

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

720 175 A2

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteiner Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: C10J 3/06 (2006.01)
C10J 3/20 (2006.01)
C10J 3/74 (2006.01)
C10J 3/84 (2006.01)

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 000316/2023

(22) Anmeldedatum: 22.03.2023

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.05.2024

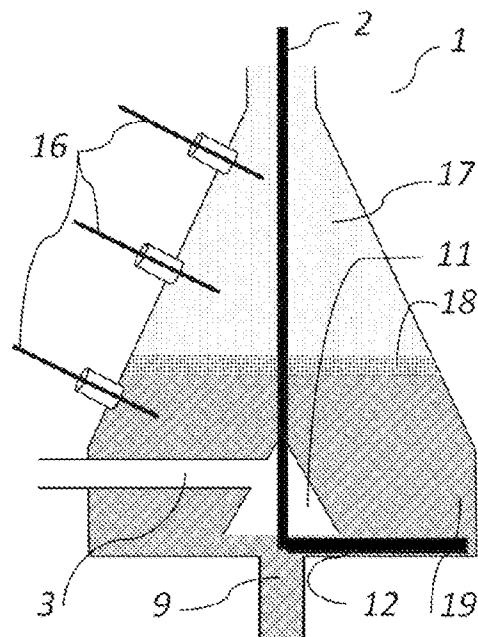
(30) Priorität: 28.10.2022
CH CH001281/2022

(71) Anmelder:
Fridolin Hanel, Goethestr. 33
79650 Schopfheim (DE)
Stephan Gutzwiller, Bachofenstrasse 22
4053 Basel (CH)

(72) Erfinder:
Fridolin Hanel, 79650 Schopfheim (DE)
Stephan Gutzwiller, 4053 Basel (CH)

(54) Pyrolyseanlage mit Leistungsmodulation über eine variable Geometrie

(57) Die Erfindung betrifft eine Pyrolyseanlage, welche holzige Biomasse (17) zu Wärme und Pflanzenkohle (19) in einem kontinuierlichen Prozess umwandelt. Der Prozess basiert vorzugsweise auf dem Gleichstromprinzip. Als erfinderische Neuheit wird angesehen, dass diese Anlage eine Modulation der Leistung über eine Querschnittsvariation der Reaktionszone (18) umsetzen kann, in dem die Reaktionszone (18) in einem beispielsweise konischen Behälter (1) bewegt wird. Dafür wird der Ort und die Lage der Reaktionszone (18) messtechnisch erfasst (16) und steuerungstechnisch gezielt beeinflusst. Ausserdem verfügt die Erfindung über eine Vorrichtung (3, 11) zur Trennung der festen von den gasförmigen Produkten, welche eine hohe Ausbeute ermöglicht und ein Mitreissen von feinen Kohlepartikeln in den Gasstrom gegenüber bisherigen Verfahren ohne die Verwendung eines Zyklons zumindest reduziert.



Beschreibung

[0001] Nachfolgend wird eine Pyrolyseanlage beschrieben, welche holzige Biomasse zu Wärme und Pflanzenkohle in einem kontinuierlichen Prozess im Gleichstrom umwandelt. Diese Anlage kann eine Modulation der Leistung über einen veränderbaren Querschnitt der Reaktionszone umsetzen, in dem die Reaktionszone in einem beispielsweise konischen Behälter bewegt wird.

Stand der Technik

[0002] Die Pyrolyse ist ein Teilschritt bei Vergasern. Daher werden zunächst verwandte Vergaser betrachtet, wobei vorwiegend Holzvergaser relevant sind.

[0003] WO001994026849A1 beschreibt einen Vergaser, in welchem die (Teil-)Pyrolyse im Gegenstrom und die anschließende Vergasung der Kohle im Gleichstrom abläuft. Beide Prozesse können räumlich getrennt voneinander ablaufen. Im rotationssymmetrischen Reaktorbehälter läuft konzentrische ein Rührwerk mit Flügeln, um eventuell auftretende Hohlräume im Brennstoff aufzulösen (das Rührwerk ist nicht Teil der Schutzansprüche).

[0004] In DE202011002845U1 wird ein Verfahren vorgestellt, in dem eine (Hochtemperatur-) Pyrolyse von bspw. Hackschnitzeln in einem stehenden Hohlzylinder abläuft in dessen Mitte von oben konzentrisch ein Rohr eingebracht ist, das die entstehenden brennbaren Gase aus dem unteren Reaktorteil absaugt und so als Wärmequelle für die Trocknung der von oben eingebrachten Brennmasse dient. Des Weiteren wird hier ein Rührwerk zur Verteilung des Brennstoffs im Reaktor unmittelbar nach der Einbringung genannt. Ausserdem wird eine Doppelschleuse zur Einbringung des Brennstoffs in den Reaktorraum erwähnt, bei der niemals beide Schleusenöffnungen gleichzeitig offen sein können. Nachteilig ist, dass das Absaugrohr Reaktionsvolumen wegnimmt und beim Startprozess über eine vergleichsweise grosse Masse verfügt, die thermische Energie aufnehmen muss. Dadurch können langkettige Kohlenwasserstoffe an der Oberfläche auskondensieren und die Emissionen im Startprozess erhöhen. Ausserdem wird dadurch im Dauerbetrieb der Brennstoff, welcher nahe an dem Pyrolysegas-Rohr liegt, aufgewärmt und pyrolysiert früher als Brennstoff in grösserer Entfernung. Dadurch ist nicht mit einer horizontalen Reaktionszone zu rechnen.

