

(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
20. Oktober 2016 (20.10.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/166076 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F27B 7/20 (2006.01) F27D 17/00 (2006.01)
C04B 7/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/057958

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. April 2016 (12.04.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 004 577.6
14. April 2015 (14.04.2015) DE

(71) Anmelder: KHD HUMBOLDT WEDAG GMBH
[DE/DE]; Colonia-Allee 3, 51067 Köln (DE).

(72) Erfinder: SCHÜRMANN, Heiko; Heymannstraße 46,
51373 Leverkusen (DE).

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, 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.

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

Veröffentlicht:

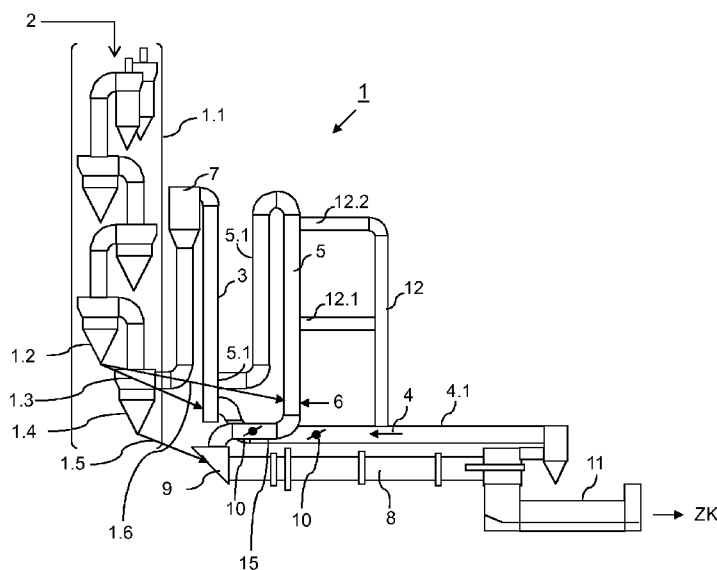
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: PLANT FOR PRODUCTION OF CEMENT WITH REDUCED EMISSION OF POLLUTANT GASES

(54) Bezeichnung : ANLAGE ZUR HERSTELLUNG VON ZEMENT MIT VERMINDERTEM AUSSTOß VON SCHADGASEN

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a plant for production of cement clinker from raw meal, having a calciner for deacidification of the raw meal and a rotary furnace for sintering of the deacidified raw meal to give cement clinker, wherein the deacidified raw meal, after passing through the calciner, flows through a cyclone preheating stage into the rotary furnace, and wherein a reactor connected upstream of the calciner on the flow path of the offgas from the rotary furnace to the calciner is provided, to which an inlet for the offgas from the rotary furnace leads, and the invention relates to a corresponding method of operating such a plant having a calciner and a rotary furnace, wherein the deacidified raw meal, after passing through the calciner, flows through a cyclone preheating stage into the rotary furnace, conducting the offgases from the rotary furnace into a reactor connected upstream of the calciner on the flow path of the offgases from the rotary furnace, wherein fuel is added to the reactor in a superstoichiometric amount in relation to the residence time of the offgases in the reactor, such that carbon dioxide present in the offgases is reduced to carbon monoxide. It is envisaged

in accordance with the invention that at least one input air conduit for the supply of input air, preferably coming from a tertiary air conduit, is provided at at least one point in the reactor. In this way, it is possible to better control the Boudouard reaction that takes place therein.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/166076 A1



Die Erfindung betrifft eine Anlage zur Herstellung von Zementklinker aus Rohmehl, aufweisend einen Calcinator zum Entsäuern des Rohmehls und einen Drehrohrofen zum Sintern des entsäuerten Rohmehls zu Zementklinker, wobei das entsäuerte Rohmehl nach Passage des Calcinators über eine Zyklonvorwärmstufe in den Drehrohrofen strömt, und wobei ein Reaktor vorgesehen ist, der auf dem Strömungsweg des Abgases des Drehrohrofens zum Calcinator dem Calcinator vorgeschaltet ist, zu dem eine Zuleitung für das Abgas des Drehrohrofens führt, und die Erfindung betrifft ein korrespondierendes Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage, aufweisend einen Calcinator und einen Drehrohrofen, wobei das entsäuerte Rohmehl nach Passage des Calcinators über eine Zyklonvorwärmstufe in den Drehrohrofen strömt, Führen der Abgase des Drehrohrofens in einen Reaktor, der auf dem Strömungsweg der Abgase des Drehrohrofens dem Calcinator vorgeschaltet ist, wobei in den Reaktor in Bezug auf die Verweilzeit der Abgase in dem Reaktor überstöchiometrisch Brennstoff zugegeben wird, so dass in den Abgasen enthaltenes Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid reduziert wird. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass mindestens eine Zuluftleitung für die Zuführung von Zuluft, vorzugsweise aus einer Tertiärluftleitung stammend, an mindestens einer Stelle des Reaktors vorgesehen ist. Dadurch lässt sich die dort stattfindende Boudouard-Reaktion besser kontrollieren.

