(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
18. Juni 2009 (18.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/074268 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C10B 53/02 (2006.01) *C10B 7/10* (2006.01)
C10B 49/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/010335

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. Dezember 2008 (05.12.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 059 982.1
11. Dezember 2007 (11.12.2007) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US)*: **FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GmbH** [DE/DE]; Weberstrasse 5, D-76133 Karlsruhe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: **SEIFERT, Helmut** [DE/DE]; Wolfsgrubenweg 3, 67069 Ludwigshafen (DE). **HORNUNG, Andreas** [DE/DE]; Auf den Eiswiesen 7, 76185 Karlsruhe (DE).

(74) Anwalt: **FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH**; Stabsabteilung Innovation, Postfach 36 40, 76021 Karlsruhe (DE).

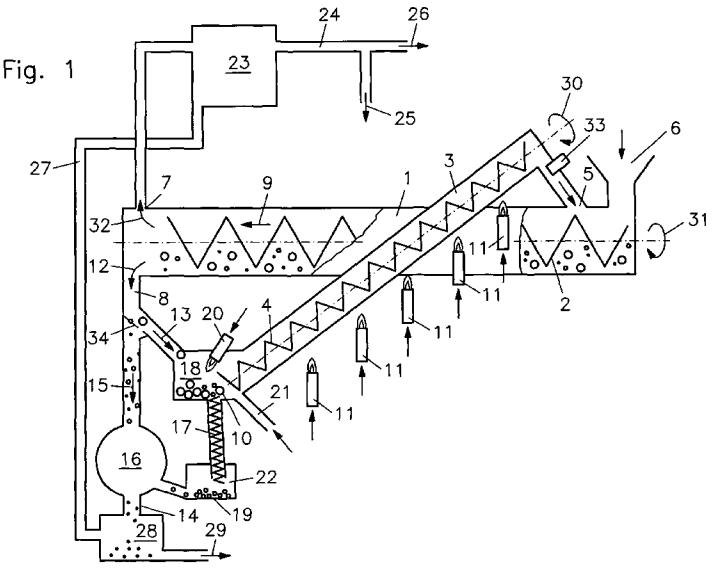
(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM,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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PYROLYSIS SYSTEM FOR CARBONACEOUS INGREDIENTS

(54) Bezeichnung: PYROLYSESYSTEM FÜR KOHLENSTOFFHALTIGE EINSATZSTOFFE

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a pyrolysis system for carbonaceous ingredients, comprising a pyrolysis reactor (1), a heating section (3) for heat transfer particles (10) and a closed circuit of the heat transfer particles (10) through the pyrolysis reactor and the heating section. The aim of the invention was to modify the pyrolysis system so that, starting from the concept, it is suitable for implementing compact systems for decentralized use. The aim is achieved in that the heating section comprises burners (11, 20), wherein the burners can be heated by pyrolysis gas and low-oxygen exhaust gases from the combustion can be fed into the pyrolysis reactor (3) and form a low-oxygen pyrolysis atmosphere therein.

(57) Zusammenfassung: Pyrolysesystem für kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe, umfassend einen Pyrolysereaktor (1), eine Aufheizstrecke (3) für Wärme - Übertragungspartikel (10) sowie einem geschlossenen Kreislauf der Wärmeübertragungspartikel (10) durch den Pyrolysereaktor und die Aufheizstrecke.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/074268 A1

RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht*

— *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Die Aufgabe bestand darin, das Pyrolysesystem so zu modifizieren, dass sie sich bereits vom Konzept her für die Realisierung kompakter dezentral einsetzbarer Systeme eignet. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Aufheizstrecke Brenner (11, 20) aufweist, wobei die Brenner mit Pyrolysegas beheizbar sind sowie sauerstoffarme Abgase aus der Verbrennung in den Pyrolysereaktor (3) einleitbar sind und in diesem eine sauerstoffarme Pyrolyseatmosphäre bilden.

Pyrolysesystem für kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe

Die Erfindung betrifft ein Pyrolysesystem für kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe, insbesondere regenerative Biomasse wie pflanzliche Stoffe, gemäß Anspruch 1.

In einem Pyrolysesystem der eingangs genannten Art erfolgt eine Pyrolyse, d.h. eine thermische Behandlung unter Sauerstoffausschluss an kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen wie Biomasse (z.B. Energiepflanzen, Lignocellulose etc.) oder auch Abfallstoffe wie Kunststoffe etc., die sich dabei zu Pyrolyseprodukten, d.h. zu festen Pyrolysekoks, flüssigen oder dampfförmigen Pyrolysekondensat und gasförmigen Pyrolysegas zersetzt.

Die Anteile der vorgenannten Pyrolyseprodukte sind durch die Zusammensetzung und Restfeuchte der Einsatzstoffe in Kombination mit verschiedenen Verfahrensparametern, insbesondere der Pyrolysetemperatur, der Pyrolysezeit (Reaktionszeit) sowie den Aufheiz- und Abkühlparametern, beeinflussbar.

Die Pyrolysetemperatur ermittelt sich aus der Zersetzungstemperatur und Zersetzungskinematik der Einsatzstoffe und liegt im Bereich zwischen 400 und 600°C.

Bei der Pyrolysezeit (Reaktionszeit ohne Aufheiz- und Abkühlperioden) werden Bereiche unterschieden, die jeweilig einem Verfahrensführung zuordnungsfähig sind.

Eine Schnellpyrolyse - auch als Blitzpyrolyse bekannt - umfasst eine Pyrolysezeit unterhalb ca. 10 Sekunden reine Reaktionszeit. Sie dient der Umsetzung von kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen wie Biomasse mit einer besonders hohen Ausbeute an flüssigem Pyrolysekondensat (Pyrolyseöl, Bioöl) und geringen Anteilen an festen Pyrolysekoks und Pyrolysegas. Eine Schnellpyrolyse erfolgt beispielsweise mit Biomasse als Einsatzstoff vorzugsweise um 500°C, wobei sich typischerweise ein Anteil an Pyrolysekondensat von 40 bis 80 Gew.% und an Biokoks (Pyrolyse-

koks) von nur 10 bis 30 Gew.% einstellt. Insbesondere lassen sich Holz und Stroh (Lignocellulose) zu über 50 % bis zu 80 % zu Bioöl (Pyrolysekondensat) verflüssigen.

Ab ca. 10 Sekunden Reaktionszeit geht die Schnellpyrolyse in den Bereich der sog. intermediate-Pyrolyse über, bei der sich mit zunehmender Pyrolysezeit die Anteile des festen Pyrolysekokses und der Pyrolysegases zuungunsten der flüssigen Bestandteile erhöhen.

Üblicherweise wird das Pyrolysegas von den anderen beiden Pyrolyseprodukten, dem Pyrolysekoks und dem Pyrolysekondensat abgetrennt und wird damit z.B. als Heizbrennstoff für den vorgenannten Pyrolysevorgang nutzbar.