[0005] In EP3241881A1 der Howäst GmbH wird ein rostloser Vergaser für kleine Leistungen (<60kW) beschrieben, der einen zweiteiligen vertikalen Reaktorraum aufweist. Im oberen Teil, der einen grösseren Durchmesser als der untere aufweist, läuft die Trocknung, die Pyrolyse und die Oxidation ab, im unteren Teil die Reduktion der Kohle. An den unteren Teil schliesst eine horizontales „Querrohr“ an, in dem eine Förderschnecke die Kohle, die aus dem Vergasungsprozess als Reststoff anfällt, abgeführt wird. Das Glutbett der Reaktionszone ruht also auf den Windungen dieser Schnecke. So kann auf einen Rost verzichtet werden. In der Patentschrift wird darauf verwiesen, dass der Querschnitt des oberen Reaktorraums, in dem die Pyrolyse abläuft, für die erzeugte Gasmenge ausschlaggebend ist. Es wird vorgeschlagen, verschiedene Einsätze mit unterschiedlichen Durchmessern zu verwenden, auch um auf die verschiedenen Energiedichten von unterschiedlichen Brennstoffen wie Pellets und Hackschnitzel zu reagieren [0026]. Des Weiteren ist der untere Teil, in dem die Reduktion stattfindet, mit einem sich erweiternden Querschnitt ausgestaltet, also kegelstumpfförmig. Eine Seite des Kegelstumpfes ist abgeflacht, um einen Übergang zum Querrohr zu ermöglichen. Dies soll eine Verstopfung in der Schnecke und „Hohlbrände“ wirkungsvoll vermeiden. Eine Leistungsmodulation über den variablen Querschnitt ist nicht angedacht und der Austausch der verschiedenen Einsätze mit unterschiedlichen Durchmessern nur im Anlagenstillstand möglich.

[0006] In DE102014004465B3 wird ein zweistufiger Vergaser mit vertikalem Reaktorraum vorgeschlagen. Dieser verfügt am unteren Ende über eine Vorrichtung zur Austragung des „Rauch-Brenngas-Gemisches“, welche in einer ersten Ausführung als Prallteller ausgeführt ist, der in seiner Position relativ zum Reaktorraum verändert werden kann, wodurch der Querschnitt, durch den das Gas strömt, verändert wird. In einer zweiten Ausführung wird ein Anströmelement eingesetzt, über welches ebenso der Querschnitt zur Beeinflussung der Durchflussmenge des Gases verwendet wird. Mit beiden Lösungen kann auf die thermische Leistung Einfluss genommen werden, in dem im unteren Abschnitt des Reaktorraums die Öffnung zum Auslass der Gase im Querschnitt verändert wird. Nachteilhaft ist dem, dass hierfür ein weiterer Stellantrieb benötigt wird und durch die gleiche Öffnung auch Feststoffe aus dem Reaktorraum austreten können und insbesondere durch die Bewegung aufgewirbelt werden.

[0007] In WO2019193098A1 wird ein einstufiger Vergaser mit vertikalem Reaktorraum offenbart, der über einen geneigten Rost im unteren Teil verfügt, auf dem der Brennstoff zum Liegen kommt. Dieser Rost kann hin- und her bewegt werden. Durch die Bewegung des Rosts wird die Querschnittsfläche der Reaktionszone kurzzeitig verändert, wodurch zum einen Hohlräume zum Einsturz gebracht werden sollen und zum anderen Feststoffe aus dem Reaktorbehälter ausgetragen werden. Eine Leistungsmodulation hierrüber ist nicht offenbart und scheint technisch nicht sinnvoll.

[0008] Die Vergasung wird ebenfalls im grosstechnischen Umfang für die Entsorgung bzw. einer erheblichen Volumenreduzierung von städtischem organischem Abfall eingesetzt. Beispielsweise wird in GB1342457A ein stehender Reaktorraum vorgestellt, bei dem oben Abfall eingetragen wird und unten die Reststoffe des Prozesses (Asche und Kohle) ausgetragen werden. Das entstandene brennbare Gas wird in GB1342457A ähnlich wie beim Imbert-Vergaser im Gegenstrom oben aus dem Reaktorraum abgesaugt und bspw. einer thermischen Nutzung zugeführt. Anders als beim Imbert-Vergaser erweitert sich der Reaktorraum jedoch konisch nach oben, vermutlich um die Strömungsgeschwindigkeit des brennbaren Gases zu reduzieren, so die Verweilzeit des Gases im Reaktorraum zu erhöhen und damit die Wärmeübertragung auf den