Anlage zur Herstellung von Zement mit vermindertem Ausstoß von Schadgasen

Die Erfindung betrifft eine Anlage zur Herstellung von Zementklinker aus Rohmehl, aufweisend in Materialstromrichtung gesehen mindestens einen Calcinator zum Entsäuern des Rohmehls, und mindestens einen Drehrohrofen zum Sintern des entsäuerten Rohmehls zu Zementklinker, wobei das entsäuerte Rohmehl nach Passage des Calcinator über eine Zyklonvorwärmstufe in den Drehrohrofen strömt, und wobei ein Reaktor vorgesehen ist, der auf dem Strömungsweg des Abgases des Drehrohrofens zum Calcinator dem Calcinator vorgeschaltet ist, zu dem eine Zuleitung für das Abgas des Drehrohrofens führt, und die Erfindung betrifft ein zur Anlage korrespondierendes Verfahren zum Betrieb einer solchen Anlage zur Herstellung von Zementklinker aus Rohmehl, aufweisend in Materialstromrichtung gesehen mindestens einen Calcinator zum Entsäuern des Rohmehls, und mindestens einen Drehrohrofen zum Sintern des entsäuerten Rohmehls zu Zementklinker, wobei das entsäuerte Rohmehl nach Passage des Calcinator über eine Zyklonvorwärmstufe in den Drehrohrofen strömt, Führen der Abgase des Drehrohrofens in einen Reaktor, der auf dem Strömungsweg der Abgase des Drehrohrofens zum Calcinator dem Calcinator vorgeschaltet ist, wobei in den Reaktor in Bezug auf die Verweilzeit der Abgase in dem Reaktor überstöchiometrisch Brennstoff zugegeben wird, so dass in den Abgasen enthaltenes Kohlendioxid (CO_2) zu Kohlenmonoxid (CO) reduziert wird.

Zur Herstellung von Zementklinker wird ein Gemisch aus kalkhaltigem Gestein und aus silikathaltigem Gestein vermahlen und einer Wärmebehandlung unterzogen, bei welcher der Kalk formell von Kohlendioxid (CO_2) befreit und in gebrann-

ten Kalk (CaO) überführt wird. In einem weiteren Schritt wird das durch die formelle CO_2 -Befreiung entsäuerte Rohmehl, das aus dem ursprünglich nicht entsäuerten kalkhaltigem Gestein und aus dem bis hier noch unveränderten silikat-haltigem Gestein besteht, in der Hitze zu verschiedenen Calciumsilikatphasen gesintert.

Die Entsäuerung und auch das Sintern von Rohmehl sind endotherme Prozesse, die zu ihrer Umsetzung Wärmeenergie benötigen. Diese Wärmeenergie kann aus hochwertigen Brennstoffen gewonnen werden. Neben den klassischen, primären Brennstoffen wie beispielsweise Kohle werden im Zementwerk aus Kostengründen in zunehmendem Maße alternative Brennstoffe als Energieträger eingesetzt, welche häufig aus kommunalen oder industriellen Abfällen gewonnen werden.

Die Art der eingangs erwähnten thermischen Behandlung macht es notwendig, dass die Sinterung in einem Drehrohrofen vorgenommen wird, wobei im Drehrohrofen sehr hohe Temperaturen, von mindestens 1.450°C für eine erfolgreiche Sinterung der Calciumsilikatphasen vorherrschen müssen. Um diese hohen Temperaturen im Drehrohrofen zu erzeugen, ist man auf Flammtemperaturen angewiesen, die bis zu 1.800°C heranreichen. Bei der hohen Temperatur wird sowohl im Brennstoff vorkommender Stickstoff, meist in Form von Aminen, und auch in der Verbrennungsluft vorkommender Luftstickstoff zu Stickoxiden (NO_x) verbrannt. Sofern keine Maßnahmen getroffen werden, die entstandenen Stickoxide zu vermeiden oder zu reduzieren, entweichen die Stickoxide mit der Abluft des Drehrohrofens in die freie Atmosphäre, wo sie durch Hydrolyse mit der Luftfeuchtigkeit zu Salpetersäure (HNO_3), salpetriger Säure (HNO_2) und anderen, sauer reagierenden Stickoxidhydraten umgewandelt werden. Die mit Luftfeuchtigkeit sauer reagierenden Stickoxide (NO_x) sind ursächlich für unerwünschten sauren Regen, der den natürlichen pH-Wert von Waldböden verringert und deren Widerstandskraft gegen Krankheiten schwächt. Um den Ausstoß von Stickoxiden (NO_x) aus Anlagen zur Herstellung von Zement zu verringern, sind verschiedene Maßnahmen bekannt.

In der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2013 006 237 A1 wird eine Anlage und ein Verfahren offenbart, in welchem Abgase des Drehrohrofens einer Anlage zur Herstellung von Zement in einen dem Drehrohrföfen nachgeschalteten Reaktor, der zwischen Drehrohrföfen und Calcinator angeordnet ist, Brennstoff (8) in den Reaktor zugegeben wird. Dabei ist die Menge des zugegebenen Brennstoffes in Bezug auf die Verweilzeit der Abgase in dem Reaktor überstöchiometrisch, so dass in den Abgasen enthaltenes Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid (CO) reduziert wird. Das Kohlenmonoxid (CO) dient als Reduktionsmittel für Stickoxide (NO_x) die im Reaktor unabhängig von der kurzen Verweilzeit im Calcinator chemisch reduziert werden.

