

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103181

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21) N° de dépôt: LU103181

(51) Int. Cl.:

B01J 8/08, B01J 4/00, B01J 6/00, B01J 8/12

(22) Date de dépôt: 09/08/2023

(30) Priorité:

(43) Date de mise à disposition du public: 10/02/2025

(47) Date de délivrance: 10/02/2025

(73) Titulaire(s):

THYSSENKRUPP UHDE GMBH –
45143 Essen (Deutschland), THYSSENKRUPP AG –
45143 Essen (Deutschland)

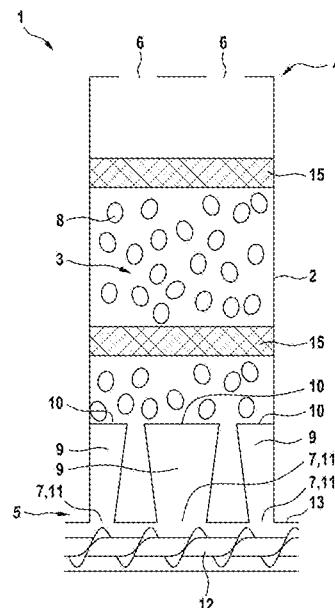
(72) Inventeur(s):

ANTWEILER Nicolai – Deutschland, WUWER Matthias – Deutschland

(74) Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Deutschland)(54) **Reaktor und Verfahren zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden .**

(57) Die Erfindung betrifft einen Reaktor (1) zumindest zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei der Reaktor (1) einen Reaktormantel (2) sowie einen innerhalb des Reaktormantels (2) angeordneten Reaktorraum (3) aufweist, wobei der Reaktor (1) einen Reaktorkopf (4) sowie einen Reaktorsumpf (5) aufweist, wobei der Reaktorkopf (4) sowie der Reaktorsumpf (5) jeweils zumindest zeitweise verschließbare Zuführöffnungen (6) sowie Ausführungsöffnungen (7) aufweisen, durch welche zumindest Fluide oder Feststoffe, insbesondere Partikel, einzubringen oder auszubringen sind, sodass zur Erzeugung eines Wanderbettes (8) durch den Reaktorkopf (4) zumindest zeitweise kontinuierlich Partikel in den Reaktorraum (3) eingebracht sind. Bei einem Reaktor bei dem Instabilitäten des elektrischen Wärmeintrags bei der Methanpyrolyse zur Herstellung von Wasserstoff und Pyrolysekohlenstoff verhindert werden können, ist vorgesehen, dass in dem Reaktorraum (3) mehrere konusförmige Bauteile (9) angeordnet sind, wobei die konusförmigen Bauteile (9) hohl ausgestaltet sind und eine Eingangsöffnung (10) und eine Ausgangsöffnung (11) aufweisen und wobei die Eingangsöffnung (10) einen größeren Durchmesser aufweist als die Ausgangsöffnung (11).

Fig. 1

Beschreibung

5 Reaktor und Verfahren zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden

Die Erfindung betrifft einen Reaktor zumindest zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens 10 wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei der Reaktor einen Reaktormantel sowie einen innerhalb des Reaktormantels angeordneten Reaktorraum aufweist, wobei der Reaktor einen Reaktorkopf sowie einen Reaktorsumpf aufweist, wobei der Reaktorkopf sowie der Reaktorsumpf jeweils zumindest zeitweise verschließbare Zuführöffnungen sowie Ausführöffnungen aufweisen, durch welche zumindest Fluide oder Feststoffe, 15 insbesondere Partikel, einzubringen oder auszubringen sind, sodass zur Erzeugung eines Wanderbettes durch den Reaktorkopf zumindest zeitweise kontinuierlich Partikel in den Reaktorraum eingebracht sind.

Daneben betrifft die Erfindung ein Verfahren zumindest zur Pyrolyse von 20 kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide einem Reaktorraum eines Reaktors in Gegenströmung zu einem aus Partikeln bestehenden Wanderbettes des Reaktors zugeführt werden, wobei zumindest die Partikel des Wanderbettes oder die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide mittels in dem Reaktorraum 25 angeordneter Elektroden, zur Erzeugung thermischer Energie, auf eine definierte Temperatur im Bereich zwischen 800- 1600°C aufgeheizt werden, wobei an einem Reaktorkopf Partikel des Wanderbettes eingebracht werden und wobei an einem Reaktorsumpf Partikel des Wanderbettes ausgebracht werden.

30 Die thermische Pyrolyse von Methan ist eine stark endotherme Reaktion die kinetisch und thermodynamisch bevorzugt in einem Temperaturbereich von 1000 °C - 1500 °C und Drücken bis 40 bar abläuft. Das Gleichgewicht verschiebt sich mit höherem Druck auf die Eduktseite. Aus wirtschaftlichen Gründen wird ein Druck zwischen 5 bis 15 bar,

bevorzugt zwischen 10 und 25 bar gewählt. Durch die thermische Spaltung fällt neben Wasserstoff auch Pyrolysekohlenstoff an, der ein zusätzliches Wertprodukt darstellt.

