

(19)



(11)

**EP 4 567 090 A1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**11.06.2025 Patentblatt 2025/24**

(21) Anmeldenummer: **23214247.1**

(22) Anmeldetag: **05.12.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**C10B 7/10 (2006.01) C10B 21/18 (2006.01)**  
**C10B 49/04 (2006.01) C10B 53/00 (2006.01)**  
**C10J 3/00 (2006.01) C10J 3/72 (2006.01)**  
**C10B 49/06 (2006.01) C10J 3/62 (2006.01)**  
**C10J 3/66 (2006.01) C10L 9/08 (2006.01)**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**C10B 7/10; C10B 21/18; C10B 49/04; C10B 53/00;**  
**C10J 3/007; C10J 3/723; C10L 3/08; C10B 49/06;**  
**C10J 3/005; C10J 3/62; C10J 3/66; C10L 5/02;**  
**C10L 9/083; C10L 2290/02**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB**  
**GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL**  
**NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Carbo-FORCE GmbH**  
**34131 Kassel (DE)**

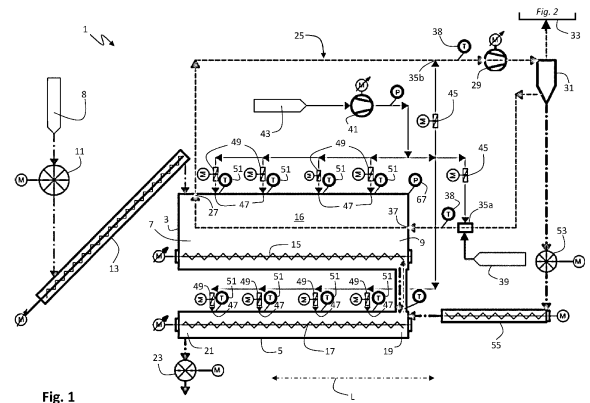
(72) Erfinder: **Kuntze, Björn**  
**26129 Oldenburg (DE)**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Hemmer Lindfeld Frese**  
**Partnerschaft mbB**  
**Wallstraße 33a**  
**23560 Lübeck (DE)**

### (54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR AUFSPALTUNG VON BRENNSTOFFEN DURCH THERMISCHE ZERSETZUNG MITTELS PARTIELLER OXIDATION

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Aufspaltung von Brennstoffen durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in Brenngas und Kohle innerhalb eines Reaktors (3), der sich in einer Längsrichtung (L) von einem Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) zu einem Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) erstreckt, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

- Zuführen des Brennstoffs in den Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3), wobei oberhalb des zugeführten Brennstoffs im Reaktor (3) ein Gasraum (16) oberhalb eines Brennstoffbetts ausgebildet ist,
- Fördern des Brennstoffbetts innerhalb des Reaktors (3) vom Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) zum Austrittsabschnitt des (9) des Reaktors (3) mittels einer mechanischen Fördervorrichtung (15),
- Aufspalten des festen Brennstoffs durch thermische Zersetzung durch Teilvergasung mittels partieller Oxidation,
- Absaugen von Brenngas aus dem Gasraum (16) an einer Absaugstelle (27) des Reaktors (3) in ein Rezirkulationssystem (25),
- Wiederzuführen des Brenngases vom Rezirkulationssystem (25) in den Gasraum (16) an einer von der Absaugstelle (27) des Reaktors (3) entfernten Zuführstelle (37) des Reaktors (3), und
- Ausführen des zumindest teilweise zersetzten Brennstoffs im Austrittsabschnitt (9) aus dem Reaktor (3).



**EP 4 567 090 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Aufspaltung insbesondere feuchter Brennstoffe durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in gasförmige Bestandteile (im Weiteren "Brenngas" genannt) und ein festes, kohlenstoffhaltiges Produkt (im Weiteren "Kohle" genannt) innerhalb eines Bewegtbettreaktors, sowie die gegebenenfalls gewünschte weitere Behandlung des erzeugten Brenngases zu Synthesegas oder Rauchgas und der erzeugten Kohle zu Aktivkohle oder Asche. Das Verfahren und die Vorrichtung dienen sowohl im Sinne einer Pyrolyse der effektiven Produktion von Kohle als auch im Sinne einer Vergasung der effektiven Produktion von Brenngas.