In der deutschen Offenlegungsschrift DE 10 2013 006 236 A1 wird eine andere Anlage zur Herstellung von Zementklinker, aufweisend in Materialflussrichtung gesehen mindestens einen Wärmetauscher zum Vorwärmen von Rohmehl, mindestens einen darauf folgenden Calcinator zum Calcinieren des Rohmehls, mindestens einen Drehrohrföfen zum Sintern des calcinierten Rohmehls, mindestens einen Klinkerkühler zum Kühlen des gesinterten Zementklinkers, wo bei eine Brennvorrichtung für sogenannte schwierige Brennstoffe mit unvorhersagbarem, zumindest aber mit wechselhaftem Zünd- und Abbrandverhalten vorhanden ist, welche die schwierigen Brennstoffe gegebenenfalls in Gegenwart von Rohmehl verschwelt, pyrolysiert und/oder verbrennt. Nach der dort gelehrtten Erfindung ist vorgesehen, dass die Brennvorrichtung als vorgeschalteter Topfreaktor oder Schwanenhalsreaktor in umgekehrter U-Form ausgestaltet ist, dessen Gasaustritt (5.2) oberhalb einer Tertiärluftleitung vom Klinkerkühler in den Calcinator mündet. Dadurch wird eine Verbrennung von stückigem und/oder schwer zündbarem Brennstoff ermöglicht, wobei die Abbrandgase der unvollständigen Verbrennung im Reaktor im Calcinator in gasförmiger Form zur weiteren Verbrennung vorliegen.

In beiden Verfahren stammt der zur Brennstoffvergasung, also der zur Pyrolyse von Brennstoff zu Kohlenmonoxid (CO) notwendige Sauerstoff zum einen aus der

Ofeneinlaufkammer (Rest-Sauerstoff aus dem Ofenbrennprozess) sowie von vorhandenem Kohlendioxid CO_2 indirekt über einer im Pyrolyseraum stattfindenden Boudouard-Reaktion (CO_2 Reduktion) am Brennstoff-C zu CO. Dabei ist die Sauerstoffversorgung eine feste Konstante und es besteht keine Möglichkeit, den Vergasungsprozess hinsichtlich der Temperatur und Vergasungsrate zu beeinflussen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, die Kontrolle der Vergasung des Brennstoffes zu verbessern.

Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird bei der Durchführung eines Verfahrens zum Betrieb einer Anlage zur Herstellung von Zement gelöst durch Einführen von Frischluft in den Reaktor an mindestens einer Stelle des Reaktors, wobei die Frischluft vorzugsweise aus einer Tertiärluftleitung stammt, die Reku-perationsluft von einem Drehrohrofen in Materialflussrichtung nachgeschalteten Klinkerkühler zurück in die Anlage führt. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Verfahrenserfindung sind in den Unteransprüchen 6 bis 10 angegeben.

Korrespondierend dazu wird eine Anlage zur Herstellung von Zement vorgeschlagen, in welcher mindestens eine Zuluftleitung von Frischluft an mindestens einer Stelle des Reaktors vorgesehen ist. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Anlage zur Herstellung von Zement sind in den Unteransprüchen 2 bis 5 angegeben.

Nach der Erfindung ist also vorgesehen, dass zwischen dem Drehrohrofen und dem Calcinator ein gegenüber herkömmlichen Anlagen zur Herstellung von Zement zusätzlicher Reaktor dem Calcinator vorgeschaltet ist, in welchem durch überstöchiometrische Zugabe von Brennstoffen Kohlenmonoxid (CO) entsteht. Das bei der Vergasung und/oder Pyrolyse von mitunter schwierigen Brennstoffen mit unvorhersagbarem Zünd- und Abbrandverhalten entstehende Kohlenmonoxid (CO) und auch das durch eine Boudouard-Reaktion entstehende Kohlenmonoxid (CO) durch die Reduktion von Kohlendioxid (CO_2) aus den Abgasen des Dreh-

rohrofens dient bei der weiteren Prozessführung als ein gasförmiges Reduktionsmittel für die Reduktion von NO_x , wobei wieder freier Stickstoff (N_2) und Kohlendioxid (CO_2) entsteht.

Gegenüber den aus den Druckschriften DE 10 2013 006 236 A1 und DE 10 2013 006 237 A1 bekannte Verfahren wird hierbei um eine Frischluftzufuhr, diese bevorzugt aus einer zur Wärmerückgewinnung vorhandenen Tertiärluftleitung, erweitert. Die vorerwärmte Tertiärluft bringt reichlich Wärmeenergie mit, um die schwierigen Brennstoffe sicher zu vergasen oder gar zu pyrolysieren, wobei die Vergasung und Pyrolyse als endothermer Prozess stattfindet. Der bei der endothermen Prozessführung eintretende Temperaturabfall wird kompensiert durch eine in Bezug auf den Brennstoff unterstöchiometrische und in Bezug auf die vorhandene Verbrennungsluft bzw. Sauerstoff überstöchiometrische Verbrennung, die als exothermer Prozess stattfindet. Im Idealfall wird die Prozessführung durch Regelung der Frischluftzufuhr autotherm geführt. Bei der autothermen Prozessführung wird durch exotherme Prozessschritte gerade so viel Verbrennungs- oder Prozesswärme entstehende Prozesswärme erzeugt, wie sie durch ebenfalls im Prozess vorkommende Prozessschritte von endothermen Prozessschritten verzehrt wird.