Eine Formulierung des Kohlenstoffes ist bereits im Reaktionsschritt möglich. Bei Vorlage von Kohlenstoffpartikeln pyrolysiert das Methan bevorzugt auf den vorgelegten

- 5 Partikeln. Die Partikelgrößen sind durch die Größe der vorgelegten Partikel und die spezifische Kohlenstoffabscheidung einstellbar. Zur Bereitstellung der Reaktionsenthalpie ist der elektrische Wärmeeintrag besonders geeignet. Der Reaktor wird dabei über mindestens ein, in der Partikelschüttung axial angeordnetes, Elektrodenpaar widerstandsbeheizt. Die Elektroden können auch horizontal, 10 beispielsweise an einer Reaktorwand und nicht axial im Fließbett angeordnet sein.

Der elektrische Strom fließt über die Kohlenstoffschüttung und dissipiert, aufgrund des elektrischen Widerstandes der Partikelschüttung, in thermische Energie. Der elektrische Widerstand resultiert aus der Partikelschüttung bzw. den Übertragungsflächen, während

- 15 die Kohlenstoffpartikel eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen. Für einen homogenen Wärmeeintrag in das Beheizungsvolumen ist ein homogener elektrischer Widerstand über die gesamte Querschnittsfläche des Reaktors erforderlich. Treten Pfade mit abweichendem elektrischen Widerstand auf, fließt der elektrische Strom bevorzugt in den Bereichen des geringen elektrischen Widerstandes. In der Folge sind 20 die Umsätze in diesen Bereichen, aufgrund höherer Temperaturen, höher. Durch die Ablagerungen des pyrolytischen Kohlenstoffes reduziert sich der Widerstand entlang dieser „bevorzugten“ Pfade weiter. Die Konsequenz sind Hotspots und letztendlich ein Versagen des Beheizungskonzeptes. Ein solches Konzept zeigt beispielsweise die Druckschrift WO 2020 244 803 A1.

25

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Reaktor sowie ein Verfahren anzugeben, bei denen Instabilitäten des elektrischen Wärmeeintrags bei der Methanpyrolyse zur Herstellung von Wasserstoff und Pyrolysekohlenstoff verhindert werden können.

30

Diese Aufgabe ist bei der vorliegenden Erfindung durch die Merkmale des Kennzeichnungsteils des Patentanspruchs 1 zunächst dadurch gelöst, dass in dem Reaktorraum mehrere konusförmige Bauteile angeordnet sind, wobei die

konusförmigen Bauteile hohl ausgestaltet sind und eine Eingangsöffnung und eine Ausgangsöffnung aufweisen und wobei die Eingangsöffnung einen größeren Durchmesser aufweist als die Ausgangsöffnung.

- 5 Die zeitweise verschließbaren Zuführöffnungen sowie Ausführöffnungen können unterschiedlich ausgestaltet sein. Denkbar sind sowohl manuelle als auch automatisierte Öffnungs- und Schließvorgänge. In erster Linie muss sichergestellt werden, dass die verwendeten Mittel zum Verschließen der Zuführöffnungen beziehungsweise Ausführöffnungen dazu geeignet sind, den hohen Drücken und
- 10 Temperaturen der Pyrolyse standzuhalten.

Bei einem Wanderbett handelt es sich um einen Granulatbett beziehungsweise ein Bett aus Partikeln. Denkbar wäre, dass der gesamte Querschnitt des Reaktormantels ausgefüllt wird. Es ist aber auch denkbar, dass das Wanderbett einen ringförmigen

- 15 Querschnitt aufweist. Durch kontinuierliches Austragen der Partikel am Reaktorsumpf wird ein stetiges Abwärtswandern des Wanderbettes erreicht. Die Partikel können entnommen und ersetzt werden oder am Reaktorkopf wieder in den Reaktorraum geleitet werden. Unter dem Reaktorraum ist in diesem Falle das Innere des Reaktors inklusive etwaiger Ein- und Austragszonen zu verstehen.

- 20
- Die konusförmigen Bauteile dienen dazu, im Reaktorraum eine Relativbewegung der Partikel des Wanderbettes zu realisieren. Auf diese Weise können Pfade mit abweichendem elektrischen Widerstand vermieden werden. Die konusförmigen Bauteile können dabei trichterförmig beziehungsweise wie ein konischer Zylindermantel
- 25 ausgebildet sein. Das konusförmige Bauteil ist in seiner Längserstreckung durchströmbar, wohingegen es in radialer Richtung nicht durchströmt werden kann.