Abfall zu verbessern, den es durchströmt. Der Vergaser verfügt über mehrere Temperatursensoren, die übereinander angeordnet sind und in den Reaktorraum hineinreichen, um den Prozessfortschritt zu überwachen. Sie werden steuerungstechnisch mit Ventilen verschaltet, über welche die sauerstoffhaltigen Gase und Wasserdampf in den Reaktorbehälter eingeblasen werden, die für die Regulation der Oxidation des Abfalls verwendet werden. Anders als in der hier offenbarten Erfindung wird über diese Sensoren kein Einfluss auf die Position der Reaktionszone genommen, die konstant ist.

[0009] In DE547555C wird ein kompakter Gleichstromvergaser für die Anwendung in Automobilen vorgestellt, der über einen vertikal ausgerichteten Reaktorraum verfügt. Ein Feuerkorb im unteren Teil des Reaktorraums ist trichterförmigen gestaltet, mit einer Erweiterung des Querschnitts nach oben hin. Um auf verschiedene Brennstoffeichten und Leistungsanforderungen zu reagieren, ist im Reaktorraum die Möglichkeit einer Querschnittsvariation der engsten Stelle, die sich ganz unten im Reaktorraum befindet, über einen Drosselkörper vorgesehen, der von aussen und im laufenden Betrieb des Vergasers bedient werden kann. Umgesetzt ist der Drosselkörper über einen Hohlzylinder, der unten offen und oben über einen Kegel verschlossen ist, aber über kleinere Öffnungen verfügt, über die ein sauerstoffhaltiges Gas in den Reaktorraum austritt. An den Hohlzylinder ist auf der Höhe des Feuerkorbs ein kleinerer Konus starr befestigt, welcher den Querschnitt zum Feuerkorb limitiert. Je nach Position des Hohlzylinders relativ zum Feuerkorb kann nun der Querschnitt variiert und damit entweder die Leistung des Vergasers beeinflusst oder auf unterschiedliche Brennstoffeichten reagiert werden. Nachteilig ist dem, dass hierfür der Brennstoff mindestens teilweise verdrängt werden muss und die Querschnittsvariation über bewegte Teile erfolgt.

[0010] Pyrolyseverfahren zur Erzeugung von (Prozess-)Wärme und Pflanzenkohle in zylindrischen oder rotationssymmetrischen Behältern sind ebenfalls bekannt.

[0011] In DE3126049A1 wird ein Pyrolyseverfahren von Abfallstoffen in einem liegenden, extern beheizten Zylinder vorgestellt, in dem eine Förderschnecke o. ähnl. das Pyrolysegut durch die Reaktionszone fördert. Eintrag und Austrag von Material geschieht über Doppelschleusen. Dieses Prinzip hat den Nachteil, dass die Förderschnecke ein mechanisches Verschleissstück ist, welches sehr hohen Temperaturen ausgesetzt ist.

[0012] In EP1203802A1 soll ein sauberes, brennbares Gas für die spätere Verwendung in Gasmotoren für die Stromerzeugung genutzt werden. Besonders ist hier u.a. ein oben angeordneter Lufteinlass in den Pyrolysebehälter und ein Eintritt des Oxidationsmittels an einer weiteren Stelle etwas oberhalb eines drehbaren Rosts. Als ein aufgeführtes Umsetzungsbeispiel (Bsp. I) wird das Gas nach Verlassen der Reaktionszone mit einem Wassernebel gekühlt und gefiltert, bevor es oxidiert wird. Als weiteres Ausführungsbeispiel (Bsp. VI) wird erwähnt, dass durch eine reduzierte Zuführung von Oxidationsmittel und ein Drehen des Rosts Pflanzenkohle ausgetragen werden kann, bevor diese vollständig oxidiert ist, wobei Pflanzenkohle-Erträge von 25 - 30 % erzielt werden sollen. Nachteilig ist, dass ein impulsweises Drehen des Rosts vermutlich eine variable Kohlequalität erzeugt und ein kontinuierliches Drehen den Pyrolyse-Prozess stören kann, in dem die Reaktionszone mit noch kaltem Brennstoff gemischt oder zumindest anteilig ausgetragen wird.