Zur Kontrolle der Prozessführung ist mindestens eine Regelschleife vorgesehen, in welcher eine Regelvorrichtung in Abhängigkeit von einem oder mehr als einem der nachstehend aufgeführten Parameter die dem Reaktor zugeführte Frischluft regelt: mittlere Reaktortemperatur, Reaktortemperatur im unteren Bereich des Reaktors, Reaktortemperatur im oberen Bereich des Reaktors, NO_x -Ausstoß, Vergasungsrate, gemessen als CO-Konzentration. Die Temperatur kann in einem unteren Bereich des Reaktors gemessen werden, wo eine endotherme Prozessführung stattfindet, und zusätzlich noch in einem oberen Bereich gemessen werden, wo eine exotherme Prozessführung stattfindet. Unter Berücksichtigung der bei der Prozessführung entstehenden Gasmengen und deren spezifischen Wärmekapazitäten kann die Frischluft so geregelt werden, dass die Prozessführung

autotherm geschieht, also gerade so viel Wärmeenergie durch die Vergasung verzehrt wird, wie bei der gegebenenfalls durch Frischluft- oder Sauerstoffzufuhr unterstützten exothermen Prozessführung wieder entsteht. Sinn und Zweck der autothermen Prozessführung ist es, so wenig wie möglich Frischluft oder sauerstoffangereicherte Luft oder gar reinen Sauerstoff (O_2) zuzuführen, wie es möglich ist, ohne die für die Herstellung von Zementklinker notwendige Wärme zu entziehen. Es ist nicht Ziel der Erfindung, durch eine zusätzliche Brennstelle zwischen Drehrohrofen und Calcinator dem Prozess noch mehr Wärme zuzuführen, sondern es ist Ziel der Erfindung, zunächst eine möglichst hohe Kohlenmonoxid (CO)-Konzentration unter bestmöglicher Vergasung der schwierigen Brennstoffe zu erreichen, damit durch die hohe Kohlenmonoxid (CO)-Konzentration die unerwünschten Stickoxide (NO_x) reduziert werden. Das überstöchiometrisch vorhandene Kohlenmonoxid (CO) ist in späteren Prozessstufen durch seine erhöhte Reaktionsfreudigkeit wesentlich leichter zu oxidieren.

Der zwischen Drehrohrofen und Calcinator geschaltete Reaktor ermöglicht eine gezielte Beeinflussung der Prozessparameter, wie Stöchiometrie von Brennstoff und Sauerstoff (O_2) bzw. Luft, aber auch, die Temperatur und die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Verweildauer der Brennstoffe unter den entsprechenden Bedingungen. Zur Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeit lässt sich der Reaktor entsprechend auslegen. Zur Kontrolle der Temperatur ist es vorgesehen, dass Wasserdampf und/oder Wasser (H_2O) in den Reaktionsraum gesprüht wird. Die eigentlich wegen des einhergehenden Wärme- und damit Energieverlustes hervorgerufene Herabsenkung der Temperatur ist aber notwendig, um die Bedingungen für eine Boudouard-Reaktion einzuhalten und um zu verhindern, dass das entstehende Kohlenmonoxid (CO) bis zum Kohlendioxid (CO_2) abbrennt. Als alternative und auch als kumulative Möglichkeit zur Kühlung kann auch vorgesehen sein, schon erwärmtes, aber noch nicht entsäuertes Rohmehl in den Reaktor einzublasen. Die im Reaktor vorherrschende Wärme wird durch die Entsäuerungsreaktion als endothermer Prozess aufgenommen, wodurch

ebenfalls die Temperatur der sehr heißen aus dem Drehrohrofen stammenden gasen herabgesenkt werden können.

Die Erfindung wird anhand der folgenden Figuren näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Anlage zur Herstellung von Zementklinker mit als Schwanenhalsreaktor ausgebildetem Reaktor.

In **Figur 1** ist eine erfindungsgemäße Anlage 1 zur Herstellung von Zementklinker abgebildet, in welche Rohmehl 2 in den Vorwärmer 1.1 aufgegeben wird. Das Rohmehl 2 durchläuft die einzelnen Zyklonvorwärmstufen des Vorwärmers 1.1 von oben nach unten im Gegenstrom der im Vorwärmer 1.1 aufsteigenden Abluft aus dem Calcinator 3. Im Calcinator 3 wird unter Hinzunahme von Brennstoff Wärme erzeugt, die das Rohmehl 2 entsäuert, also in einer endothermen Reaktion aus dem im Rohmehl 2 enthaltenem Kalk (CaCO_3) chemisch formal Kohlendioxid (CO_2) entfernt, so dass gebrannter Kalk als Calciumoxid (CaO) übrig bleibt. Angekommen bei Zyklonvorwärmstufe 1.2 wird das vorerhitzte Rohmehl 2 über eine Leitung 1.3 in den Fuß des Calcinators 3 geleitet, wo das Rohmehl 2 durch aus einem Klinkerkühler 11 stammende Tertiärluft 4 in einer Tertiärluftleitung 4.1 mitgerissen wird. An dieser Stelle fließt das Rohmehl 2 mit dem ansonsten im Gegenstrom strömenden Gas in der Anlage 1 statt, dass es entgegen fließt. Beim gemeinsamen Aufsteigen im Calcinator 3 passieren das Rohmehl 2 aus Leitung 1.3 und die Tertiärluft 4 aus Tertiärluftleitung 4.1 die Einstromsstelle am Gasaustritt 5.2 für das aus dem Reaktor 5 einströmende Abgas der Verschwelung, Pyrolyse und/oder Verbrennung von schwer zündendem Brennstoff 6, das in der hier dargestellten Anlage 1 zur Herstellung von Zementklinker ZK in einem Schwanenhalsreaktor erzeugt wird. Das Abgas aus dem Reaktor 5 brennt im Calcinator 3 und erzeugt dort eine erhebliche Wärmemenge, die in der dort stattfindenden endothermen Entsäuerungsreaktion aufgeht. Der hier dargestellte Calcinator 3 weist eine Wirbelkammer 7 am Ende des Calcinators 3 auf, wo das Abbrandgas und gegebenenfalls in den Calcinator 3 eingedüster Brennstoff vollkommen ausbrennen kann, bevor das Abgas des Calcinators 3 in den Wärme-