**[0002]** Zur Aufspaltung fester Brennstoffe in Brenngas und Kohle wird der aufzusplattende Brennstoff unter Einfluss hoher Temperaturen von vorzugsweise ca. 300 °C bis ca. 750 °C thermisch zersetzt. Zur Kontrolle der Prozesstemperaturen und damit die dabei entstehenden Produkte (Brenngas und Kohle) nicht vollständig oxidieren, findet diese thermische Zersetzung in einer sauerstofffreien oder zumindest sauerstoffarmen Atmosphäre statt. Die Zusammensetzung der sich dabei bildenden gasförmigen Produkte besteht aus einer Vielzahl chemischer Verbindungen und richtet sich nach den eingesetzten Brennstoffen und den Prozessbedingungen. Typische Verbindungen sind CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, sowie eine Vielzahl weiterer niedermolekularer organischer Verbindungen, als auch höhermolekulare Öle und Teere, sowie Kohle.

**[0003]** Nach dem Stand der Technik findet diese Aufspaltung entweder in allothermen oder autothermen Reaktoren, oder in Mischformen dieser beiden grundlegenden Verfahrensvarianten, statt. Die allotherme Verfahrensvariante ist dadurch gekennzeichnet, dass die für den Prozess erforderliche Temperatur durch Wärmeeintrag von außen in den Reaktor (typischerweise mit der Reaktorwand als Wärmeübertragungsfläche) eingebracht wird. Demgegenüber wird bei der autothermen Prozessführung die erforderliche Wärmeenergie im Reaktor selbst erzeugt. Dies geschieht durch Teilverbrennung (partielle Oxidation). Hierbei wird durch Zuführung vergleichsweise geringer Mengen an Oxidationsmittel ein Teil des Brennstoffes und/oder der brennbaren Gase innerhalb des Reaktors oxidiert bzw. verbrannt.

**[0004]** Ein Beispiel für eine Anlage zur Aufspaltung fester Brennstoffe mittels allothermer Reaktorkammern ist in der Patentschrift EP 1 943 461 B1 offenbart. Dort wird das in den beiden zylinderförmigen und parallel betriebenen allothermen Reaktorkammern aus dem festen Brennstoff produzierte Brenngas in einer externen Brennkammer mit Luft verbrannt. Das heiße Rauchgas wird dann um die beiden allothermen Reaktorkammern herumgeleitet und heizt somit die beiden allothermen Reaktorkammern auf. Zur Verbesserung der Wärmeübertragung verfügen die Wände der Reaktorkammern

über Strömungsleitbleche und Anbauten. Als weiteres Produkt verlässt Kohle die Reaktorkammern.

**[0005]** Ein Beispiel für die autotherme Aufspaltung fester Brennstoffe in einem mehrstufigen Vergasungsverfahren für holzartige Biomasse ist in der Patentschrift DE 198 07 988 B4 offenbart, welche die Verfahrensführung der autotherm betriebenen Entgasungsstufe zur Aufspaltung fester Brennstoffe beschreibt. Dort wird in einem liegenden, zylindrischen Reaktor eine Schüttung bevorzugt aus Holzhackschnitzeln mittels einer Rühreinrichtung durchgerührt und gleichzeitig von der Unterseite des liegenden Reaktors her Luft oder Sauerstoff so dosiert eingeblasen, dass durch die stattfindende exothermen Oxidationsreaktionen eine gewünschte Prozesstemperatur von ca. 500 °C aufrechterhalten wird. Als Produkte verlassen Brenngas und Kohle den Entgasungsreaktor.

**[0006]** Wie in der DE 198 07 988 B4 erläutert, besteht der große Vorteil der autothermen Prozessführung darin, dass die Übertragung großer Mengen an Wärme auf einem hohen Temperaturniveau durch die Reaktorwand hindurch, wie es bei der allothermen Prozessführung notwendig ist, vermieden wird. Die autotherme Prozessführung ist daher apparativ deutlich weniger aufwändig, von höherer Leistungsdichte und somit deutlich wirtschaftlicher.

**[0007]** Unterstrichen wird diese These auch von einer Vielzahl aus wirtschaftlichen und technischen Gründen erfolgloser mehrstufiger Vergasungsprojekte mit allothermen Prozessstufen. Neben anderen Problemen gelang es dabei in der Regel nicht, die erforderliche Wärmeübertragung zu realisieren.

**[0008]** Demgegenüber ist festzuhalten, dass mehrstufige Vergasungsverfahren unter Nutzung autothermer Entgasungsstufen, wie z.B. in der DE 10 2007 012 452 B4 beschrieben, nachhaltig Markterfolge zu verzeichnen haben.