[0013] In AT522059B1 wird ein Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle unter direkter Pyrolyse im Gegenstrom vorgestellt, wobei das Verfahren eine Heizanlage beschreibt. Die brennbaren Gase gelangen aus dem Pyrolysebehälter über eine zentral angeordnete Treibdüse in die Brennkammer, in der Luftsauerstoff beigemischt wird. Es werden Abgase aus der Brennkammer in einer Doppelwandung um den Pyrolysebehälter und über ein Ventil teilweise auch in den Pyrolysebehälter geführt. Des Weiteren verfügt die Anlage über eine Kühlvorrichtung in der Austragung der Pflanzenkohle, in der u.a. eine Abschreckung der Pflanzenkohle mit Wasser erfolgt. Es wird vorgeschlagen, statt Wasser auch nährstoffhaltige Medien zur biologischen „Aufladung“ der Pflanzenkohle zu nutzen. Nachteilig ist bei dieser Anlage, dass starke Gebläse für das Einstellen der gewünschten Druckdifferenzen notwendig sind und teilweise im heissen Bereich eingesetzt werden müssen, da Gasrückströmungen durch die Pyrolysekammer erreicht werden sollen und Mischerdüsen eingesetzt werden. Ausserdem ist vermutlich eine regelmässige Abreinigung der zentralen Treibdüse notwendig, da die brennbaren Gase i.d.R. feine Kohlepartikel mitreissen und in der Beimischung mit (vergleichsweise kalter) Frischluft Teere auskondensieren können.

[0014] Eine eigene Kategorie von Anlagen zur Pflanzenkohleherstellung sind vertikal aufgestellte Reaktoren („Schachtvergaser“ oder „Wanderschichtreaktor“), die über ein internes Heizsystem verfügen, bspw. DE102016006884A1 und EP3919586A1. Über die Heizelemente, welche von aussen in den Reaktorbehälter eingeführt werden, wird die Biomasse unter Sauerstoffausschluss pyrolysiert und die dabei entstehenden brennbaren Gase zur späteren Verbrennung abgelassen. Vorteilhaft ist eine gute Möglichkeit zur Regulierung des Prozesses und einer gleichmässigen Kohlequalität. Nachteilig ist, dass bedeutende Mengen externer, in der Regel elektrischer Energie dem eigentlich exothermen Prozess zugeführt werden müssen. Eine weitere Gruppe von Anlagen zur Herstellung von Pflanzenkohle bieten Drehrohr-Anlagen, in denen Biomasse in einer sauerstofffreien oder -reduzierten Atmosphäre bei Temperaturen von 450°C - 650 °C pyrolysiert wird, siehe z.B. DE202006017001U1 oder DE102008012018B4. Aufgrund aufwändiger Konstruktionsweisen der Drehrohre, hoher Ansprüche an das thermisch, chemisch und mechanisch belastete Material des bewegten Rohres sowie der nicht einfach umsetzbaren Abführung der festen Produkte sind diese Anlagen nur für wenige Sonderfälle wirtschaftlich interessant.

[0015] Auch Förderschnecken-Pyrolyseanlagen sind in der Patentliteratur zu finden. Das sind Anlagen, in denen Biomasse unter stetiger Förderung durch eine Förderschnecke, welche oft in einer Steigung angeordnet ist, pyrolysiert wird. Hier gibt es zum einen Verfahren der direkten Pyrolyse, aber auch extern beheizte Fördersysteme (siehe beispielsweise die

Anlagen der Firmen Biomacon GmbH oder Pyreg GmbH). Eine Zwischenform stellt das Verfahren der Hertz Energietechnik GmbH dar, welches in EP3358253A1 beschrieben ist. Dort wird in einer schräg nach oben fördernden Schnecke erst im oberen Teil ein Oxidationsmittel zugeführt, was dann im mittleren Teil der Förderschnecke abgesaugt wird. Dadurch ist ein exothermer Pyrolyse-Prozess ohne Zuführung von externer Fremdenergie möglich (lediglich im Startprozess wird Fremdenergie benötigt). Mit dieser Anlage ist auch eine vollständige Vergasung der Biomasse möglich, wobei keine Pflanzenkohle mehr produziert wird.

[0016] In DE202014004445U1 wird ein Ofen gezeigt, der Holz zu Asche verbrennt. In diesen Ofen wird über einen Fördermechanismus wie bspw. Förderschnecken holzige Biomasse in die heisse Zone eingebracht, die dort pyrolysiert und dabei brennbare Gase abgibt, welche aus dem Fördermechanismus austreten und unmittelbar dort in der Brennkammer oxidiert werden. Wird die im Prozess erzeugte Pflanzenkohle rechtzeitig aus dem heissen Bereich ausgefördert, verbrennt sie nicht vollständig und kann anschliessend gekühlt und genutzt werden. Diese Vorrichtung würde sich zumindest prinzipiell für eine Leistungsmodulation über die Vorschubgeschwindigkeit eignen, auch wenn das in der Gebrauchsmusterschrift nicht angeführt ist.