tauscher 1.1 strömt, denn im Wärmetauscher 1.1 soll nach Möglichkeit keine Stoffumsetzung mehr geschehen. Bei Passage der untersten Zyklonwärmetauscherstufe 1.4 wird das Rohmehl 2 abgetrennt und durch eine Leitung 1.5 in die Drehofeneinlaufkammer 9 eingeführt, wo das Rohmehl 2 zum Sintern im Drehrohrföfen 8 weiter erhitzt wird. Um die Aufteilung der Gasströme in den Calcinator 3 zwischen Tertiärluftleitung 4.1 und Reaktorweg aufzuteilen, ist ein Klappensystem 10 vorgesehen, mit dem die Luft zwischen Tertiärluftleitung 4.1 und Reaktor 5 aufgeteilt werden kann. Der schwer zündende Brennstoff 6 wird an einer Brennstelle im Reaktor 5 gezündet, wo es jedoch aufgrund seiner schweren Entzündbarkeit nur langsam abbrennt, verschwelt oder in der Wärme des Drehofenabgases pyrolysiert.

Nach dem Gedanken der Erfindung ist vorgesehen, dass mindestens eine Zuluftleitung 12 für Frischluft an mindestens einer Stelle des Reaktors 5 oberhalb der Zufuhr von Brennstoff 6 vorgesehen ist. Die vorerwärmte Tertiärluft 4 bringt reichlich Wärmeenergie in den Reaktor 5 ein, um die schwierigen Brennstoffe dort sicher zu vergasen oder gar zu pyrolysieren, wobei die Vergasung und Pyrolyse als endothermer Prozess stattfindet. Neben der Vergasung von Brennstoff 6 findet dort in einer Boudouard-Reaktion auch die Reduktion von Kohlendioxid (CO_2) der Abgase des Drehrohrföfens 8 zu Kohlenmonoxid (CO) statt. Der bei der endothermen Prozessführung eintretende Temperaturabfall innerhalb der Reaktionsstrecke des Reaktors 5 auf dem Weg zwischen der Zufuhr von Brennstoff 6 und den Frischluftzuleitungen 12.1, und 12.2 wird kompensiert durch eine in Bezug auf den Brennstoff unterstöchiometrische und in Bezug auf die vorhandene Verbrennungsluft bzw. Sauerstoff überstöchiometrische Verbrennung, die als exothermer Prozess stattfindet.

Um zu verhindern, dass die Vergasung „überschießt“ oder die Reduktion von Kohlendioxid (CO_2) in den Abgasen des Reaktors aufgrund zu hoher Temperatur auf Seite des Kohlendioxids und nicht auf Seite des Kohlenmonoxids liegt, ist nach einer Ausgestaltung des Verfahrens vorgesehen, Mittel zur Kühlung einzu-

setzen. Die Kühlung kann stattfinden durch eine Rohmehlzufuhr über eine Rohmehlzuleitung 1.6 und über eine Eindüsung von Wasserdampf oder Wasser an dieser Stelle und ggf. an weiteren Stellen, die einer Temperaturregelung bedürfen.

Im Idealfall wird die Prozessführung durch Regelung der Frischluftzufuhr an den Frischluftzuleitungen 12.1 und 12.2 autotherm geführt. Bei der autothermen Prozessführung wird durch exotherme Prozessschritte gerade so viel Verbrennungs- oder Prozesswärme entstehende Prozesswärme erzeugt, wie sie durch ebenfalls im Prozess vorkommende Prozessschritte von endothermen Prozessschritten verzehrt wird.

Um die Vergasung und die dort stattfindende Boudouard-Reaktion im Reaktor 5 zu kontrollieren, wird bevorzugt am Fuß des Reaktors 5 Brennstoff 6 oder ein schwieriger Brennstoff eingeführt, der in den Drehrohrofenabgasen aus Drehrohrofen 8 beginnt, zu vergasen. Der Temperaturabfall durch die endotherme Vergasungsreaktion vor der ersten Frischluftzufuhr 12.1 und vor der zweiten Frischluftzufuhr 12.2 wird durch die Frischluftzufuhr 12.1 und 12.2 kompensiert, weil dort das bereits entstandene Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid (CO_2) in einem exothermen Prozessschritt verbrannt wird. Dabei ist vorzugsweise vorgesehen, dass die Frischluftzufuhr an den Frischluftzufuhrstellen 12.1 und 12.2 gerade so hoch ist, dass der Prozess im Reaktor 5 autotherm stattfindet. Das im absteigenden Ast 5.1 des Reaktors 5 strömende Gas hat durch die autotherme Prozessführung eine gegenüber den Drehrohrofenabgasen unveränderte Temperatur.

B E Z U G S Z E I C H E N L I S T E

1	Anlage	5.1	absteigender Ast
1.1	Vorwärmer	5.2	Einströmungsstelle / Gas- austritt
1.2	Zyklonwärmetauscherstufe	6	Brennstoff
1.3	Leitung	7	Wirbelkammer
1.4	Zyklonwärmetauscherstufe	8	Drehrohrofen
1.5	Leitung	9	Drehrohrofeneinlaufkammer
1.6	Rohmehlzufuhr	10	Klappensystem
2	Rohmehl	11	Klinkerkühler
3	Calcinator	12	Zuluftleitung
4	Tertiärluft	12.1	Frischluftezufuhr
4.1	Tertiärluftleitung	12.2	Frischluftezufuhr
5	Reaktor	ZK	Zementklinker