**[0009]** Allerdings weisen die bisher realisierten autothermen Prozessstufen zur Aufspaltung fester Brennstoffe in Brenngas und Kohle allesamt ein verfahrenstechnisches Manko auf: das Einblasen des Oxidationsmittels für den autothermen Prozess erfolgt direkt in die Kohleschüttung. Dies kann exemplarisch der Patentschrift DE 198 07 988 B4 entnommen werden. Obgleich die homogene Oxidationsreaktion zwischen Brenngas und Oxidationsmittel deutlich schneller und bevorzugt abläuft als dies für die heterogene Oxidationsreaktion zwischen dem Feststoff Kohle und dem Oxidationsmittel der Fall ist, führt das direkte Einblasen des Oxidationsmittels in die Kohleschüttung zu einem starken Verbrauch von Kohle. Dies geschieht, weil in der Kohleschüttung nicht genügend Brenngas vorhanden ist und daher örtlich überschüssig vorhandenes Oxidationsmittel die Kohle oxidiert. Zielt der Prozess auf die Produktion möglichst großer Mengen Kohle, ist diese Prozessführung somit ungeeignet.

**[0010]** Die EP 3 858 952 A1 schlägt dazu vor, im Rahmen einer partiellen Oxidation ein Oxidationsmittel

über eine Mehrzahl an über die Länge des Reaktors verteilten Düsen oberhalb des Brennstoffbetts in den Gasraum einzubringen und dadurch ein gewünschtes Temperaturprofil herzustellen. Zwar ist es mit jenem Verfahren möglich, auch feuchte Brennstoffe mit bis zu 40% Wassergehalt zu verkohlen, allerdings ist die Durchsatzleistung und der Verkohlungswirkungsgrad bzw. die Ausbeute an Kohle bei entsprechend feuchten Brennstoffen entsprechend geringer. Brennstoffe mit einem Wassergehalt von mehr als 40% müssen nach dem bisherigen Stand der Technik zuvor getrocknet werden.

**[0011]** Andere bekannte Verkohlungsverfahren bzw. -reaktoren sind nur für Brennstoffe mit bis zu einem Wassergehalt von 25% oder 30% einsetzbar, sodass dafür ein vorgelagerter Trockner eingesetzt werden muss, um den Wassergehalt des Brennstoffs vor dem Verkohlungsverfahren auf unter 25% oder 30% zu bringen. Ein vorgeschalteter Trockner ist allerdings in der Anschaffung und im Betrieb teuer, hat einen hohen Platzbedarf und ist wegen der Staub- und Geruchsemissionen schwierig zu genehmigen.

**[0012]** Der vorliegenden Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, in einem sehr kompakten und einfach aufgebauten Apparat insbesondere feuchte Brennstoffe mit bis zu 45% Wassergehalt effizienter autotherm aufzuspalten und dadurch Kohle mit einem höheren Verkohlungswirkungsgrad zu erzeugen, ohne den Brennstoff in einem vorgelagerten Trockner zuvor trocknen zu müssen.

**[0013]** Dieses Problem wird durch die in den Patentansprüchen aufgeführten Merkmale gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren zu entnehmen.

**[0014]** Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren bereitgestellt zur Aufspaltung von Brennstoffen durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in Brenngas und Kohle innerhalb eines Reaktors, der sich in einer Längsrichtung von einem Eintrittsabschnitt des Reaktors zu einem Austrittsabschnitt des Reaktors erstreckt, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

- a) Zuführen des Brennstoffs in den Eintrittsabschnitt des Reaktors, wobei oberhalb des zugeführten Brennstoffs im Reaktor ein Gasraum oberhalb eines Brennstoffbetts ausgebildet ist,
- b) Fördern des Brennstoffbetts innerhalb des Reaktors vom Eintrittsabschnitt des Reaktors zum Austrittsabschnitt des Reaktors mittels einer mechanischen Fördervorrichtung,
- c) Aufspalten des festen Brennstoffs durch thermische Zersetzung durch Teilvergasung mittels partieller Oxidation,
- d) Absaugen von Brenngas aus dem Gasraum an einer Absaugstelle des Reaktors in ein Rezirkulationssystem,
- e) Einspeisen von Oxidationsmittel in zumindest ei-

nen Teil des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem,

f) Wiederzuführen des Brenngases vom Rezirkulationssystem in den Gasraum an einer von der Absaugstelle des Reaktors entfernten Zuführstelle des Reaktors, und

g) Ausführen des zumindest teilweise zersetzten Brennstoffs im Austrittsabschnitt aus dem Reaktor.