[0017] In US2020040268A1 wird eine stehende Anlage zur Erzeugung von Wärme und Pflanzenkohle vorgestellt, die über einen aktiv drehbaren und aktiv höhenverstellbaren Rost verfügt. Auf diesem Rost kommt Biomasse zum Liegen und es tritt von unten ein sauerstoffhaltiges Gas wie Frischluft ein und durchströmt im Gegenstrom das Brennstoffbett. Der Reaktorraum weist hier die bei diesem Typ oft anzutreffende Querschnittsvariation über die Höhe auf. Diese Querschnittsvariation ist einer unterschiedlichen Brennstoffdichte in den unterschiedlichen Reaktionszonen (Trocknung, Pyrolyse, Oxidation und Reduktion) im Reaktorraum geschuldet. Auf dem drehbaren Rost ist um das Rotationszentrum herum eine Scheibe angebracht mit kleinerem Durchmesser als der Rost selbst, in die eine Spirale eingelassen ist. Sinn dieser Spirale ist, die Kohle auf dem drehenden Rost nach aussen zu befördern, wo der Rost über Durchdringungen verfügt, durch welche die Kohle fallen soll. Die Pflanzenkohle fällt durch Löcher im Rost und wird von einer Förderschnecke zu einem Ventil, bspw. eine Zellenradschleuse mit nur einer Lasche, gefördert und ausgetragen.

[0018] In US2004167367A1 wird eine Anlage zur Herstellung von Pflanzenkohle und einem weitestgehend teerfreien brennbaren Gas gezeigt. In dieser Anlage wird die räumliche Position der Reaktionszone („level of the pyrolysis zone“) mit mindestens einem Thermoelement erfasst und über eine Steuerung im Regelbetrieb auf einer konstanten Position gehalten. Ausserdem wird eine für die Pyrolyse hohe Temperatur in der Reaktionszone von 800 °C bis 1'000°C erwähnt. Als weitere Besonderheit wird hier die Wärmeenergie des (unverbrannten) brennbaren Gases direkt auf Wasser als Teil des Gaswäsche-Prozesses übertragen, in dem das Gas in einen Wassertank geleitet wird und dort von unten durch das Wasser nach oben „blubbert“.

Aufgabe der Erfindung

[0019] Der Pflanzenkohle-Markt weist in den letzten Jahren weltweit ein anhaltendes und starkes Wachstum auf, da sie in immer mehr Anwendungsbereichen zum Einsatz kommt. Der Hauptanwendungszweck ist jedoch nach wie vor der Einsatz in der Landwirtschaft, wo Pflanzenkohle als Bodenverbesserer den Ertrag steigern kann, ohne dass zusätzliche Dünger oder andere Massnahmen eingesetzt werden (Agroscope Science INr. 112 / 2021). Ausserdem stellt die Herstellung von Pflanzenkohle eine Methode dar, um das im Holz enthaltene Kohlenstoffdioxid chemisch zu stabilisieren und somit dauerhaft der Atmosphäre zu entziehen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Pflanzenkohle sind der Einsatz Als Betonzusatz bzw. Sandersatz im Beton, der Einsatz als Farbstoff oder nach einer Veredlung in Aktivkohlefiltern.

[0020] Um Pflanzenkohle herzustellen, wurden in den letzten Jahren eine Vielzahl von technischen Lösungen vorgeschlagen. Bei der Herstellung von Pflanzenkohle fallen grosse Mengen Abwärme an, die in der Regel für Heizzwecke oder als Prozesswärme genutzt werden. Bisher war diesen Anlagen gemein, dass sie sich für eine Modulation der thermischen Leistung nicht oder nur schlecht eignen, weshalb die Abwärme dieser Anlagen nicht in monovalenten Heizsystemen genutzt werden kann. Bspw. wird die Abwärme von Anlagen aus dem Stand der Technik vor allem in Wärmeverbünden genutzt oder - zumindest in den Sommermonaten - für weniger wirtschaftliche Anwendungen, oder sie muss durch andere heiztechnische Anlagen ergänzt werden.

[0021] Die nachfolgende Erfindung hat sich daher zum Ziel gesetzt, eine Anlage zur Herstellung von Wärme und Pflanzenkohle mit der Möglichkeit zu einer breiten Leistungsmodulation bei gleichbleibender, hoher Qualität der erzeugten Produkte in einem stetigen Prozess umzusetzen.

Kurze Darstellung der Erfindung

[0022] Die erfindungsgemässe Pyrolyseanlage wandelt Brennstoffe wie Hackschnitzel oder Holzpellets in einem Pyrolysebehälter in ein brennbares Gas und einen kohlenstoffhaltigen Feststoff wie Pflanzenkohle sowie flüssige Stoffe wie Pyrolyseöl um. Dabei kommt eine autotherme Gleichstrom-Vergasung zum Einsatz, in dem Gase und Brennstoff von oben nach unten durch einem Reaktor- oder Pyrolysebehälter geführt werden. Das brennbare Gas wird in einer Brennkammer mit bspw. Frischluft oxidiert und die entstandene Hitze kann in einem Wärmetauscher auf einen Wärmeträger wie Heizwasser übertragen, oder direkt als Prozesswärme genutzt werden.

Aufzählung der Zeichnungen**[0023]**

- In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, in dem wichtige Komponenten nummeriert sind, auf die im Text Bezug genommen wird.
- Fig. 2 stellt die Kernelemente der Erfindung in beispielhafter Weise und reduzierter Komplexität dar und zeigt für ausgewählte Komponenten dieselbe Nummerierung wie Fig. 1 auf. Zusätzlich sind in Fig. 2 noch ein Brennstoff (17), eine Reaktionszone (18) und ein verkohlter Brennstoff bzw. eine Kohle (19) dargestellt.