Das verbleibende flüssige Pyrolysekondensat und der Pyrolysekoks werden als Mischung dieser Komponenten zu einem Ölschlamm (Bioölschlamm, Slurry) von der Schnellpyrolyse einer Flugstromvergasung zugeführt, wo die genannten Produkte in einem unterstöchiometrischen Sauerstoffstrom zerstäubt und vergast werden. Beispielsweise lassen sich mit einer Flugstrom-Vergasung bei hohen Temperaturen und Drucken ein praktisch teer- und methanfreies Rohsynthesegas bei hohem Umsatz herstellen, was vor allem bei einer anschließenden Synthese zu Kraftstoffen und/oder chemischen Grundstoffen vorteilhaft ist.

Pyrolysesysteme der eingangs genannten Art umfassen einen Pyrolysereaktor, in dem die Einsatzstoffe eingegeben werden und wie vorgenannt thermisch zu Pyrolyseprodukten umgewandelt werden.

In der **EP 1 217 318 A1** wird eine Anlage zur thermischen Behandlung von Materialien beschrieben, umfassend mindestens eine Reaktionszone in einem mit Heizmitteln beheizten Drehofen mit zumindest einer Drehschnecke. Die Drehschnecke wird durch ein eigenes integriertes Heizmittel beheizt und dient dem Transport der zu behandelnden Materialien sowie von zusätzlichen wärmeleitenden Partikeln durch den Drehofen. Die Partikel dienen je-

doch nicht einem Wärmeeintrag in die Reaktionszone, sondern einer möglichst effizienten Wärmeübertragung von den beiden Heizmitteln auf die zu behandelnden Materialien in der Reaktionszone.

Dagegen ist in der **DE 10 2005 037 917 A1** ein Verfahren zur Schnellpyrolyse von Lignocellulose beschreiben, bei die vorgenannten Partikel nicht nur zur Wärmeverteilung in der Reaktionszone, sondern insbesondere für den Wärmeeintrag, d.h. den Wärmetransport in die Reaktionszone vorgesehen sind. Die Partikel werden extern aufgeheizt und mit der Lignocellulose in die Reaktionszone eingeleitet, wobei die Lignocellulose in der Reaktionszone von Partikeln erhitzt wird. Für eine externe Aufheizung der Partikel wird ein Gegenstromwärmetauscher vorgeschlagen, wobei in diesem die Partikel und ein Rauchgasstrom in entgegen gesetzter Richtung durchströmen.

Die genannten Anlagen, insbesondere die Aufheizvorrichtungen für eine nicht in der Reaktionszone stattfindenden Erwärmung der vorgenannten Partikel, weisen bei einer Auslegung im industriellen Maßstab eine Baugröße auf, die für einen Transport und/oder einen mobilen Einsatz z.B. als LKW-Aufbau zu groß sind. Insbesondere die bislang eingesetzten Gegenstromwärmetauscher werden als Fallturm für die Partikel realisiert und weisen meist mindestens 3 m Bauhöhe auf.

Davon ausgehend liegt die **Aufgabe der Erfindung** darin, ein Pyrolysesystem der eingangs genannten Art für kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe so zu modifizieren, dass sie sich bereits vom Konzept her für die Realisierung kompakter dezentral einsetzbarer Systeme eignet. Ferner soll durch die Modifikation eine bessere Einstell- und Regelbarkeit des Wärmeenergiestroms über die Wärmeübertragungspartikel in den Pyrolysereaktor und damit eine Herstellung von Pyrolysekoks mit einstellbarer Partikelgröße ermöglicht werden.

Die Aufgabe wird mit einem Pyrolysesystem mit Merkmalen des

ersten Patentanspruchs gelöst. Die auf diesen rückbezogene Unteransprüche geben vorteilhafte Ausgestaltungen des Pyrolysesystems wieder.

Das Pyrolysesystem umfasst zumindest einen Pyrolysereaktor sowie eine Aufheizstrecke für Wärmeübertragungspartikel, die in einem geschlossenen Kreislauf durch den Pyrolysereaktor und die Aufheizstrecke geleitet werden. Wesentlich ist jedoch, dass die Aufheizstrecke zur Erwärmung der Wärmeübertragungspartikel Brenner aufweist, wobei die Brenner mit Pyrolysegas beheizbar und sauerstoffarme Abgase aus der Verbrennung in den Pyrolysereaktor einleitbar sind. Die Abgase bilden im Pyrolysereaktor eine sauerstoffarme Pyrolyseatmosphäre, indem sie z.B. vorzugsweise als Abgasstrom durch den Pyrolysereaktor geleitet werden. Die Aufheizstrecke wird, sofern nicht eine Ummantelung das gesamte Pyrolysesystem umschließt, durch ein Volumen in einem Gehäuse gebildet. Ferner ist zwischen Gehäuse und Pyrolysereaktor eine Verbindung vorgesehen. Das Gehäuse sowie die Verbindung zum Pyrolysereaktor bilden eine Gasbarriere und verhindern einen Gasaustausch mit der Umgebung und damit ein Einströmen von Sauerstoff über die Aufheizstrecke in den Pyrolysereaktor.

Die Pyrolyseprodukte verlassen nach der Pyrolyse den Pyrolysereaktor bevorzugt in zwei Stoffströmen, d.h. in einem ersten fluidischen Stoffstrom als Pyrolysekondensat und Pyrolysegas einerseits und in einem zweiten soliden Stoffstrom als Pyrolysekoks mit den Wärmeübertragungspartikeln andererseits. Es folgt in einem Kondensator eine Trennung des ersten Stoffstroms in flüssiges oder aerosolförmiges Pyrolysekondensat und gasförmiges Pyrolysegas. Das Pyrolysegas wird dann bevorzugt den Brennern des Pyrolysesystems als Brennstoff zugeführt. Ebenso erfolgt eine Trennung von Pyrolysekoks und Wärmeübertragungspartikel, bevorzugt mittels Sieben oder Magnetabscheidern. Das Pyrolysekondensat und der Pyrolysekoks werden anschließend miteinander zu einer Suspension (Slurry) vermischt.

Vorzugsweise ist mindestens einer der Brenner in das Innere der

Aufheizstrecke oder in den Bereich unmittelbar vor der Aufheizstrecke gerichtet, wobei die heißen Brenngase die Wärmeübertragungspartikel in der Aufheizstrecke aufheizen. Weiter vorzugsweise ist mindestens einer dieser Brenner direkt auf die Wärmeübertragungspartikel gerichtet. Weiter bevorzugt führt der Kreislauf der Wärmeübertragungspartikel in oder vor der Wärmeübertragungsstrecke durch mindestens eine Flamme eines Brenners, d.h. alle Wärmeübertragungspartikel durchlaufen in der Aufheizstrecke oder unmittelbar davor im Kreislauf mindestens einen Einflussbereich der Flamme eines Brenners. Damit wird auch der möglicherweise an den Wärmeübertragungspartikeln anheftende Sauerstoff erfasst und verbraucht.