- 30 Die zeitweise verschließbaren Ausführöffnungen können derart ausgestaltet sein, dass sie unabhängig voneinander geöffnet und geschlossen werden können. Besonders bevorzugt sind die Ausführöffnungen so ausgestaltet, dass sie nacheinander, zeitlich versetzt, geöffnet und geschlossen werden können. Dabei kann vorgesehen sein, dass jeweils eine Ausführöffnung mit einem konusförmigen Bauteil in Verbindung steht,

sodass bei einem Austrag aus einer Ausführöffnung ein Austrag durch das jeweilige konusförmige Bauteil erfolgt.

Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen, in
5 den Unteransprüchen genannten Merkmalen.

- Bei einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors ist vorgesehen, dass die konusförmigen Bauteile in ihrer Längserstreckung parallel zueinander angeordnet sind. Auf diese Weise können die konusförmigen Bauteile entsprechend in ihrer
10 Längserstreckung durchströmt werden, wodurch der Reaktorraum durch die konusförmigen Bauteile in mehrere Abschnitte aufgeteilt wird. Die Fließrichtung ist bei jedem der konusförmigen Bauteile identisch, sodass kein unterschiedlich gerichteter Fluss entsteht.
- 15 Vorteilhafterweise kann bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors vorgesehen sein, dass die Ausgangsöffnungen in Wirkverbindung mit mindestens einer Austragsvorrichtung stehen, durch die Partikel aus dem Reaktor beförderbar sind. Bei der Austragsvorrichtung kann es sich beispielsweise um eine Austragsschnecke handeln. Denkbar sind aber auch weitere bekannte Vorrichtungen,
20 die dazu geeignet sind, Partikel aus dem Reaktor auszutragen. Die Austragsvorrichtung kann beispielsweise in ihrer Förderrichtung senkrecht zu der Förderrichtung der Ausgangsöffnungen beziehungsweise senkrecht zu der Förderrichtung der konusförmigen Bauteile angeordnet sein. Auf diese Weise können die Partikel effizient aus dem Wirkbereich des Reaktors herausbefördert und entweder weiter behandelt
25 oder rückgeführt werden.

Bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass in dem Reaktorraum Trennwände angeordnet sind und dass sich die Trennwände radial vom Zentrum des Reaktorraums zum Reaktormantel erstrecken, sodass der Reaktorraum
30 durch die Trennwände zumindest teilweise segmentiert ist. Durch eine weitere Segmentierung des Reaktorraums kann die Scherung der Partikel in axialer Richtung verschoben werden. Es kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die Trennwände in Förderrichtung beziehungsweise Strömungsrichtung der Partikel vor den konusförmigen

Bauteilen angeordnet sind. Somit verlängert sich die Strecke der Scherzone. Ohne die Trennwände liegt die Scherung verstärkt unten am Austrag vor und mit den Trennwänden wird eine Scherung weiter oben im Reaktor erzielt. Die Scherzone liegt oberhalb der Trennwände. Die Scherung (Relativbewegung) wird in der Reaktionszone

5 benötigt.

Denkbar ist aber bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors, dass die konusförmigen Bauteile jeweils in einem der durch die Trennwände gebildeten Segmente angeordnet sind. Auf diese Weise kann eine Relativbewegung der Partikel 10 intensiviert werden, wobei die Relativbewegung der Partikel zueinander oberhalb der Trennwände intensiviert wird.

Bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors ist vorgesehen, dass in dem Reaktorraum mindestens zwei, in Bezug auf die Durchflussrichtung der 15 kohlenwasserstoffhaltigen Fluide, in Fließrichtung voneinander beabstandete Elektroden, insbesondere Gitterelektroden, über die der Reaktor widerstandbeheizt werden kann, angeordnet sind. Eine besondere Herausforderung stellt der benötigte Wärmeeintrag in das Reaktorsystem dar. Das priorisierte Reaktorkonzept verfolgt eine direkt elektrische Beheizung der Partikel beziehungsweise der Kohlenstoffschüttung. 20 Durch die Vorteile des erfindungsgemäßen Reaktors wird ein inhomogener Wärmeeintrag vermieden und die damit verbundene Reduktion des elektrischen Widerstandes führt nicht zu einem Versagen des Beheizungskonzepts.

Ferner kann bei einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass die 25 konusförmigen Bauteile in Fließrichtung hinter den Elektroden angeordnet sind. Bei einem Reaktor, wie dem erfindungsgemäßen, sind die konusförmigen Bauteile folglich unter den Elektroden angeordnet. Es hat sich gezeigt, dass der versetzte Partikelabzug dazu führt, dass im Intraelektrodenraum eine bevorzugte Relativbewegung der Partikel stattfindet.

30

Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Reaktors ist vorgesehen, dass mindestens drei konusförmige Bauteile vorgesehen sind und dass die konusförmigen Bauteile konzentrisch in Bezug auf das Zentrum des Reaktorraums

angeordnet sind. Durch eine konzentrische Anordnung, beispielsweise in einem im Querschnitt runden Reaktor beziehungsweise Reaktorraum, können die konusförmigen Bauteile eine die Relativbewegung der Partikel zueinander begünstigen. Die konzentrische Anordnung führt dazu, dass eine Gleichverteilung der konusförmigen

- 5 Bauteile örtlich im Reaktorraum realisiert werden kann.