**Anlage zur Herstellung von Zement mit
vermindertem Ausstoß von Schadgasen**

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker (ZK) aus Rohmehl (2), aufweisend in Materialstromrichtung gesehen
 - mindestens einen Calcinator (3) zum Entsäuern des Rohmehls (2), und
 - mindestens einen Drehrohrofen (8) zum Sintern des entsäuerten Rohmehls (2) zu Zementklinker (ZK),wobei das entsäuerte Rohmehl (2) nach Passage des Calcinators (3) über eine Zyklonvorwärmstufe (1.1) in den Drehrohrofen (8) strömt, und wobei ein Reaktor (5) vorgesehen ist, der auf dem Strömungsweg des Abgases des Drehrohrofens (8) zum Calcinator (3) dem Calcinator (3) vorgeschaltet ist, zu dem eine Zuleitung für das Abgas des Drehrohrofens (8) führt, dadurch gekennzeichnet, dass
- mindestens eine Zuluftleitung (12) für die Zuführung von Frischluft an mindestens einer Stelle des Reaktors (5) vorgesehen ist.

2. Anlage (1) nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet, dass
die Frischluft aus einer Tertiärluftleitung (4.1) stammt, die Rekuperationsluft von einem dem Drehrohrofen (8) in Materialflussrichtung nachgeschalteten Klinkerkühler (11) zurück in die Anlage führt.
3. Anlage (1) nach Anspruch 1
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Regelvorrichtung vorgesehen ist, welche in Abhängigkeit von einem oder mehr als einem der nachstehend aufgeführten Parameter die dem Reaktor (5) zugeführte Frischluft regelt: mittlere Reaktortemperatur, Reaktortemperatur im unteren Bereich des Reaktors, Reaktortemperatur im oberen Bereich des Reaktors, NO_x-Ausstoß, Vergasungsrate, gemessen als CO-Konzentration.
4. Anlage (1) nach einem der vorstehend genannten Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine Wasser- oder Wasserdampfzufuhr in den Reaktor (5) und/oder eine Zufuhr von sauerstoffangereicherter Luft oder von reinem Sauerstoff vorgesehen ist.

5. Anlage (1) nach einem der vorstehend genannten Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass
- mindestens eine Zufuhr (1.6) von erwärmtem, aber noch nicht durch den Calcinator geströmtem Rohmehl (2) in den Reaktor (5) vorgesehen ist.
6. Verfahren zum Betrieb einer Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker aus Rohmehl (2), aufweisend in Materialstromrichtung gesehen
- mindestens einen Calcinator (3) zum Entsäuern des Rohmehls (2), und
 - mindestens einen Drehrohrofen (8) zum Sintern des entsäuerten Rohmehls (2) zu Zementklinker (ZK), wobei
- das entsäuerte Rohmehl (2) nach Passage des Calcinators (3) über eine Zyklonvorwärmstufe (1.1) in den Drehrohrofen (8) strömt,
- Führen der Abgase des Drehrohrofens (8) in einen Reaktor (5), der auf dem Strömungsweg der Abgase des Drehrohrofens (8) zum Calcinator (3) dem Calcinator (3) vorgeschaltet ist, wobei
 - in den Reaktor (5) in Bezug auf die Verweilzeit der Abgase in dem Reaktor (5) überstöchiometrisch Brennstoff (6) zugegeben wird, so dass in den Abgasen enthaltenes Kohlendioxid (CO_2) zu Kohlenmonoxid (CO) reduziert wird,
- gekennzeichnet durch
- Einführen von Frischluft in den Reaktor (5) an mindestens einer Stelle des Reaktors (5), wobei die Frischluft vorzugsweise aus einer Tertiärluftleitung (4.1) stammt, die Rekuperationsluft von einem dem Drehrohrofen

- 14 -

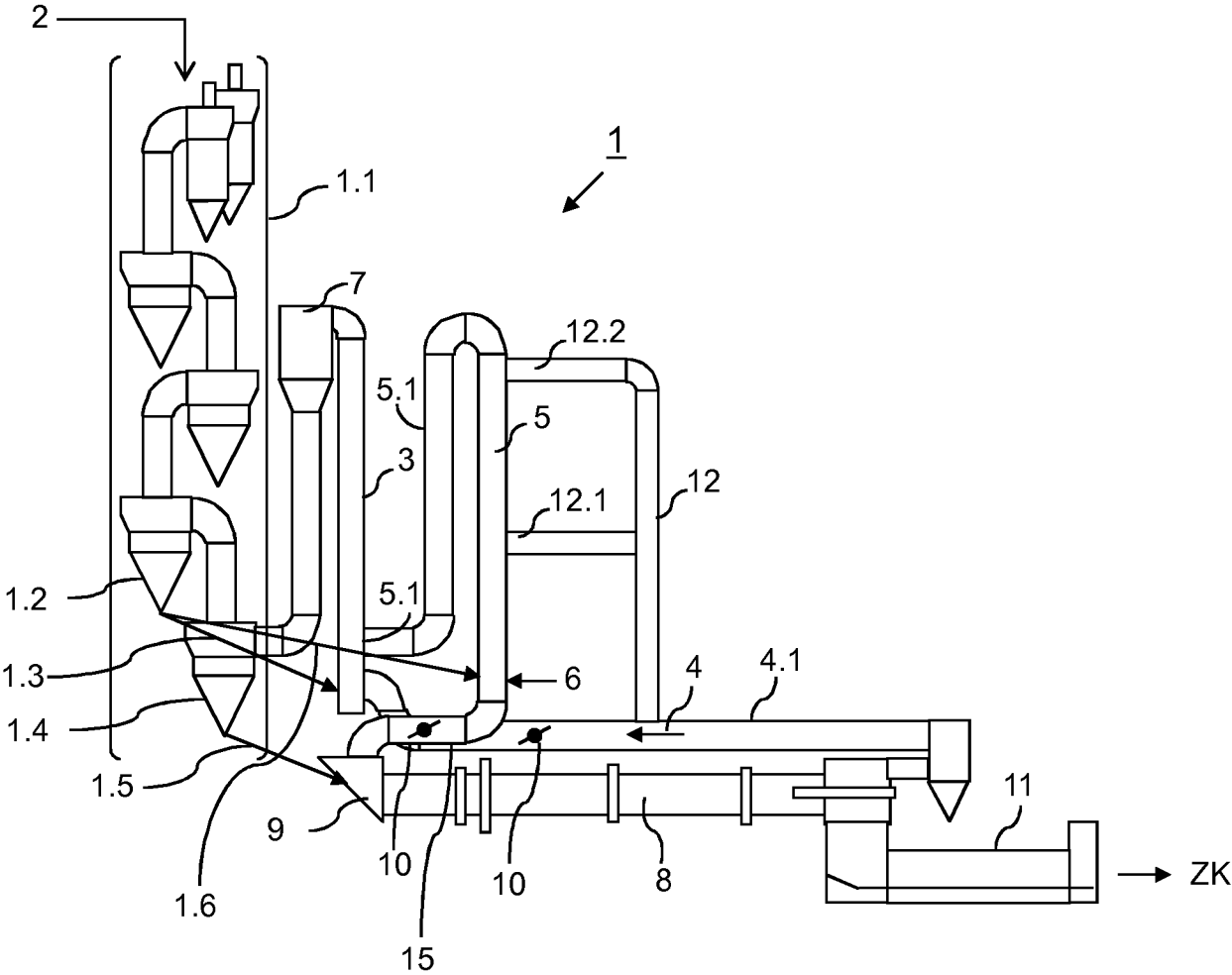
(8) in Materialflussrichtung nachgeschalteten Klinkerkühler (11) zurück in die Anlage (1) führt.