Die Brenngase durchlaufen gemeinsam mit den Wärmeübertragungspartikeln die Aufheizstrecke, übertragen dabei weiter Wärme an die Wärmeübertragungspartikel und werden anschließend als sauerstoffarme (da verbrannte) Abgase gemeinsam mit den Wärmeübertragungspartikeln in den Reaktor eingeleitet.

Nach Durchlaufen der Aufheizstrecke und vor Eintritt der Abgase (und der Wärmeübertragungspartikel) in den Pyrolysereaktor erfolgt eine Messung des Restsauerstoffs im Abgas durch eine Lambdasonde. Daraus wird der Sauerstoffverbrauch durch die Verbrennung bestimmt und als Regelgröße der Verbrennungssteuerung (Regeleinheit) zugeführt. Diese Anordnung dient der permanenten Verbrennungssteuerung, wodurch sich in vorteilhafter Weise Inhomogenitäten des Brennerbrennstoffs, d.h. dem Pyrolysegas erfassbar und in der Regelung berücksichtigbar sind. Die Inhomogenitäten beruhen z.B. auf einer nicht homogenen Zusammensetzung der kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffe, die bei der Pyrolyse schwankende Verhältnisse der Pyrolyseprodukte, d.h. Pyrolysegas, Pyrolysekoks und Pyrolysekondensat hervorrufen können.

Eine optionale Temperaturmessvorrichtung (z.B. Thermoelement oder Pyrometer) im Bereich der Lambdasonde misst die Temperatur von Abgas und/oder Wärmeübertragungspartikel vor dem Eintritt

in den Pyrolysereaktor. Auch die Temperatur, die die Pyrolysetemperatur vorgibt und damit für die Konfektionierung der Pyrolyseprodukte (z.B. in der laufenden Einstellung der Partikelgröße) heranziehbar ist, fließt optional in die Regelung der Verbrennung mit ein.

Eine Verbrennungssteuerung erfolgt über eine Steuerung der Brenner. Sind die Brenner in das Innere der Aufheizstrecke oder in den Bereich unmittelbar vor der Aufheizstrecke gerichtet, erfolgt eine Steuerung zusätzlich über eine Zugabe von Sauerstoff in das Innere oder unmittelbar vor der Aufheizstrecke, d.h. es erfolgt eine Verbrennungssteuerung über das Verbrennungsgemisch Sauerstoff oder Luft zu Brennstoff (Pyrolysegas).

Vorzugsweise umfasst die Aufheizstrecke Fördermittel für die Wärmeübertragungspartikel, weiter bevorzugt Zwangsfördermittel wie z.B. mindestens eine Förderschnecke. Damit werden die Wärmeübertragungspartikel in besonders vorteilhafter Weise in der Aufheizstrecke zwangsgeführt und im Rahmen des vorgenannten Kreislaufs in einer einstellbaren definierten Zeit aufgewärmt. Ein weiterer Vorteil liegt in der Aufheizung der Wärmeübertragungspartikel als Schüttung oder zumindest in ständigen Kontakt mit jeweils anderen Wärmeübertragungspartikel, womit zwischen den Partikeln untereinander Wärme bevorzugt austauschbar ist und die Wärmeübertragungspartikel mit gleicher oder nahezu gleicher Temperatur die Wärmeübertragungsstrecke verlassen und in die Reaktionszone des Pyrolysereaktors eintreten.

Ebenso gibt die Förderschnecke im Pyrolysereaktor die Pyrolysezeit exakt vor.

Im Ergebnis ergibt sich ein Pyrolysesystem, das sich durch eine exakte Verfahrensführbarkeit und damit exakt konfektionierbare Pyrolyseprodukte wie z.B. eine reproduzierbare Partikelgröße des Pyrolysekokses auch bei inhomogenen Einsatzstoffen ermöglicht. Durch den Einsatz der beschriebenen Aufheizstrecke wird die Realisierung einer kompakten Bauform ermöglicht.

Das Pyrolysesystem eignet sich für die Durchführung von Pyrolyseverfahren mit kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen mit praktisch allen im Stand der Technik bekannten Pyrolysetemperaturen und -zeiten, insbesondere zwischen 400 und 600°C, bevorzugt zwischen 500 und 550°C sowie Pyrolysezeiten zwischen bevorzugt 1 und 200 Sekunden, weiter bevorzugt zwischen 5 und 100 Sekunden, weiter bevorzugt zwischen 10 und 120 Sekunden. Das verfahren umfasst einen Kreislauf für Wärmeübertragungspartikel, wobei diese in einem ersten Schritt in der Aufheizstrecke durch eine mit dem erzeugten Pyrolysegas betriebenen Brennerflamme sowie in dessen Abgas aufgeheizt wird, in einem zweiten Schritt gemeinsam mit dem Abgas und den kohlenstoffhaltigen Einsatzstoffen in den Pyrolysereaktor eingebracht werden, wobei die Abgase die sauerstoffarme Pyrolyseatmosphäre bilden. Die Einsatzstoffe pyrolysieren dann zu Pyrolyseprodukte, wobei das Pyrolysegas als Brennstoff für die Brennerflamme herangezogen wird.

Die Erfindung wird im Folgenden mit Ausführungsbeispielen anhand von Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig.1 eine erste Ausführungsform des Pyrolysesystems mit indirekter Beheizung der Aufheizstrecke,

Fig.2 eine zweite Ausführungsform des Pyrolysesystems mit indirekter Beheizung der Aufheizstrecke,

Fig.3 eine Detailansicht der Trenneinrichtung für eine Trennung von Pyrolysekoks und Wärmeübertragungspartikel gemäß **Fig.1 und 2** sowie

Fig.4 eine alternative Trenneinrichtung für eine Trennung von Pyrolysekoks und Wärmeübertragungspartikel in der in **Fig.3** entsprechenden Detailansicht.

Das Pyrolysesystem der Ausführungsformen gem. **Fig.1 und 2** umfasst einen Pyrolysereaktor **1** sowie eine Aufheizstrecke **3** der vorgenannten Art, jeweils ausgestattet mit Zwangsfördermitteln.

Der Pyrolysereaktor weist je eine Zuführung für Wärmeübertragungspartikel **5** und Einsatzstoffen **6** sowie je eine Ableitung für fluidische und solide Pyrolyseprodukte **7** bzw. **8** sowie je eine Förderschnecke **2** als Fördermittel für die Wärmeübertragungspartikel und die Einsatzstoffe auf. Die Förderrichtung **9** weist in Richtung der Ableitungen **7** und **8**, wo eine Auftrennung des Stoffstroms in einen soliden und einen fluidischen Stoffteilstrom **12** bzw. **32** erfolgt.