[0024] Beide Figuren zeigen Schnittansichten der Konstruktion, wobei die Schnittebene in der Mitte der Anlage angesetzt ist.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0025] Ein kontinuierlicher Prozess sieht einen Pyrolysebehälter (1) vor, welcher von oben aus einem Vorratsbehälter mit Brennstoff und Oxidationsmittel beaufschlagt wird und die Produkte (unter anderem Pflanzenkohle und ein brennbares Gas) unten ausführt. In diesem Behälter findet eine exotherme Pyrolyse des Brennstoffs (17) statt, bei unterstöchiometrischen Bedingungen, d.h. unter Sauerstoffmangel. Dieser Behälter weist über seine Höhe einen variablen Querschnitt auf, beispielsweise in Form eines Kegels (1). Die Reaktionszone (18) der Pyrolyse, in welcher der Brennstoff zu Kohle (19) pyrolysiert wird, kann darin in der Position variiert und dadurch in ihrer Ausdehnung verändert werden. Die Variation der Position der Reaktionszone geschieht durch eine veränderbare Aus- (oder Ein-)tragsgeschwindigkeit von Pflanzenkohle oder durch eine veränderbare Ein- (oder Aus-)tragsgeschwindigkeit von Brennstoff (je nach Ausrichtung des Behälters). Hierdurch wird eine veränderte Umsetzungsleistung bzw. Gaserzeugungs-Leistung bei sonst gleichbleibenden Prozessparametern, wie Reaktionstemperatur und Verweilzeit des Brennstoffs in der Reaktionszone, erzielt. Die nötige Menge Oxidationsmittel wird dem in proportionalem Verhältnis durch eine Öffnung (14) mit verstellbarem Querschnitt im oberen Teil der Anlage nachgeführt. Vorteilhaft ist, dass dadurch konstante Eigenschaften der Produkte trotz variabler Leistung erwartet werden können. Der Pyrolysebehälter wird beispielsweise mithilfe eines Saugzuggebläses vorzugsweise im Unterdruck betrieben, damit bei eventuell auftretenden Undichtigkeiten keine Gase aus dem Prozessraum austreten. Über die Öffnung (14) wird damit auch das notwendige Oxidationsmittel in die Brennkammer gesaugt. Ein Betrieb der Anlage im Überdruck ist ebenfalls denkbar. Die brennbaren Gase werden aus dem Pyrolysebehälter mittig abgesaugt. Dafür ist im unteren Teil des Pyrolysebehälters ein kleiner Kegelstumpf (11) angebracht, der sich nach unten erweitert und von dem wiederum seitlich ein horizontales Gasrohr (3) abgeht. Dadurch steigen die brennbaren Gase direkt oberhalb des Kohleschachts (9) in der Mitte des Pyrolysebehälters nach oben auf, wodurch eine Trennung der beiden Produkte erreicht wird. Im Unterschied zu DE202011002845U1 ist hier die Absaugvorrichtung zum grössten Teil von Brennstoff bzw. Kohle überschüttet, wodurch der Prozessraum nicht unnötig verkleinert wird und wodurch das Gas beim Start der Anlage, wenn das Material noch kalt ist, nicht unnötig gekühlt wird.

[0026] Neben dem horizontalen Gasrohr (3) kann noch ein oder mehrere weitere Rohre oder Streben, bspw. (13), an den Kegelstumpf angebracht werden, die mit der Wand der Pyrolysekammer verbunden sind. Es ist auch denkbar, dass das Gasrohr nicht horizontal, sondern in einem anderen Winkel aus dem Pyrolysebehälter geführt wird. Durch diese Vorrichtung(en) wird sichergestellt, dass beim Austragen der festen Produkte durch den Spiralarm (12) sich der Brennstoff bzw. die Kohle oberhalb dieser Vorrichtung(en) nicht mitdrehen, was den Pyrolyseprozess stören und die Reaktionszone auflösen könnte.

[0027] An der Achse (2) des Spiralarms können je nach verwendetem Brennstoff Streben, Arme, usw. angebracht werden, welche ungefähr radial von der Achse abstehen und so den Brennstoff in der Pyrolysekammer gleichmässig verteilen. Diese Streben, die im Ausführungsbeispiel in Fig. 1 nicht dargestellt sind, können insbesondere mit Paddeln oder anderen Vorrichtungen versehen sein und auch einen oder mehrere Knicke aufweisen, um bspw. Hohlräume im Brennstoff zum Einsturz zu bringen.