7. Verfahren zum Betrieb einer Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker nach Anspruch 5 oder 6,
gekennzeichnet durch
eine Regelung der dem Reaktor (5) zugeführten Frischluft in Abhängigkeit von einem oder mehr als einem der nachstehend aufgeführten Parameter: mittlere Reaktortemperatur, Reaktortemperatur im unteren Bereich des Reaktors, Reaktortemperatur im oberen Bereich des Reaktors, NO_x-Ausstoß, Vergasungsrate, gemessen als CO-Konzentration.
8. Verfahren zum Betrieb einer Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker nach Anspruch 5 bis 7,
gekennzeichnet durch
eine Wasser- und/oder Wasserdampfzufuhr und/oder durch eine Zufuhr von sauerstoffangereicherter Luft oder von reinem Sauerstoff in den Reaktor (5) an mindestens einer Stelle.
9. Verfahren zum Betrieb einer Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker nach Anspruch 5 bis 8,
gekennzeichnet durch
mindestens eine Zufuhr von erwärmtem, aber noch nicht durch den Calcinator geströmtem Rohmehl durch eine Zufuhrleitung (1.6)

- 15 -

10. Verfahren zum Betrieb einer Anlage (1) zur Herstellung von Zementklinker nach Anspruch 5 bis 8,
gekennzeichnet durch
eine autotherme Prozessführung, bei der die vom Prozess aufgenommene Wärme zur endothermen Vergasung von Brennstoff zu Kohlenmonoxid (CO) ausgeglichen wird durch die vom Prozess abgegebene Wärme bei der Verbrennung von Kohlenmonoxid (CO) zu Kohlendioxid (CO₂)

Fig. 1



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/057958

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F27B7/20 C04B7/00 F27D17/00
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)
F27B F27D C04B

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 180 501 A2 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 20 February 2002 (2002-02-20) paragraphs [0010] - [0014]; claim 1; figure 1 -----	1-10
X	DE 10 2013 006237 A1 (KHD HUMBOLDT WEDAG GMBH [DE]) 16 October 2014 (2014-10-16) cited in the application paragraphs [0024], [0031]; claims 1-10; figure 1 -----	1-10
X	EP 1 334 954 A1 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 13 August 2003 (2003-08-13) paragraph [0021] - paragraph [0025]; figure 1 ----- -/-	1-10



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

8 June 2016

Date of mailing of the international search report

16/06/2016

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

Gavriliu, Alexandru

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/057958

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 110 922 A1 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 27 June 2001 (2001-06-27) paragraphs [0008], [0010], [0017]; claims 1-3; figure 1 -----	1,6
X	DE 20 2007 006797 U1 (CEMAG ANLAGENBAU DESSAU GMBH [DE]) 25 September 2008 (2008-09-25) paragraphs [0016], [0021] - [0023]; claims 1-11 -----	1
X	DE 699 01 239 T2 (F L SMIDTH & CO AS VALBY [DK]) 28 November 2002 (2002-11-28) page 5, line 6 - page 9, line 18; claims 1-5; figure 1 -----	1
X	DE 196 37 320 A1 (METALLGESELLSCHAFT AG [DE]) 19 March 1998 (1998-03-19) column 2, line 29 - column 3, line 40; claims 1-13; figure 1 -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/057958