Die Aufheizstrecke **3** umfasst ebenfalls eine Förderschnecke **4** für Wärmeübertragungspartikel **10** sowie Brenner **11, 20** als Aufheizmittel. Die Förderschnecke verbindet einen Sammelbehälter **18** über eine gasdichte Zuführung **5** für Wärmeübertragungspartikel. Der Sammelbehälter weist einen eigenen Brenner **20** für Wärmeübertragungspartikel **10** auf. Ferner ist im Bereich der gasdichten Zuführung eine Lambdasonde **33** zur Erfassung des Restsauerstoffs im Abgas, vorzugsweise auch eine Temperaturmessung eingesetzt.

Die Wärmeübertragungspartikel **10** umfassen vorzugsweise mindestens zwei Wärmeübertragungspartikelfraktionen, die sich in ihrem Partikeldurchmesser unterscheiden. Dies hat gegenüber Wärmeübertragungspartikeln mit nur einer Größe mehrere Vorteile. Zum einen nehmen die Wärmeübertragungspartikel in der Aufheizstrecke eine dichtere Packungsdichte (Schüttdichte) ein und beinhalten damit grundsätzlich eine höhere spezifische Wärmeenergiedichte, lassen sich aber auch aufgrund der höheren Kontaktflächen untereinander homogener aufheizen. Andererseits weisen sie eine unterschiedliche Wärmeaufnahme- und Wärmeabgabedynamik (Wärmekapazität und Wärmeübertragungsgeschwindigkeit) auf, womit die Wärmeabgabegeschwindigkeit von den Wärmeübertra-

gungspartikeln auf das Einsatzgut im Pyrolysereaktor steuerbar und hinsichtlich einer möglichst isothermen Pyrolyse optimierbar ist. Die letztgenannte Wirkung ist im Rahmen der Erfindung auch durch Wärmeübertragungspartikelfraktionen realisierbar, die sich im themischen Materialverhalten, insbesondere der Wärmekapazität und/oder der Wärmeleitfähigkeit anstelle oder zusätzlich zur Partikelgröße unterscheiden

Die in **Fig.1** dargestellte Ausführungsform unterscheidet sich von der in **Fig.2** offenbarte Ausführung in der Anordnung der Brenner **11** zu der Aufheizstrecke. Während die Brenner in **Fig.1** unterhalb der Aufheizstrecke **3** angeordnet das Gehäuse desselbigen von außen anstrahlen und erhitzen, sind die Brenner gem. **Fig. 2** in der Gehäusewandung der Aufheizstrecke eingesetzt, wobei die Flammen der Brenner von oben in das Volumen der Aufheizstrecke gerichtet sind und auch deren Abgase von der Aufheizstrecke über die Zuführung für Wärmeübertragungspartikel **5** in das Innere des Pyrolysereaktors **1** gelangen.

Dagegen weist die in **Fig. 1** dargestellte Ausführungsform nur einen in den Sammelbehälter **18** gerichteten Brenner **20** auf, durch den Brenngase in das Volumen der Aufheizstrecke **3** gelangen können. Da die Wärmeübertragungspartikel **10** im Sammelbehälter **18** bereits aufgeheizt werden, zählt im Rahmen zumindest dieser Ausführungsform der Sammelbehälter **18** zu der Aufheizstrecke **3**.

Die soliden Pyrolyseprodukte liegen als Pyrolysekoks vor, die von der Ableitung **8** zunächst als Feststoffpartikelmischung mit den Wärmeübertragungspartikeln **10** im fludischen Stoffteilstrom **12** gemeinsam einer Trenneinrichtung zum Trennen von Wärmeübertragungspartikeln und soliden Pyrolyseprodukten zugeführt werden.

Im Beispiel findet eine erste Trennung in einem Sieb **34** statt. Auf diesem erfolgt eine erste Abtrennung einer ersten Wärme-

übertragungspartikelfraktion **13**, umfassend die Wärmeübertragungspartikel mit einem Partikeldurchmesser oberhalb der Maschenweite. Zur Sicherstellung, dass mit der ersten Wärmeübertragungspartikelfraktion kein oder nur geringe Mengen an Pyrolysekoks **14** mit abgesondert wird, ist die Maschenweite dieses Siebs **34** größer als der größte Partikeldurchmesser des Pyrolysekokses **14** einzustellen. Da das Pyrolysesystem als mobile Anlage und für unterschiedliche Einsatzstoffe konzipiert wird und damit die Partikelgrößen des Pyrolysekokses variieren, ist die Maschenweite des Siebes vorzugsweise variabel einstellbar zu gestalten.

Sind wie in den Ausführungsbeispielen vorgesehen mindestens zwei Wärmeübertragungspartikelfraktionen **13, 19** mit unterschiedlichen Partikelgrößen vorgesehen, ist dem Sieb **34** für das Abscheiden der nachfolgenden Wärmeübertragungspartikelfraktionen ein zweites Sieb, in den Beispielen ein Rotationssieb **16** nachzuschalten. In diesem werden die Fraktionen mit kleineren Partikelgrößen aus dem nicht abgeschiedenen Teil des Stoffteilstroms **15** abgesondert und als zweite Partikelfraktion **19** in einen zweiten Sammelbehälter **22** zugeführt. Der separierte Pyrolysekoks **14** wird dagegen einer Mischkammer **28** zugeführt.

Die zweite Wärmeübertragungspartikelfraktion **19** wird dann über eine beispielsweise schneckenbetriebene Transporteinheit **17** vom zweiten Sammelbehälter **22** in den ersten Sammelbehälter **18** umgesetzt, dort mit der ersten Wärmeübertragungspartikelfraktionen **13** vermischt und unter Einfluss des Brenners **20** und einer Verbrennungsluftzufuhr **21** vorgewärmt (vgl. **Fig.3**). Dabei wird in vorteilhafter Weise auch ein möglicherweise noch an den Wärmeübertragungspartikeln anheftenden Reste an Pyrolyseprodukten und/oder Sauerstoff mit verbrannt. Die Abgase werden dann gemeinsam mit den Wärmeübertragungspartikeln **10**, umfassend alle Wärmeübertragungspartikelfraktionen **13, 19** von der Förderschnecke **4** durch die Aufheizstrecke **3** gefördert.

Ist eine der Wärmeübertragungspartikelfraktionen **13, 19** magnetisch, ist die Trennvorrichtung für die Abtrennung der magnetischen Fraktion vorzugsweise eine magnetische Abscheidungsvorrichtung für magnetische Wärmeübertragungspartikel anstelle eines Siebs.

Weisen alle Wärmeübertragungspartikelfraktionen eine Partikelgröße oberhalb der Maschenweite des Siebs **34** auf, ist ein nachgeschaltetes Rotationssieb nicht erforderlich. Der Pyrolysekoks kann direkt der Mischkammer zugeführt werden.