Die vorgenannte Aufgabe wird außerdem gelöst von einem Verfahren zumindest zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide

- 10 einem Reaktorraum eines Reaktors in Gegenströmung zu einem aus Partikeln bestehenden Wanderbettes des Reaktors zugeführt werden, wobei zumindest die Partikel des Wanderbettes oder die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide mittels in dem Reaktorraum angeordneter Elektroden, zur Erzeugung thermischer Energie, auf eine definierte Temperatur im Bereich zwischen 800- 1600°C aufgeheizt werden, wobei an
15 einem Reaktorkopf Partikel des Wanderbettes eingebracht werden und wobei an einem Reaktorsumpf Partikel des Wanderbettes ausgebracht werden. Bei dem Verfahren ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Partikel mehrere konusförmige Bauteile, die im Reaktorraum angeordnet sind, durchlaufen und anschließend mittels Austragsschnecken aus dem Reaktor ausgebracht werden. Dabei können bevorzugt
20 Kohlenstoffpartikel genutzt werden, die als Wanderbett den Reaktor durchlaufen.

Bei einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass ein erfindungsgemäßer Reaktor verwendet wird. Die obigen Ausführungen betreffend den erfindungsgemäßen Reaktor gelten entsprechend auch für das

- 25 erfindungsgemäße Verfahren.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass ein Austrag der Partikel durch die konusförmigen Bauteile zeitlich versetzt erfolgt. Durch die Kombination eines asymmetrischen und zeitlich versetzten

- 30 Austrags kann eine Durchmischung erfolgen, sodass eine Relativbewegung der Partikel zueinander begünstigt wird. Der Austrag kann dabei abwechselnd, sollten drei konusförmige Bauteile verbaut sein, zunächst durch das erste konusförmige Bauteil, dann das zweite konusförmige Bauteil und anschließend durch das dritte konusförmige

Bauteil erfolgen. So kommt es oberhalb der optional verbauten Trennwände durch den abwechselnden Abzug zur Durchmischung und einer Relativbewegung der Partikel zueinander.

- 5 Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

10

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Reaktors zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden,

15

Figur 2 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Reaktors zur Pyrolyse von wasserstoffhaltigen Fluiden,

20

Figur 3 die Darstellung gemäß Figur 2 in einem Querschnitt und

Figur 4 eine schematische Blockdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden.

25

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Reaktors 1 in einer Längsschnittdarstellung. Der Reaktor 1 umfasst einen Reaktormantel 2, wobei der Reaktormantel 2 einen Reaktorraum 3 einschließt. Der Reaktor 1 weist zusätzlich einen Reaktorkopf 4 und einen Reaktorsumpf 5 auf, wobei am Reaktorkopf 4 mehrere Zuführöffnungen 6 angeordnet sein können, während an dem Reaktorsumpf 5 mehrere Ausführöffnungen 7 verortet sind.

Der Reaktor 1 ist dazu ausgelegt, Kohlenstoffpartikel in Form eines Wanderbettes 8 aufzunehmen, wobei die Kohlenstoffpartikel den Reaktor 1 durch die Zuführöffnungen 6 am Reaktorkopf 4 über die Ausführöffnungen 7 am Reaktorsumpf durchlaufen.

In diesem Ausführungsbeispiel wird der Reaktor 1 für die Pyrolyse von Methan genutzt.

Methan kann im Gegenstrom eingelassen werden und pyrolysiert an den aufgeheizten

Kohlenstoffpartikeln des Wanderbettes 8. Ein Aufheizen des Wanderbettes 8 ist

notwendig, da die thermische Pyrolyse von Methan eine stark endotherme Reaktion ist,

- 5 die kinetisch und thermodynamisch bevorzugt in einem Temperaturbereich von 1000 °C – 1500 °C und Drücken vorzugsweise im Bereich zwischen 10 und 25 bar abläuft.

Um eine homogene Erwärmung des Wanderbettes 8 zu erzeugen, sind in dem

Reaktorraum 3, in diesem Ausführungsbeispiel, drei konzentrisch zueinander

- 10 angeordnete konusförmige Bauteile 9 angeordnet. Die konusförmigen Bauteile 9 dienen dazu, im Reaktorraum eine Relativbewegung der Partikel des Wanderbettes 8 zu realisieren, also eine Bewegung, in der sich möglichst alle Partikel relativ zueinander bewegen. Die konusförmigen Bauteile 9 sind dabei trichterförmig. Das konusförmige Bauteil ist in seiner Längserstreckung durchströmbar, wohingegen es in radialer
- 15 Richtung nicht durchströmt werden kann. Die konusförmigen Bauteile 9 weisen jeweils eine Eingangsöffnung 10 und eine Ausgangsöffnung 11 auf, wobei die Eingangsöffnung 10 einen größeren Durchmesser aufweist als die Ausgangsöffnung 11.