[0028] Der Kohleaustrag aus dem Pyrolysebehälter wird über einen Spiralarm (12) auf dem Boden der Pyrolysekammer und eine konzentrisch angeordneten Kohleschacht (9) realisiert. Der Spiralarm (12) wird durch eine Achse (2) in der Mitte des Pyrolysebehälters angetrieben, welche oben aus dem Pyrolysebehälter austritt. In einem anderen Ausführungsbeispiel wird dieser Spiralarm mithilfe eines Winkelgetriebes durch das Rohr (13) angetrieben, wodurch vorteilhaft keine Achse (2) in der Eintragung im oberen Teil des Pyrolysebehälters notwendig ist, was den Querschnitt in der Eintragung vorteilhaft erhöht.

[0029] An den Kohleschacht kann eine Austragung (6) für die festen Produkte anschliessen, die über eine oder mehrere Kühlvorrichtungen (15) zur Kühlung der Produkte verfügen kann. Zweckmässig ist es, die den Produkten entzogene Wärmeenergie dem System anderweitig wieder zuzuführen. Es ist in einem anderen Ausführungsbeispiel auch denkbar, dass die Kohle direkt nach dem Kohleschacht in ein gasdichtes Zwischenlager gefördert wird. Ausserdem ist es denkbar, dass in der Kohleaustragung, bspw. im Kohleschacht oder innerhalb der Kühlvorrichtung, eine Zerkleinerung der Kohle stattfindet, wodurch unter anderem die Schüttdichte der Kohle zunimmt und sie somit weniger Lagervolumen benötigt. Die

Kohleaustragung ist gasdicht ausgeführt, d.h. sie verfügt über eine Schleuse (5) zur kontinuierlichen Austragung. Mindestens aber ist in einem anderen Ausführungsbeispiel an die Austragung ein gasdichter Behälter gasdicht angeschlossen, der die Kohle aufnimmt und der nur bei abgeschalteter Anlage geöffnet wird.

[0030] Die brennbaren Gase werden in einer nachgeschalteten Brennkammer (10) verbrannt. Diese Brennkammer ist so gestaltet, dass eine Vermischung der brennbaren Gase mit Oxidationsmittel, beispielsweise aus Frischluft, erleichtert wird. Um die Abwärme der Brennkammer optimal zu nutzen, wird vorgeschlagen, deren Gehäuse möglichst vollständig, mindestens aber deren Mantelfläche, von Heizwasser zu umspülen. Damit der Oxidationsbereich nicht zu stark gekühlt wird, was sich nachteilig auf die Abgasqualität auswirken würde, ist zwischen Brennkammer und Heizwasser eine Isolationsschicht empfehlenswert.

[0031] Für den Start der Anlage wird zunächst die Pyrolysekammer von oben durch eine gasundurchlässige Schleuse (4) mit Brennstoff befüllt und nach unten über einen Drehrost (7) verschlossen. Direkt oberhalb des Drehrosts befindet sich mittig ein Glühzünder (8), der durch eine kurze Betätigung des Austrags (12) mit Brennstoff überschüttet wird. Durch ein Einschalten des Glühzünders bei entsprechender Zufuhr eines Oxidationsmittels wird der Pyrolyseprozess gestartet. Der Drehrost ist in einer vorteilhaften Ausführung mit der Förderschnecke des Austrags (6) verschweisst und der Drehwinkel über einen Sensor erfasst, um die Schnecke mit dem Drehrost in geeigneter Ausrichtung zu positionieren. Anmerkung: In Fig. 1 ist der Drehrost (7) in geöffneter Position im Schnitt dargestellt.

[0032] Die Pyrolyseanlage weist den Pyrolysebehälter (1), zumindest einen Sensor zu einer Bestimmung einer Position einer Reaktionszone in dem Pyrolysebehälter und zumindest eine Steuer- und/oder Regeleinheit, welche dazu vorgesehen ist, zu einer Leistungsmodulation eine Reaktionszone gezielt über eine entlang der Transportrichtung des Brennstoffs nicht konstante Geometrie zu bewegen, und so je nach Position die Ausdehnung der Reaktionszone zu verändern, auf.

[0033] Während des Regelbetriebs wird die Anlage entsprechend des Leistungsbedarfs der Wärmesenke (i.d.R. ein Warmwasser-Pufferspeicher) in der Leistung geregelt. Dafür wird die Position der Reaktionszone über den mindestens einen Sensor (16) bestimmt und gezielt beeinflusst. Soll die Menge an produziertem brennbarem Gas erhöht werden, wird die Reaktionszone in einen Bereich der Pyrolysekammer verschoben, in dem ihr Querschnitt grösser wird. Soll umgekehrt die Gasmenge reduziert werden, wird die Reaktionszone in einen Bereich mit kleinerem Querschnitt verschoben. Gleichzeitig wird vorteilhaft die zugeführte Menge an Oxidationsmittel proportional zum Querschnitt der Reaktionszone über bspw. ein kontinuierlich verstellbares Ventil angepasst. Im Ausführungsbeispiel in Fig. 1 wird der Querschnitt der Reaktionszone erhöht, in dem Pflanzenkohle ausgetragen wird, wodurch die Reaktionszone nach unten rutscht. Hingegen wird der Querschnitt der Reaktionszone verkleinert, in dem der Austrag gestoppt wird und die Reaktionszone nach oben durch den Brennstoff wandert.