**[0015]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, Brennstoffe mit bis zu 45% Wassergehalt effizienter autotherm aufzuspalten und dadurch Kohle mit einem höheren Verkohlungswirkungsgrad zu erzeugen, ohne den Brennstoff in einem vorgelagerten Trockner zuvor trocknen zu müssen. Durch die Rezirkulation zumindest eines Teils des Brenngases, lässt sich die benötigte Verdampfungsenthalpie aus einem Teil der im rezirkulierten Brenngas enthaltenen chemischen Energie bereitstellen. Dadurch kühlt der Reaktor durch die Verdampfung auch bei sehr feuchten Brennstoffen nicht zu stark ab, sondern die thermische Zersetzung wird unterstöchiometrisch am Laufen gehalten. Als Oxidationsmittel dient vorzugsweise Umgebungsluft.

**[0016]** Optional kann Oxidationsmittel in zumindest einen Teil des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem eingespeist werden. Dies kann, je nach Bedarf, an einer oder mehreren Stellen im Rezirkulationssystem geschehen. Durch die Einspeisung von Oxidationsmittel entzündet sich ein Teil des abgesaugten Brenngases automatisch, sofern dessen Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur liegt. Durch die Selbstentzündung eines Teils des abgesaugten Brenngases erhöht sich die Temperatur des abgesaugten Brenngases, sodass verhindert werden kann, dass die Temperatur des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem unter die Selbstentzündungstemperatur fällt. Die Einspeisung von Oxidationsmittel kann so dosiert und ggf. mittels Temperaturmessung geregelt werden, dass nur gerade so viel Oxidationsmittel eingespeist wird, dass die Temperatur des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem ein bestimmtes Maß oberhalb der Selbstentzündungstemperatur bleibt. Je kleiner der Teil des Brenngases ist, der im Rezirkulationssystem mit dem Oxidationsmittel reagiert, umso so größer ist der Brennwert des Brenngases, das in den Reaktor zurückgeführt wird und aus dem Rezirkulationssystem in eine Brenngaskammer abgezweigt werden kann.

**[0017]** Optional kann die Absaugstelle des Reaktors im Eintrittsabschnitt des Reaktors liegen und die Zuführstelle des Reaktors im Austrittsabschnitt des Reaktors liegen. Dies ist aus mehreren Gründen vorteilhaft. Zum einen ist der Wasserdampfgehalt im Eintrittsabschnitt des Reaktors besonders hoch. Durch die Absaugung im Eintrittsabschnitt entsteht eine ggf. vorteilhafte Brenngasströmung im Reaktor entgegengesetzt zur Förderichtung des Brennstoffbetts.

**[0018]** Alternativ dazu kann die Absaugstelle des

Reaktors im Austrittsabschnitt des Reaktors liegen und die Zuführstelle des Reaktors im Eintrittsabschnitt des Reaktors liegen. Optional kann das Rezirkulationssystem die Strömungsrichtung des Brenngases durch das Rezirkulationssystem bei Bedarf umstellen, sodass die Absaugstelle zur Zuführstelle wird und umgekehrt.

**[0019]** Optional kann das abgesaugte Brenngas in einer Entstaubungseinrichtung entstaubt werden, wobei die Entstaubung mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider erfolgt. Dies ist sinnvoll, damit ein Teil des Brenngases möglichst gut entstaubt einer nachgelagerten Brenngaskammer zur Nutzwärmeauskopplung zugeführt werden kann.