Weisen alle Wärmeübertragungspartikelfraktionen eine Partikelgröße unterhalb der maximalen Partikelgrößen des Pyrolysekokses auf, eigenen sich bevorzugt magnetische Abscheidevorrichtungen in Verbindung mit magnetischen Wärmeübertragungspartikeln oder ausschließlich ein oder mehrere hintereinander geschaltete Rotationssiebe **16** der vorgenannten Art anstelle eines verstellbaren Siebs **34**. Aus diesen wird dann der Pyrolysekoks der Mischkammer zugeführt.

Die Ableitung für fluidische Pyrolyseprodukte **7** dient dem Abzug des fluidischen Stoffteilstroms aus dem Pyrolysereaktor **1** zu einem Kondensator **23**, vorzugsweise eine Membrantrennvorrichtung für eine Flüssig/Gastrennung. In diesem erfolgt eine Trennung der flüssigen und gasförmigen Pyrolyseprodukte, dem Pyrolysekondensat von dem Pyrolysegas. Die Temperatur der fluidischen Pyrolyseprodukte ist zur Vermeidung von Verdampfungseffekten, die eine zuverlässige Trennung stören könnten, unterhalb der Siedetemperatur des Pyrolysekondensats zu wählen, vorzugsweise zwischen 30 und 90°C, bevorzugt zwischen 40 und 80°C, weiter bevorzugt zwischen 50 und 70°C einzustellen.

Das Pyrolysegas verlässt den Kondensator über eine Gasleitung **24** und wird entweder einer weiteren Verwendung wie z.B. einer Kreisgasauskopplung **26** zugeführt und/oder für die Energieversorgung das Pyrolysesystem, d.h. für die Verbrennung als Brenn-

stoffstrom **25** für die Brenner **11** und **20** abgezweigt.

Das Pyrolysekondensat wird wiederum vom Kondensator **23** über eine Kondensatleitung **27** in die Mischkammer **28** geleitet, wo es mit dem Pyrolysekoks zu einer Suspension, dem sog. Slurry vermischt wird und als Slurrystrom **29** einer Weiterleitung (Transport oder Lagerung) zu einer anschließenden bevorzugten Flugstromvergasung weitergeleitet wird.

Die Pyrolyse findet im Pyrolysereaktor **1** statt, der vorzugsweise waagerecht zumindest aber maximal 10° zur Horizontalen geneigt angeordnet ist (vgl. **Fig.1 und 2**). Dagegen dient die Aufheizstrecke **3**, in der keine nennenswerte chemische Reaktion (allenfalls der Verbrennung) soll, der Überbrückung eines Höhenunterschieds von dem Sammelbehälter **18** zur Zuführung für Wärmeübertragungspartikel **5** für die Wärmeübertragungskörper. Folglich überbrücken die Wärmeübertragungspartikel beim Durchlaufen der Aufheizstrecke eine Steigung; die Aufheizstrecke weist eine entsprechende Neigung zur Horizontalen auf, vorzugsweise zwischen 10 und 60°, weiter bevorzugt zwischen 20 und 50°, weiter bevorzugt zwischen 30 und 40° auf. Sofern die platzlichen Verhältnisse es zulassen und die vorgenannte Neigung damit nicht zu groß wird, lassen sich die beiden Sammelbehälter **18** und **22** gem. **Fig.3** auch zu einem Sammelbehälter **18** gem. **Fig.4** zusammenfassen, wobei die Lage dieses gemeinsamen Sammelbehälters dem des zweiten Sammelbehälters gem. **Fig.1 bis 3** entspricht. Eine Transporteinheit **17** wäre dann nicht mehr erforderlich, jedoch weist die Aufheizstrecke eine höhere Neigung zur Horizontalen auf.

Bezugszeichenliste

1 Pyrolysereaktor
2 Förderschnecke des Pyrolysereaktors
3 Aufheizstrecke
4 Förderschnecke der Aufheizstrecke
5 Zuführung für Wärmeübertragungspartikel
6 Zuführung für Einsatzstoffe
7 Ableitung für fluidische Pyrolyseprodukte
8 Ableitung für solide Pyrolyseprodukte
9 Förderrichtung
10 Wärmeübertragungspartikel
11 Brenner
12 solider Stoffteilstrom
13 erste Wärmeübertragungspartikelfraktion
14 Pyrolysekoks
15 nicht abgeschiedene Teil des Stoffteilstroms
16 Rotationssieb
17 Transporteinheit
18 Sammelbehälter
19 zweite Wärmeübertragungspartikelfraktion
20 Brenner im Sammelbehälter
21 Verbrennungsluftzufuhr
22 zweiter Sammelbehälter
23 Kondensator
24 Gasleitung
25 Brennstoffstrom
26 Kreisgasauskopplung
27 Kondensatleitung
28 Mischkammer
29 Slurrystrom
30 Drehrichtung der Förderschnecke in der Aufheizstrecke
31 Drehrichtung der Förderschnecke im Pyrolysereaktor
32 fluidischer Stoffteilstrom
33 Lamdasonde
34 Sieb

Patentansprüche:

1. Pyrolysesystem für kohlenstoffhaltige Einsatzstoffe, umfassend
   a) einen Pyrolysereaktor (**1**),
   b) eine Aufheizstrecke (**3**) für Wärmeübertragungspartikel (**10**) sowie
   c) einem geschlossenen Kreislauf der Wärmeübertragungspartikel (**10**) durch den Pyrolysereaktor und die Aufheizstrecke, wobei,
   d) die Aufheizstrecke Brenner (**11, 20**) aufweist, wobei die Brenner mit Pyrolysegas beheizbar sind sowie
   e) sauerstoffarme Abgase aus der Verbrennung in den Pyrolysereaktor (**3**) einleitbar sind und in diesem eine sauerstoffarme Pyrolyseatmosphäre bilden,

   dadurch gekennzeichnet, dass
   f) die Aufheizstrecke Zwangsfördermittel für die Wärmeübertragungspartikel (**10**) aufweist.

2. Pyrolysesystem nach Anspruch 1, wobei die Aufheizstrecke (**3**) eine Förderschnecke (**4**) als Zwangsfördermittel aufweist.

3. Pyrolysesystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Aufheizstrecke (**3**) durch ein Volumen in einem Gehäuse gebildet wird, wobei mindestens ein Brenner (**11**) in das Volumen einmündet.

4. Pyrolysesystem nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei die Aufheizstrecke (**3**) über eine gasdichte Zuführung für Wärmeübertragungspartikel (**10**) in den Pyrolysereaktor (**1**) ausmündet.

5. Pyrolysesystem nach Anspruch 4, wobei die Zuführung eine Lambdasonde (**33**) zur Erfassung des Sauerstoffgehalts in der Zuführung aufweist.

6. Pyrolysesystem nach Anspruch 5, umfassend eine Regeleinheit für die Brenner (**11, 20**) unter Heranziehung des Sauerstoffgehalts.