[0034] Für das Abschalten der Anlage wird der Eintrag von Brennstoff gestoppt, wodurch der Reaktionszone nach einer gewissen Zeit, wenn sie nach oben gewandert ist, der Brennstoff ausgeht. Beim Erliegen der Gasproduktion wird die Zuführung des Oxidationsmittels in die Pyrolysekammer gestoppt und die Pflanzenkohle ausgetragen.

[0035] Um das sauerstoffhaltige Gas, bspw. Frischluft, in die Pyrolysekammer zu transportieren und die entstandenen brennbaren Gase aus der Pyrolysekammer abzutransportieren, empfiehlt sich die Verwendung eines Gebläses, welches in der Pyrolysekammer und in einer eventuell nachgeschalteten Brennkammer einen Druck tiefer als den atmosphärischen Umgebungsdruck erzeugen kann. Es ist jedoch auch vorstellbar, das sauerstoffhaltige Gas durch ein Gebläse in die Pyrolysekammer zu blasen, wodurch dort ein Druck entstehen würde, der über dem atmosphärischen Umgebungsdruck läge.

[0036] In Fig. 1 ist ein Querschnitt der Erfindung in einer spezifischen Ausführung gezeigt. Diese Ausführung dient nur der Veranschaulichung der Erfindung und limitiert sie nicht auf die Möglichkeit, andere Ausführungsformen anzunehmen.

Patentansprüche

1. Pyrolyseanlage zur Erzeugung von Wärme und Pflanzenkohle aus Biomasse, mit zumindest einem Pyrolysebehälter (1), mit zumindest einem Sensor (16) zu einer Bestimmung einer Position einer Reaktionszone in dem Pyrolysebehälter (1) und mit zumindest einer Steuer- und/oder Regeleinheit, welche dazu vorgesehen ist, zu einer Leistungsmodulation eine Reaktionszone gezielt über eine entlang der Transportrichtung des Brennstoffs nicht konstante Geometrie des Pyrolysebehälters zu bewegen, und so je nach Position die Ausdehnung der Reaktionszone zu verändern.
2. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Spiralaustrag zu einer Förderung der Pflanzenkohle aus dem Pyrolysebehälter (1), wobei der Boden des Pyrolysebehälters (1) aus einer massiven Platte besteht, die nur in ihrer Mitte über ein Loch verfügt, über dem Gase durch einen das Loch in einem gewissen Abstand überdeckenden hohlen Kegel abführbar sind und durch das die Pflanzenkohle förderbar ist.
3. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Sensor dazu vorgesehen ist, eine Position und Lage der Reaktionszone im Pyrolysebehälter (1) in Echtzeit zu überwachen und die Steuer- und/oder Regeleinheit dazu vorgesehen ist, eine Position und Lage der Reaktionszone im Pyrolysebehälter (1) in Echtzeit zu steuern.

4. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer- und/oder Regeleinheit dazu vorgesehen ist, einen Massenstrom von Oxidationsmittel, vorzugsweise Frischluft, in Echtzeit an die Position und Lage der Reaktionszone anzupassen.
5. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Spiralarm (12) und einen mittig in einen flachen Boden des Pyrolysebehälters (1) eingelassenen Kohleschacht (9), wobei der Spiralarm (12) und der Kohleschacht (9) über die Fläche des Pyrolysebehälters (1) zu einer Austragung von Kohle vorgesehen sind.
6. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Spiralausstrag zu einer Förderung der Pflanzenkohle aus dem Pyrolysebehälter (1), wobei an der Achse des Spiralausstrags mindestens eine von der Achse abstehende, beliebig geformte Schikane zur gleichmässigen Verteilung des Brennstoffs angebracht ist.
7. Pyrolyseanlage zumindest nach dem Anspruch 5, gekennzeichnet durch eine Kühlvorrichtung (15), welche in einem Kohleaustrag, insbesondere in dem Kohleschacht (9), angeordnet ist und zu einer Kühlung der festen Produkte vorgesehen ist.
8. Pyrolyseanlage nach dem Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zur Zerkleinerung der Pflanzenkohle, welche in einem Kohleaustrag, insbesondere in einem Kohleschacht (9), angeordnet ist.
9. Monovalente Heizanlage für ein Gebäude mit einer Pyrolyseanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
10. Verfahren zur Erzeugung von Wärme und Pflanzenkohle aus Biomasse mittels einer Pyrolyseanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zu einer Leistungsmodulation eine Reaktionszone gezielt über eine entlang der Transportrichtung des Brennstoffs nicht konstante Geometrie bewegt wird und so je nach Position die Ausdehnung der Reaktionszone verändert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Position und Lage der Reaktionszone im Pyrolysebehälter (1) über Sensoren in Echtzeit überwacht und gesteuert wird.

