03-2012	CA 2808243 A1	01-03-2012
		DE 102010039638 A1	23-02-2012
		WO 2012025498 A1	01-03-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/072170

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C25C3/08
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C25C

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/056826 A1 (FENG NAIXIANG [CN]) 10. März 2011 (2011-03-10) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2	1,6-16, 18
X	WO 99/02764 A1 (MOLTECH INVENT SA [LU]; NORA VITTORIO DE [BS]; DURUZ JEAN JACQUES [CH]) 21. Januar 1999 (1999-01-21) Zusammenfassung; Abbildung 5	1,6-16, 18
A	EP 1 233 083 A1 (ALCAN TECH & MAN AG [CH]) 21. August 2002 (2002-08-21) Absätze [0003] - [0006], [0012], [0016], [0020] - [0022]; Abbildungen 1,2,8	1-18
X,P	WO 2012/107403 A1 (SGL CARBON SE [DE]; HILTMANN FRANK [DE]) 16. August 2012 (2012-08-16) Seite 15 - Seite 16; Abbildung 1	1,6-8,18

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] 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
24. April 2013	06/05/2013

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

1

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/072170

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X,P	WO 2012/025498 A1 (SGL CARBON SE [DE]; HILTMANN FRANK [DE]) 1. März 2012 (2012-03-01) Seite 9; Abbildung 1A	1,6-8,18

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2012/072170

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011056826 A1	10-03-2011	CN 101413136 A	22-04-2009
		US 2011056826 A1	10-03-2011
		WO 2010040270 A1	15-04-2010
WO 9902764 A1	21-01-1999	AU 8031398 A	08-02-1999
		CA 2295495 A1	21-01-1999
		DE 69837966 T2	28-02-2008
		EP 0996773 A1	03-05-2000
		NO 20000095 A	06-03-2000
		WO 9902764 A1	21-01-1999
EP 1233083 A1	21-08-2002	EP 1233083 A1	21-08-2002
		WO 02064860 A1	22-08-2002
WO 2012107403 A1	16-08-2012	DE 102011004010 A1	16-08-2012
		WO 2012107403 A1	16-08-2012
WO 2012025498 A1	01-03-2012	CA 2808243 A1	01-03-2012
		DE 102010039638 A1	23-02-2012
		WO 2012025498 A1	01-03-2012