7. Pyrolysesystem nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei der Pyrolysereaktor je einer Zuführung für Wärmeübertragungspartikel (**5**) und Einsatzstoffen (**6**), je eine Ableitung für fluidische und solide Pyrolyseprodukte (**7 bzw. 8**) sowie Fördermittel (**2**) für die Wärmeübertragungspartikel (**10**) und die Einsatzstoffe aufweist.

8. Pyrolysesystem nach einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei die Fördermittel (**2, 4**) im Pyrolysereaktor (**1**) und in der Aufheizstrecke (**3**) jeweils mindestens eine drehbare Förderschnecke umfassen.

9. Pyrolysesystem nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei zwischen Pyrolysereaktor (**1**) und Aufheizstrecke (**3**) mindestens eine Trenneinrichtung (**16, 34**) zum Trennen von Wärmeübertragungspartikeln und soliden Pyrolyseprodukten vorgesehen ist.

10. Pyrolysesystem nach Anspruch 9, wobei die Trenneinrichtungen ein Sieb (**34**) umfasst.

11. Pyrolysesystem nach Anspruch 9 oder 10, wobei das Sieb (**34**) eine verstellbare Maschenweite aufweist.

12. Pyrolysesystem nach einem der Ansprüche 9 bis 11, wobei die Wärmeübertragungspartikel (**10**) mindestens zwei in der Größe und/oder Materialzusammensetzung unterschiedliche Wärmeübertragungspartikelfraktionen (**13, 19**) aufteilt und die Trennvorrichtung (**16, 34**) für jede Wärmeübertragungspartikelfraktion ein Sieb oder andere Trennvorrichtung umfasst.

13. Pyrolysesystem nach einem der Ansprüche 9 bis 12, wobei die

Trenneinrichtung eine magnetische Abscheidungsvorrichtung für magnetische Wärmeübertragungspartikel umfasst.

14. Pyrolysesystem nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei ein Kondensator für die Trennung von fluidischen Pyrolyseprodukte in Pyrolysekondensat und Pyrolysegas vorgesehen ist, wobei das Pyrolysegas der Verbrennung zugeführt wird.

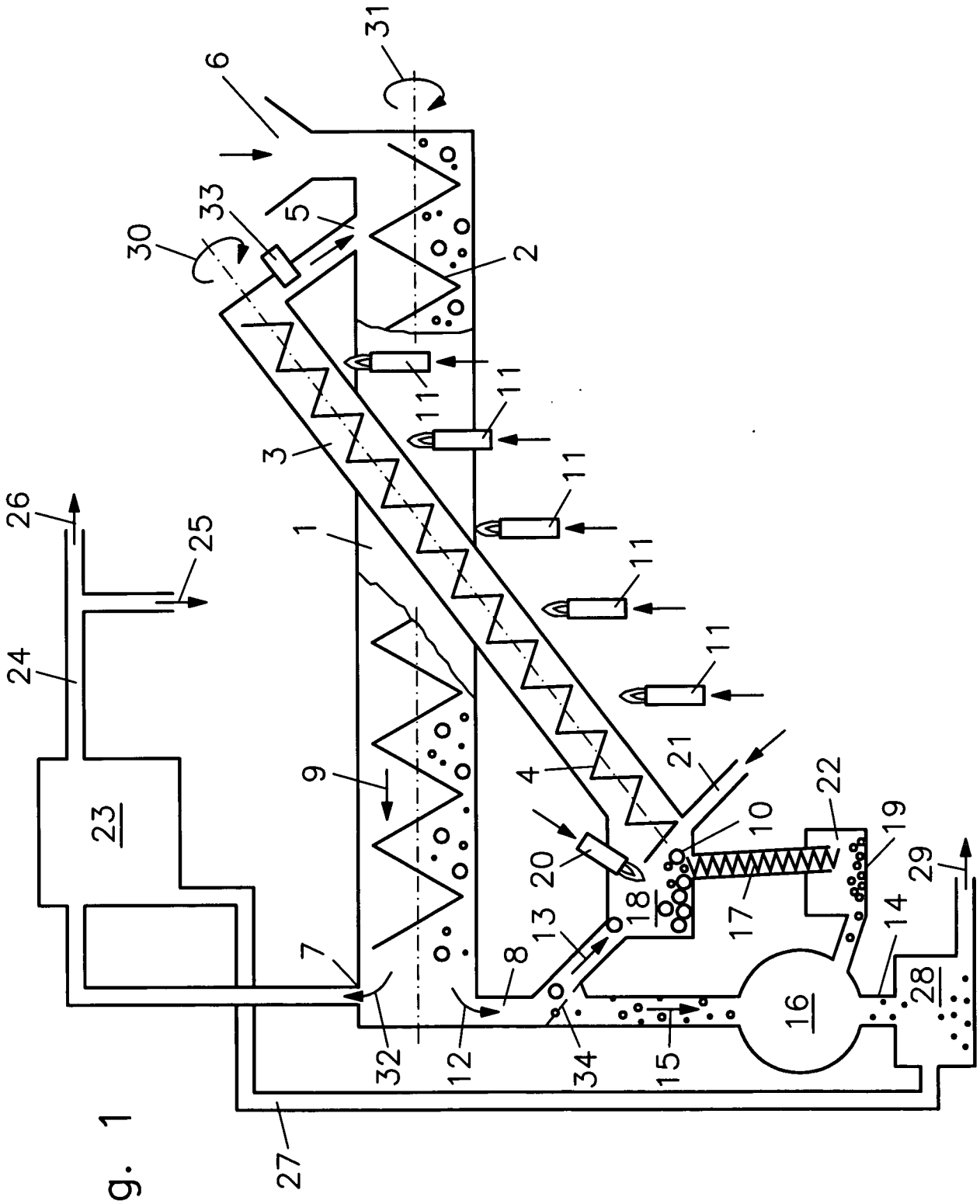

31
6
33
30
5
2
11
11
3
11
1
11
11
26
25
24
23
9
4
21
22
10
19
20
18
17
29
13
14
7
8
16
28
32
12
34
15
27