Die konusförmigen Bauteile 9 sind am Reaktorboden 13 angeordnet und dienen

- 20 zusätzlich dem Austrag der Kohlenstoffpartikel. Die Ausgangsöffnungen 11 der konusförmigen Bauteile 9 stehen dabei mit den Ausführöffnungen 7 des Reaktors in Verbindung, sodass ein Austrag der Kohlenstoffpartikel durch die konusförmigen Bauteile 9 hindurch erfolgt. Die Ausführöffnungen 7 beziehungsweise die Ausgangsöffnungen 11 stehen dabei mit einer Austragsschnecke in Wirkverbindung.

- 25 Durch die Austragsschnecke sind Partikel aus dem Reaktor 1 beförderbar. Die Austragsschnecke 12 ist in ihrer Förderrichtung senkrecht zu der Förderrichtung der Ausgangsöffnungen 11 beziehungsweise senkrecht zu der Förderrichtung der konusförmigen Bauteile 9 angeordnet. Auf diese Weise können die Partikel effizient aus dem Wirkbereich des Reaktors 1 herausbefördert und entweder weiter behandelt oder
- 30 in den Reaktor 1 über die Zuführöffnungen 6 rückgeführt werden.

Figur 2 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Reaktors 1. Zusätzlich zu der in Figur 1 gezeigten Ausgestaltung sind in diesem Ausführungsbeispiel Trennwände 14

vorgesehen. Die Trennwände 14 sind in diesem Ausführungsbeispiel örtlich über den konusförmigen Bauteilen 9 angeordnet, sprich in Förderrichtung der Kohlenstoffpartikel vor den konusförmigen Bauteilen 9. Somit verlängert sich die Strecke in der die Bewegungsrichtung der Partikel mittels Einbauten entsprechend ausgeglichen wird.

5

Die Trennwände 14 erstrecken sich radial vom Zentrum des Reaktorraums 3 zum Reaktormantel 2, sodass der Reaktorraum 3 durch die Trennwände 14 zumindest teilweise segmentiert ist. Durch eine weitere Segmentierung des Reaktorraums 3 kann die Relativbewegung der Partikel zueinander intensiviert werden. Die Funktion der 10 Trennwände 14 ist die Scherung der Partikel, die durch einen versetzen Abzug von Material entsteht, durch die Trennwände 14 in eine obere Zone des Reaktors zu überführen.

Für den Wärmeeintrag in dem Reaktor 1 sind in dem Reaktorraum 3 zwei, in Bezug auf 15 die Durchflussrichtung der kohlenwasserstoffhaltigen Fluide, in Fließrichtung voneinander beabstandete Elektroden 15, über die der Reaktor 1 widerstandbeheizt werden kann, angeordnet. Eine besondere Herausforderung stellt der benötigte Wärmeeintrag in das Reaktorsystem dar. Das Reaktorkonzept verfolgt eine direkt elektrische Beheizung der Partikel beziehungsweise der Kohlenstoffschrüttung. Durch 20 die Vorteile der konusförmigen Bauteile 9 und der Trennwände 14 wird ein inhomogener Wärmeeintrag vermieden und die damit verbundene Reduktion des elektrischen Widerstandes führt nicht zu einem Versagen des Beheizungskonzepts.

Figur 3 zeigt das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 in einem Querschnitt. In Figur 3 ist 25 deutlich zu erkennen, dass sich die Projektionsflächen der Trennwände 14 und der konusförmigen Bauteile 9 nicht überdecken. Die konusförmigen Bauteile sind im Querschnitt jeweils in einem der durch die Trennwände 14 gebildeten Segmente 15 angeordnet. Auf diese Weise kann eine Gleichrichtung der Partikelbewegung in einem Abschnitt intensiviert werden.

30

Figur 4 zeigt eine Blockdarstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden mit einem Reaktor 1 gemäß der vorgenannten Figuren. In Schritt 100 werden kohlenwasserstoffhaltige Fluide im

Reaktorraum 3 des Reaktors 1 in Gegenströmung zu einem aus Kohlenstoffpartikel bestehenden Wanderbettes 8 dem Reaktor 1 zugeführt. In Schritt 101 werden die Partikel des Wanderbettes 8 beziehungsweise die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide mittels in dem Reaktorraum angeordneter Elektroden 15 aufgeheizt. Die definierte Temperatur liegt
5 im Bereich zwischen 800°C und 1600°C.

In Schritt 102 werden Partikel des Wanderbettes 8 an dem Reaktorkopf 4 in den Reaktor 1 eingebracht, wobei die Partikel in Schritt 103 an dem Reaktorsumpf 5 ausgebracht werden. Innerhalb des Reaktors durchlaufen die Partikel die vorgenannten
10 konusförmigen Bauteile 9, die im Reaktorraum 3 angeordnet sind. In Schritt 104 werden die Partikel mittels Austragsschnecken 12 aus dem Reaktor befördert, wobei die Partikel nachbehandelt oder direkt in den Reaktor 1 zurückgeführt werden können.