**[0020]** Oxidationsmittel wird vorzugsweise in das abgesaugte Brenngas im Rezirkulationssystem eingespeist, bevor die Temperatur des angesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem unter die Selbstentzündungstemperatur des abgesaugten Brenngases fällt, um es durch das eingespeiste Oxidationsmittel zumindest zum Teil zu entzünden und damit zu erhitzen. Das Brenngas kann dazu im Reaktor an der Absaugstelle auf einer Mindesttemperatur gehalten werden, die ausreicht, damit sich das Brenngas im Rezirkulationssystem bis zur Einspeisung des Oxidationsmittels nicht unter die Selbstentzündungstemperatur des abgesaugten Brenngases abkühlt. Es braucht dann keine Erwärmung des Brenngases im Rezirkulationssystem stromaufwärts der Einspeisung des Oxidationsmittels. Je nach Länge und Ausgestaltung des Rezirkulationssystems kann eine Einspeisung von Oxidationsmittel an mehreren Stellen des Rezirkulationssystems stattfinden. Sobald das Brenngas, das eine Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur hat, mit dem eingespeisten Oxidationsmittel in Kontakt kommt, entzündet es sich automatisch und setzt entsprechend thermische Energie frei. Daher ist es sinnvoll, wenn das Oxidationsmittel im Rezirkulationssystem nah an der Zuführstelle dem Brenngas zugeführt wird, damit möglichst viel freigesetzte thermische Energie des rezirkulierten, entzündeten Brenngases für die thermische Zersetzung im Reaktor genutzt wird. Zur Überwachung der Temperatur im Rezirkulationssystem weist das Rezirkulationssystem vorzugsweise ein oder mehrere Temperatursensoren auf. Es ist vorteilhaft, die Temperatur jeweils hinter einer Einspeisung von Oxidationsmittel zu messen, um den Oxidationsmittelzufluss anhand der Temperaturmessung regeln oder steuern zu können. Außerdem kann überprüft und geregelt werden, dass die Temperatur durch die Einspeisung von Oxidationsmittel bestimmte Sicherheitsgrenzen nicht überschreitet.

**[0021]** Optional kann Oxidationsmittel über eine Mehrzahl an in Längsrichtung des Reaktors verteilten ventilgesteuerten Düsen oberhalb des Brennstoffbetts in den Gasraum eingebracht werden und ein über die ventilgesteuerten Düsen jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel so geregelt werden, dass sich innerhalb des Reaktors ein bestimmtes, gewünschtes Prozess-temperaturprofil in Längsrichtung vom Eintrittsabschnitt

des Reaktors bis zum Austrittsabschnitt des Reaktors einstellt. Die Düsen sind insofern ventilgesteuert, als dass ein jeweils der Düse zugeordnetes Ventil den Massenstrom an Oxidationsmittel durch die Düse in Abhängigkeit eines Temperaturmesswerts regelt, wobei der Temperaturmesswert von einem jeweils der Düse zugeordneten Temperatursensor bereitgestellt wird. Der jeweilige Temperatursensor misst die Temperatur im Reaktor in dem Bereich, wo die zugehörige Düse das Oxidationsmittel einbringt. Das gewünschte Prozess-temperaturprofil muss nicht konstant über die Länge des Reaktors sein. Da das Brennstoffbett in Förderrichtung immer trockener wird, kann im Eintrittsabschnitt eine höhere Temperatur gewünscht sein als im Austrittsabschnitt. Entsprechend höher kann der Massenstrom von Oxidationsmittel durch die Düsen am Eintrittsabschnitt im Vergleich zum Massenstrom von Oxidationsmittel durch die Düsen am Austrittsabschnitt sein.

**[0022]** Optional kann das Oxidationsmittel zur Effizienzsteigerung vorgewärmt werden. Dies kann sinnvoll sein, um das Brenngas durch die Zugabe von Oxidationsmittel nicht unter die Selbstentzündungstemperatur des Brenngases abzukühlen. Die Erwärmung kann dadurch erreicht werden, dass die Leitungen für das Oxidationsmittel derart außenseitig am Reaktor und/oder an einer Brenngaskammer entlanggeführt sind, dass durch eine thermische Kopplung die Abwärme des Reaktors und/oder der Brenngaskammer zum Vorwärmen des Oxidationsmittels genutzt wird. Ein weiterer Vorteil der Vorwärmung des Oxidationsmittels bevor es eingespeist wird, ist der, dass weniger Oxidationsmittel benötigt wird und entsprechend weniger Brenngas für den Temperaturerhalt oxidiert werden muss. Entsprechend höher ist der Brennwert des letztlich produzierten Brenngases.

**[0023]** Optional kann ein Teil des abgesaugten Brenngases zu einer Brenngaskammer abgezweigt werden, vorzugsweise nach einem Entstauben des abgesaugten Brenngases. Die Brenngaskammer kann zur Nutzwärmeauskopplung verwendet werden, um die im abgezweigten Brenngas enthaltene chemische Energie möglichst effizient zu nutzen. Besonders sinnvoll ist die Nutzung der Abwärme der Brenngaskammer für die Vorwärmung des Oxidationsmittels.