Fig. 1

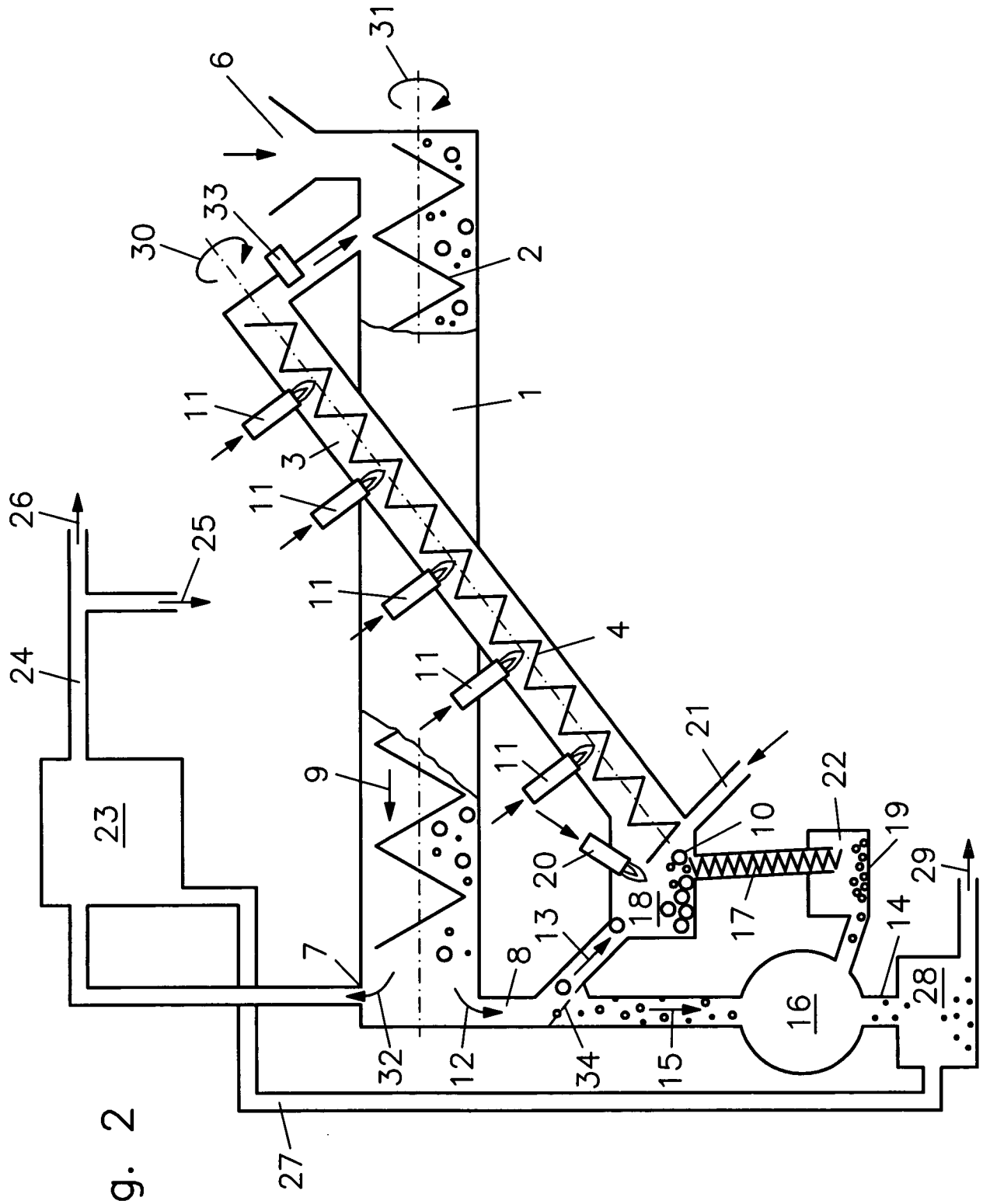

31
6
33
30
2
1
11
3
11
26
25
11
4
24
11
21
9
11
22
10
19
20
23
18
17
29
13
14
7
8
28
16
32
12
34
15
27