Die einzelnen Schritte laufen im vorliegenden Beispiel nicht zwingend nacheinander ab,
15 vielmehr werden die Schritte parallel beziehungsweise gleichzeitig ausgeführt, insbesondere wenn sich ein stationärer Betrieb des Reaktors 1 und des Wanderbettes 8 eingestellt hat.

Bezugszeichenliste

5

- 1 Reaktor
- 2 Reaktormantel
- 3 Reaktorraum
- 4 Reaktorkopf
- 10 5 Reaktorsumpf
- 6 Zuführöffnung
- 7 Ausführöffnung
- 8 Wanderbett
- 9 Konusförmiges Bauteil
- 15 10 Eingangsöffnung
- 11 Ausgangsöffnung
- 12 Austragsschnecke
- 13 Reaktorboden
- 14 Trennwand
- 20 15 Elektrode
- 16 Segment

Patentansprüche

- 5 1. Reaktor (1) zumindest zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei der Reaktor (1) einen Reaktormantel (2) sowie einen innerhalb des Reaktormantels (2) angeordneten Reaktorraum (3) aufweist, wobei der Reaktor (1) einen Reaktorkopf (4) sowie einen Reaktorsumpf (5) aufweist, wobei der Reaktorkopf (4) sowie der Reaktorsumpf (5) jeweils mindestens eine zumindest zeitweise verschließbare Zuführöffnung (6) sowie Ausführöffnungen (7) aufweist, durch welche zumindest Fluide oder Feststoffe, insbesondere Partikel, einzubringen oder auszubringen sind, sodass zur Erzeugung eines Wanderbettes (8) durch den Reaktorkopf (4) zumindest zeitweise kontinuierlich Partikel in den Reaktorraum (3) eingebracht sind, dadurch gekennzeichnet,
10 dass in dem Reaktorraum (3) mehrere konusförmige Bauteile (9) angeordnet sind, wobei die konusförmigen Bauteile (9) hohl ausgestaltet sind und eine Eingangsöffnung (10) und eine Ausgangsöffnung (11) aufweisen und wobei die Eingangsöffnung (10) einen größeren Durchmesser aufweist als die Ausgangsöffnung (11).

15

20 2. Reaktor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die konusförmigen Bauteile (9) in ihrer Längserstreckung (L) parallel zueinander angeordnet sind.

25 3. Reaktor (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsöffnungen (11) in Wirkverbindung mit mindestens einer Austragsvorrichtung (12) stehen, durch die Partikel aus dem Reaktor (1) beförderbar sind.

30 4. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorraum (3) Trennwände (13) angeordnet sind und dass sich die Trennwände (13) radial vom Zentrum des Reaktorraums (3) zum

Reaktormantel (2) erstrecken, sodass der Reaktorraum (3) durch die Trennwände (13) zumindest teilweise segmentiert ist.

5. Reaktor (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die konusförmigen Bauteile (9) jeweils in einem der durch die Trennwände (13) gebildeten Segmente angeordnet sind.
10. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorraum (3) mindestens zwei, in Bezug auf die Durchflussrichtung der kohlenwasserstoffhaltigen Fluide, in Fließrichtung voneinander beabstandete Elektroden (14), insbesondere Gitterelektroden, über die der Reaktor (1) widerstandbeheizt werden kann, angeordnet sind.
15. Reaktor (1) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die konusförmigen Bauteile (9) in Fließrichtung hinter den Elektroden (14) angeordnet sind.
20. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens drei konusförmige Bauteile (9) vorgesehen sind und dass die konusförmigen Bauteile (9) konzentrisch in Bezug auf das Zentrum des Reaktorraums (3) angeordnet sind.
25. Verfahren zumindest zur Pyrolyse von kohlenwasserstoffhaltigen Fluiden zumindest zur Erzeugung von wenigstens wasserstoffhaltigen Fluiden, wobei die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide einem Reaktorraum (3) eines Reaktors (1) in Gegenströmung zu einem aus Partikeln bestehenden Wanderbettes (8) des Reaktors (1) zugeführt werden, wobei zumindest die Partikel des Wanderbettes (8) oder die kohlenwasserstoffhaltigen Fluide mittels in dem Reaktorraum (3) angeordneter Elektroden (14), zur Erzeugung thermischer Energie, auf eine definierte Temperatur im Bereich zwischen 800- 1600°C aufgeheizt werden, wobei an einem Reaktorkopf (4) Partikel des Wanderbettes (8) eingebracht werden und wobei an einem Reaktorsumpf (5) Partikel des Wanderbettes (8) ausgebracht werden,