**[0024]** Gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung bereitgestellt zur Aufspaltung von Brennstoffen durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in Brenngas und Kohle innerhalb eines Reaktors, der sich in einer Längsrichtung von einem Eintrittsabschnitt des Reaktors zur Zuführung von Brennstoff in den Reaktor zu einem Austrittsabschnitt des Reaktors zur Ausfuhr des zumindest teilweise zersetzten Brennstoffs aus dem Reaktor erstreckt, wobei der Reaktor eine mechanische Fördervorrichtung zur Förderung eines Brennstoffbetts innerhalb des Reaktors vom Eintrittsabschnitt zum Austrittsabschnitt aufweist, wobei der Reaktor oberhalb des geförderten Brennstoffbetts einen Gasraum für das Brenngas bildet, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung ein Rezirkulationssystem auf-

weist, das dazu eingerichtet ist, Brenngas aus dem Gasraum an einer Absaugstelle des Reaktors abzusaugen und das Brenngas dann an einer von der Absaugstelle des Reaktors entfernten Zuführstelle des Reaktors wieder dem Gasraum zuzuführen.

**[0025]** Optional kann das Rezirkulationssystem dazu eingerichtet sein, Oxidationsmittel in zumindest einen Teil des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem einzuspeisen.

**[0026]** Optional kann die Absaugstelle des Reaktors im Eintrittsabschnitt des Reaktors liegen und die Zuführstelle des Reaktors im Austrittsabschnitt des Reaktors liegen.

**[0027]** Optional kann das Rezirkulationssystem eine Entstaubungseinrichtung zum Entstauben des abgesaugten Brenngases mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider aufweisen.

**[0028]** Optional kann das Rezirkulationssystem zumindest einen Temperatursensor aufweisen, um zu prüfen, ob das abgesaugte Brenngas eine Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des abgesaugten Brenngases hat, insbesondere nachdem das Oxidationsmittel eingespeist wird, um die Einspeisung von Oxidationsmittel anhand der vom Temperatursensor gemessenen Temperatur regeln oder steuern zu können. Die Position des Temperatursensors im Rezirkulationssystem ist also vorzugsweise stromabwärts kurz hinter einer Einspeisung des Oxidationsmittels.

**[0029]** Optional kann das Rezirkulationssystem dazu eingerichtet sein, in Abhängigkeit der von dem zumindest einen Temperatursensor gemessenen Temperatur Oxidationsmittel einzuspeisen und dadurch die Temperatur des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem oberhalb der Selbstentzündungstemperatur zu halten.

**[0030]** Optional kann die Vorrichtung eine Mehrzahl an in Längsrichtung des Reaktors verteilten ventilsteuerten und oberhalb des Brennstoffbetts angeordneten Düsen zu Einbringen von Oxidationsmittel in den Gasraum aufweisen, wobei ein über die ventilsteuerten Düsen jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel so regelbar ist, dass sich innerhalb des Reaktors ein bestimmtes, gewünschtes Prozesstemperaturprofil in Längsrichtung vom Eintrittsabschnitt des Reaktors bis zum Austrittsabschnitt des Reaktors einstellt.

**[0031]** Optional kann der Reaktor ein erster von mindestens zwei Reaktoren sein, wobei ein zweiter der mindestens zwei Reaktoren dem ersten Reaktor nachgeschaltet ist und sich von einem Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors zu einem Austrittsabschnitt des zweiten Reaktors erstreckt, wobei der zweite Reaktor ebenfalls eine mechanische Fördervorrichtung zur Förderung eines Brennstoffbetts innerhalb des zweiten Reaktors vom Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors zum Austrittsabschnitt des zweiten Reaktors aufweist, wobei der Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors mit dem Austrittsabschnitt des ersten Reaktors verbunden ist, sodass der zumindest teilweise im ersten Reaktor zersetzte Brennstoff dem zweiten Reaktor zuführbar ist und Kohle im

Austrittsabschnitt des zweiten Reaktors ausschleusbar ist.

**[0032]** Optional kann die Vorrichtung eine Staubrückführung aufweisen, wobei das Rezirkulationssystem eine Entstaubungseinrichtung zum Entstauben des abgesaugten Brenngases mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider aufweist, wobei die Staubrückführung zwischen der Entstaubungseinrichtung und dem Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors geschaltet ist, um abgeschiedenen Staub dem zweiten Reaktor zur weiteren thermischen Zersetzung zuzuführen. Dies ist besonders sinnvoll, um im zweiten Reaktor den abgeschiedenen Staub vollständig zu verkohlen.