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1180501	A2	20-02-2002	DE 10040163 A1 28-02-2002
			EP 1180501 A2 20-02-2002
			US 2002071801 A1 13-06-2002
DE 102013006237	A1	16-10-2014	CN 104350022 A 11-02-2015
			DE 102013006237 A1 16-10-2014
			EP 2984054 A1 17-02-2016
			US 2016039714 A1 11-02-2016
			WO 2014166822 A1 16-10-2014
EP 1334954	A1	13-08-2003	DE 10202776 A1 31-07-2003
			DK 1334954 T3 28-01-2008
			EP 1334954 A1 13-08-2003
			JP 2004026628 A 29-01-2004
			US 2003143508 A1 31-07-2003
EP 1110922	A1	27-06-2001	DE 19962536 A1 05-07-2001
			DK 1110922 T3 02-08-2004
			EP 1110922 A1 27-06-2001
			US 2001007232 A1 12-07-2001
DE 202007006797	U1	25-09-2008	DE 202007006797 U1 25-09-2008
			WO 2008138903 A1 20-11-2008
DE 69901239	T2	28-11-2002	AU 734459 B2 14-06-2001
			AU 3250999 A 23-08-1999
			BR 9907668 A 24-10-2000
			CA 2315865 A1 12-08-1999
			CN 1287608 A 14-03-2001
			CZ 20002876 A3 12-12-2001
			DE 69901239 D1 16-05-2002
			DE 69901239 T2 28-11-2002
			DK 15398 A 05-08-1999
			EP 1060146 A2 20-12-2000
			ES 2174624 T3 01-11-2002
			JP 2002502797 A 29-01-2002
			PL 342627 A1 18-06-2001
			PT 1060146 E 30-09-2002
			RU 2181866 C1 27-04-2002
			TW 562782 B 21-11-2003
			US 6257877 B1 10-07-2001
			WO 9940040 A2 12-08-1999
			ZA 9900606 A 27-07-1999
DE 19637320	A1	19-03-1998	DE 19637320 A1 19-03-1998
			EG 21073 A 31-10-2000
			TN SN97154 A1 01-09-2000

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F27B7/20 C04B7/00 F27D17/00
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F27B F27D C04B

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 180 501 A2 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 20. Februar 2002 (2002-02-20) Absätze [0010] - [0014]; Anspruch 1; Abbildung 1	1-10
X	DE 10 2013 006237 A1 (KHD HUMBOLDT WEDAG GMBH [DE]) 16. Oktober 2014 (2014-10-16) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0024], [0031]; Ansprüche 1-10; Abbildung 1	1-10
X	EP 1 334 954 A1 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 13. August 2003 (2003-08-13) Absatz [0021] - Absatz [0025]; Abbildung 1	1-10
	-/--	



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

8. Juni 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

16/06/2016

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

Gavriliu, Alexandru

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 110 922 A1 (KLOECKNER HUMBOLDT WEDAG [DE]) 27. Juni 2001 (2001-06-27) Absätze [0008], [0010], [0017]; Ansprüche 1-3; Abbildung 1 -----	1,6
X	DE 20 2007 006797 U1 (CEMAG ANLAGENBAU DESSAU GMBH [DE]) 25. September 2008 (2008-09-25) Absätze [0016], [0021] - [0023]; Ansprüche 1-11 -----	1
X	DE 699 01 239 T2 (F L SMIDTH & CO AS VALBY [DK]) 28. November 2002 (2002-11-28) Seite 5, Zeile 6 - Seite 9, Zeile 18; Ansprüche 1-5; Abbildung 1 -----	1
X	DE 196 37 320 A1 (METALLGESELLSCHAFT AG [DE]) 19. März 1998 (1998-03-19) Spalte 2, Zeile 29 - Spalte 3, Zeile 40; Ansprüche 1-13; Abbildung 1 -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/057958

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1180501 A2	20-02-2002	DE 10040163 A1	28-02-2002
		EP 1180501 A2	20-02-2002
		US 2002071801 A1	13-06-2002

DE 102013006237 A1	16-10-2014	CN 104350022 A	11-02-2015
		DE 102013006237 A1	16-10-2014
		EP 2984054 A1	17-02-2016
		US 2016039714 A1	11-02-2016
		WO 2014166822 A1	16-10-2014

EP 1334954 A1	13-08-2003	DE 10202776 A1	31-07-2003
		DK 1334954 T3	28-01-2008
		EP 1334954 A1	13-08-2003
		JP 2004026628 A	29-01-2004
		US 2003143508 A1	31-07-2003

EP 1110922 A1	27-06-2001	DE 19962536 A1	05-07-2001
		DK 1110922 T3	02-08-2004
		EP 1110922 A1	27-06-2001
		US 2001007232 A1	12-07-2001

DE 202007006797 U1	25-09-2008	DE 202007006797 U1	25-09-2008
		WO 2008138903 A1	20-11-2008

DE 69901239 T2	28-11-2002	AU 734459 B2	14-06-2001
		AU 3250999 A	23-08-1999
		BR 9907668 A	24-10-2000
		CA 2315865 A1	12-08-1999
		CN 1287608 A	14-03-2001
		CZ 20002876 A3	12-12-2001
		DE 69901239 D1	16-05-2002
		DE 69901239 T2	28-11-2002
		DK 15398 A	05-08-1999
		EP 1060146 A2	20-12-2000
		ES 2174624 T3	01-11-2002
		JP 2002502797 A	29-01-2002
		PL 342627 A1	18-06-2001
		PT 1060146 E	30-09-2002
		RU 2181866 C1	27-04-2002
		TW 562782 B	21-11-2003
		US 6257877 B1	10-07-2001
		WO 9940040 A2	12-08-1999
		ZA 9900606 A	27-07-1999

DE 19637320 A1	19-03-1998	DE 19637320 A1	19-03-1998
		EG 21073 A	31-10-2000
		TN SN97154 A1	01-09-2000