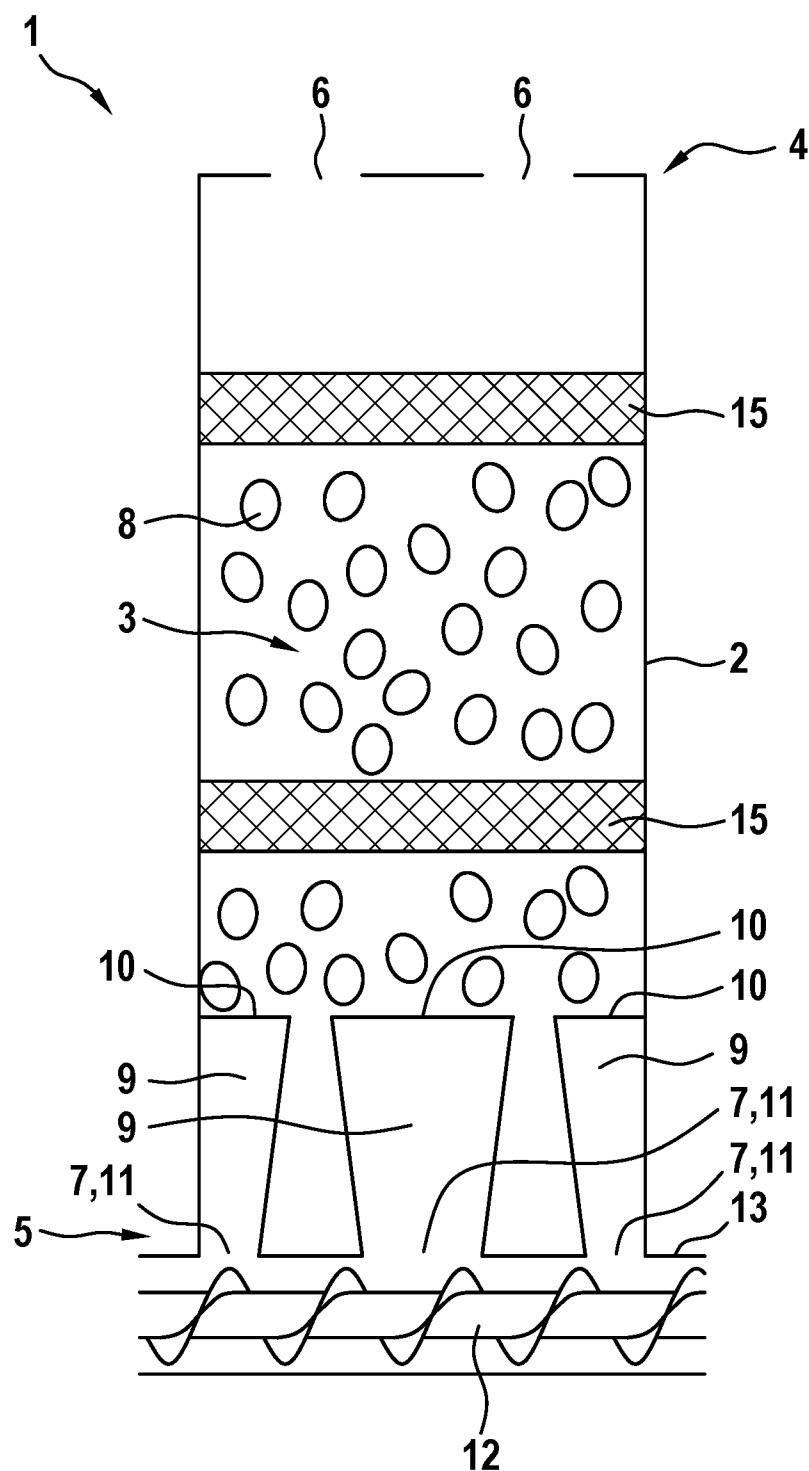
dadurch gekennzeichnet,
dass die Partikel mehrere konusförmige Bauteile (9), die im Reaktorraum (3)
angeordnet sind, durchlaufen und anschließend mittels mindestens einer
Austragsvorrichtung (12) aus dem Reaktor ausgebracht werden.

5

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Reaktor (1)
gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 verwendet wird.