Fig. 2

Fig. 3

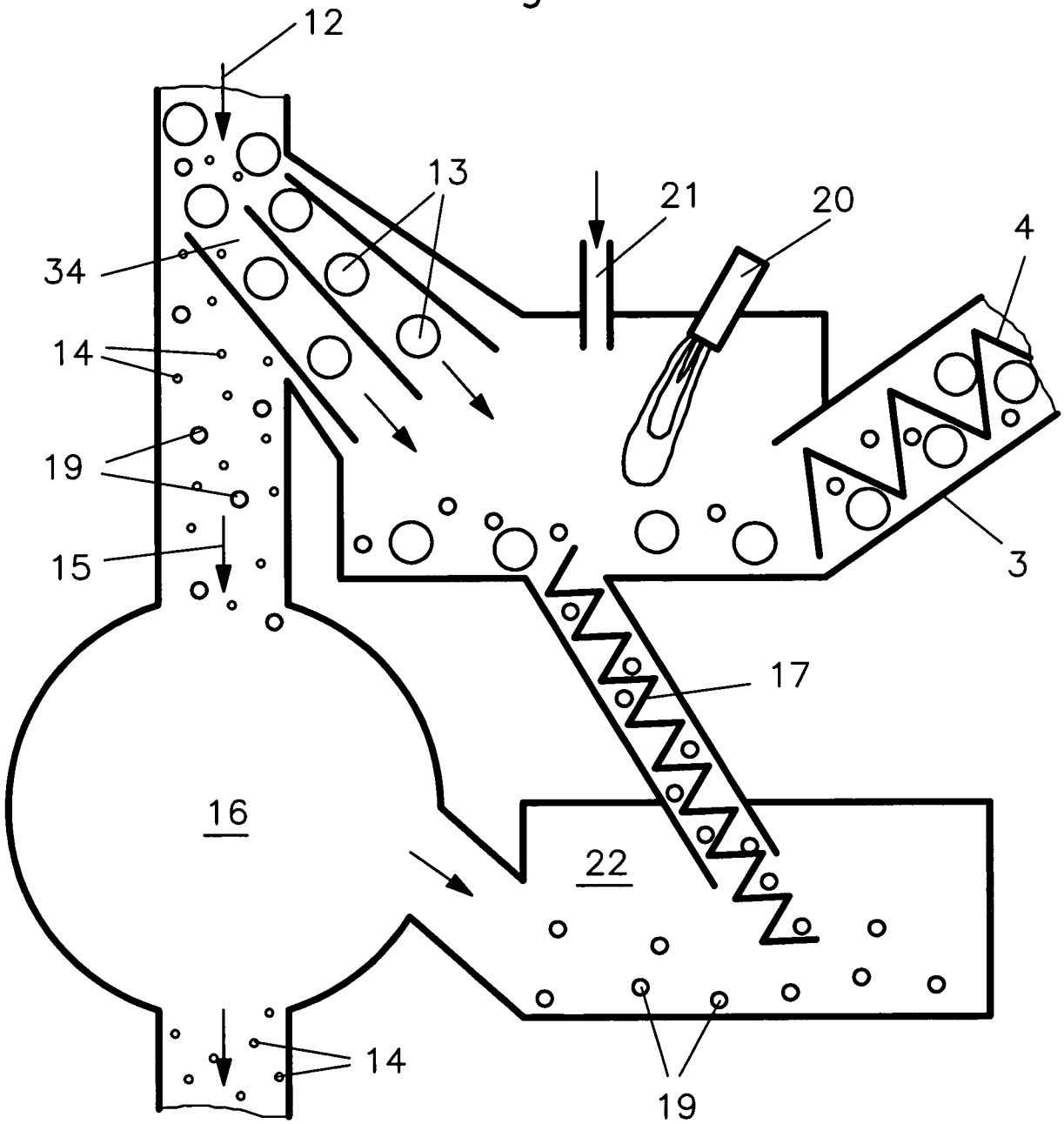
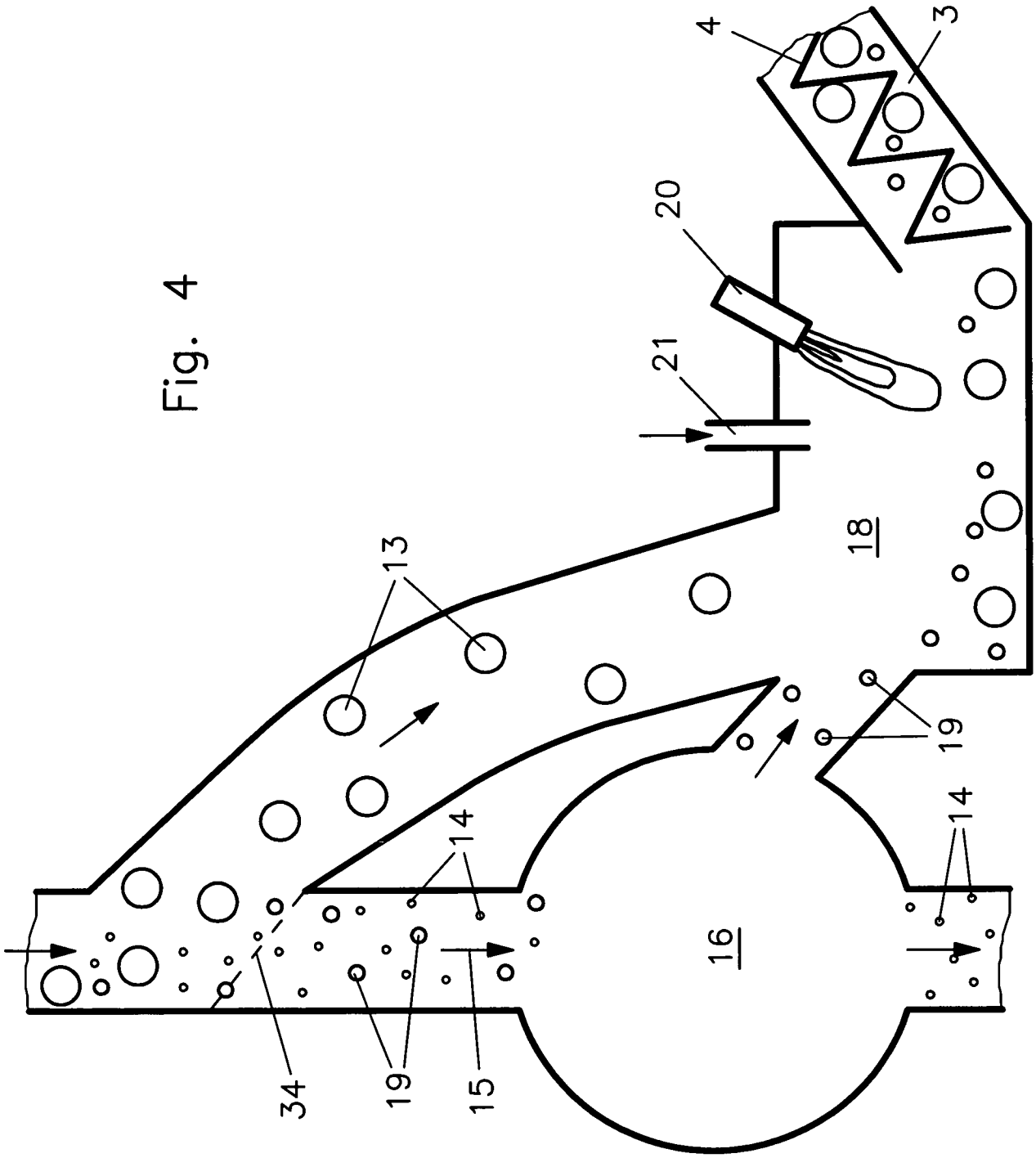


Fig. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/010335

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. C10B53/02 C10B49/20 C10B7/10

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)
C10B

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 628 877 A (MARTIN GERARD [FR]) 13 May 1997 (1997-05-13) figures 1,2 column 3, lines 1-4 column 3, lines 64-67 column 4, line 1	1-14
X	DE 43 09 283 A1 (WM UMWELTTECHNIK GMBH [DE]) 29 September 1994 (1994-09-29) column 1, lines 53-56 column 4, lines 49-61 figure	1-14

-/--

[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 document but published on or after the international filing date

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 Mai 2009	27/05/2009

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	Zuurdeeg, Boudewijn

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/010335

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2005 037917 A1 (KARLSRUHE FORSCHZENT [DE]) 15 February 2007 (2007-02-15) cited in the application figures 1a,1b,2 claims 1-12 paragraphs [0029], [0034], [0045], [0047]	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2008/010335

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5628877 A	13-05-1997	NONE	
DE 4309283 A1	29-09-1994	NONE	
DE 102005037917 A1	15-02-2007	CA 2618000 A1	15-02-2007
		CN 101238197 A	06-08-2008
		EP 1913116 A1	23-04-2008
		WO 2007017005 A1	15-02-2007

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/010335

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C10B53/02 C10B49/20 C10B7/10

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C10B

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, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 628 877 A (MARTIN GERARD [FR]) 13. Mai 1997 (1997-05-13) Abbildungen 1,2 Spalte 3, Zeilen 1-4 Spalte 3, Zeilen 64-67 Spalte 4, Zeile 1	1-14
X	DE 43 09 283 A1 (WM UMWELTTECHNIK GMBH [DE]) 29. September 1994 (1994-09-29) Spalte 1, Zeilen 53-56 Spalte 4, Zeilen 49-61 Abbildung	1-14
X	DE 10 2005 037917 A1 (KARLSRUHE FORSCHZENT [DE]) 15. Februar 2007 (2007-02-15) in der Anmeldung erwähnt Abbildungen 1a,1b,2 Ansprüche 1-12 Absätze [0029], [0034], [0045], [0047]	1-14

☐ 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" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. Mai 2009	27/05/2009

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	Zuurdeeg, Boudewijn

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2008/010335

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5628877 A	13-05-1997	KEINE	
DE 4309283 A1	29-09-1994	KEINE	
DE 102005037917 A1	15-02-2007	CA 2618000 A1	15-02-2007
		CN 101238197 A	06-08-2008
		EP 1913116 A1	23-04-2008
		WO 2007017005 A1	15-02-2007