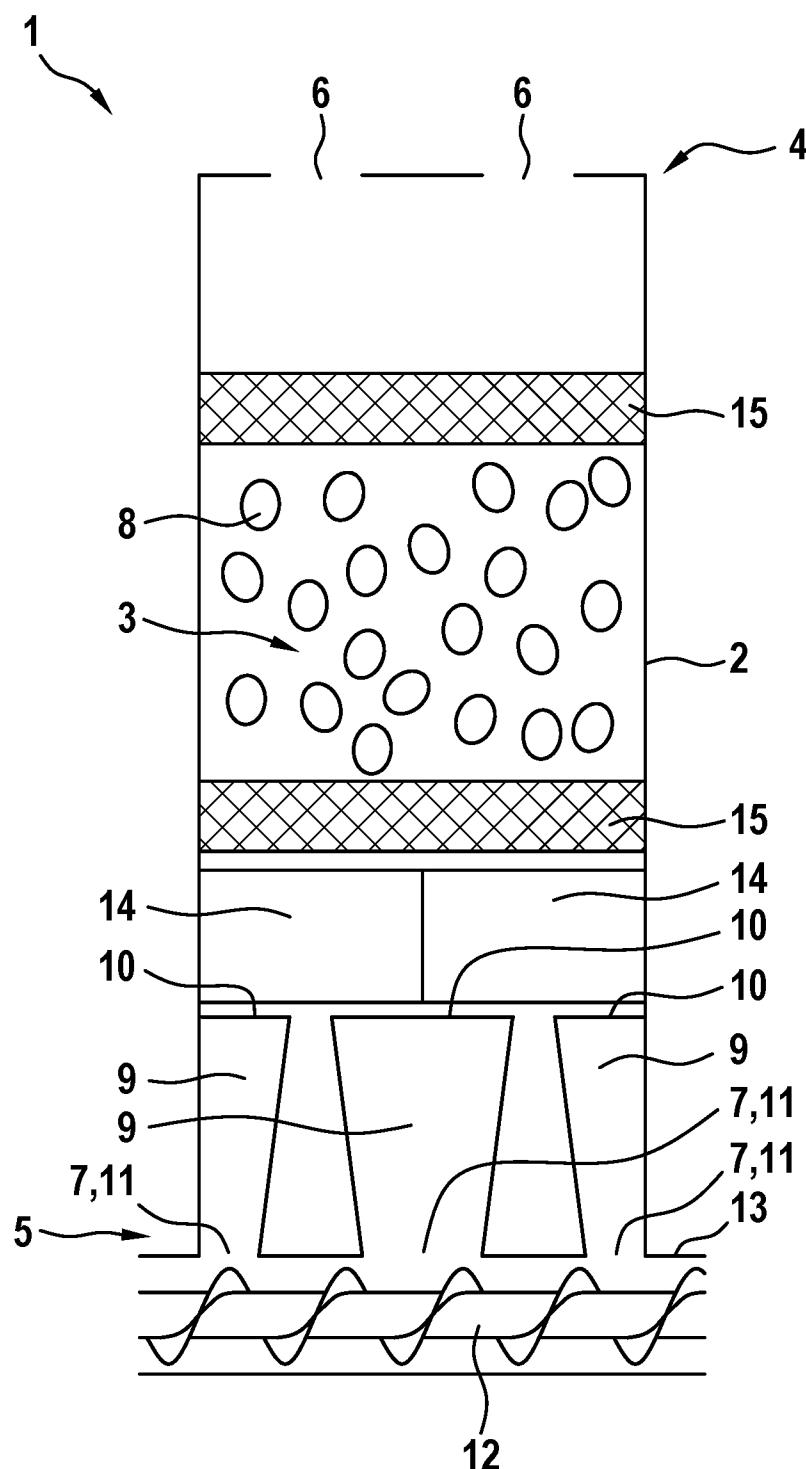
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Austrag
10 der Partikel durch die konusförmigen Bauteile (9) zeitlich versetzt erfolgt.

Fig. 1

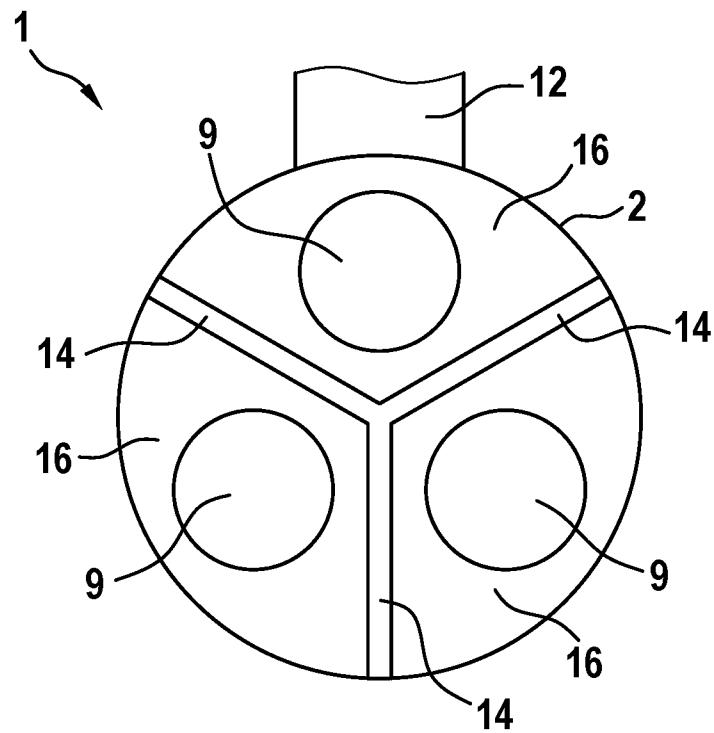


2 / 3

Fig. 2



3 / 3

Fig. 3**Fig. 4**