**[0033]** Optional kann der zweite Reaktor eine Mehrzahl an in Längsrichtung des zweiten Reaktors verteilten, ventilsteuerten und oberhalb des Brennstoffbetts des zweiten Reaktors angeordneten Düsen zum Einbringen von Oxidationsmittel in den Gasraum des zweiten Reaktors aufweisen, wobei ein über die ventilsteuerten Düsen jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel in den zweiten Reaktor so regelbar ist, dass sich innerhalb des zweiten Reaktors ein bestimmtes, gewünschtes Prozesstemperaturprofil in Längsrichtung vom Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors bis zum Austrittsabschnitt des zweiten Reaktors einstellt. Das gewünschte Temperaturprofil im zweiten Reaktor kann sich vom gewünschten Temperaturprofil unterscheiden. Der zweite Reaktor, in dem der Brennstoff schon zu einem Teil zersetzt und weniger feucht ist, kann beispielsweise heißer oder kühler betrieben werden als der erste Reaktor, um eine bestimmte Qualität oder Menge der auszuschleusenden Kohle zu erzielen.

**[0034]** Optional kann der zweite Reaktor parallel zum ersten Reaktor unterhalb des ersten Reaktors angeordnet sein, wobei eine Förderrichtung der mechanischen Fördervorrichtung im zweiten Reaktor entgegengesetzt zur Förderrichtung der mechanischen Fördervorrichtung im ersten Reaktor ist. Dies erlaubt einen besonders kompakten Aufbau der Vorrichtung und eine gute thermische Kopplung zwischen den zwei Reaktoren.

**[0035]** Optional können die Reaktoren jeweils in einem Temperaturbereich von 500 - 900 °C betrieben werden, vorzugsweise in einem Temperaturbereich von 620 - 800 °C. Grundsätzlich steigt mit steigender Temperatur die Durchsatzleistung. Andererseits verringert sich bei hohen Temperaturen der auf den Brennstoff bezogene erzielbare Kohleertrag. Es hat sich gezeigt, dass ein Prozesstemperaturprofil von 720 °C - 750 °C in einem in etwa mittig zwischen dem jeweiligen Eintrittsabschnitt und Austrittsabschnitt gelegenen Mittelabschnitt der Reaktoren gute Ergebnisse erzielt. Im jeweiligen Austrittsabschnitt kann ein im Mittel höheres Prozesstemperaturprofil von beispielsweise 770 °C - 800 °C vorteilhaft sein.

**[0036]** Nachfolgend sind Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand von Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines ersten

Teils einer vorteilhaften Ausführungsform einer Vorrichtung gemäß der Erfindung, anhand der die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte erläutert werden; und

Figur 2 eine schematische Darstellung eines zweiten Teils der Ausführungsform gemäß Fig. 1.

**[0037]** Die Figur 1 zeigt in schematischer Darstellung eine erfindungsgemäße Vorrichtung 1 für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Aufspaltung insbesondere feuchter Brennstoffe durch thermische Zersetzung mittels partieller Oxidation. Das Verfahren ist natürlich auch für trockene Brennstoffe anwendbar, aber hat insbesondere Vorteile bei der Zersetzung von relativ feuchten Brennstoffen. Die Vorrichtung 1 weist hier einen ersten Reaktor 3 und einen dem ersten Reaktor 3 nachgeschalteten zweiten Reaktor 5 auf. Der erste Reaktor 3 erstreckt sich von einem Eintrittsabschnitt 7, wo beispielsweise feuchter Brennstoff dem Reaktor 3 zugeführt wird, entlang einer Längsrichtung L zu einem Austrittsabschnitt 9, wo zumindest teilweise zersetzter Brennstoff aus dem ersten Reaktor 3 in den zweiten Reaktor 5 fällt. Der Brennstoff wird dem Reaktor 3 über eine Zentralschleuse 11 und eine Förderschnecke 13 zugeführt, sodass der Brennstoff im Eintrittsabschnitt 7 des ersten Reaktors 3 ein Brennstoffbett auf einer Fördervorrichtung 15 ausbildet. Die Fördervorrichtung 15, beispielsweise in Form einer im ersten Reaktor 3 befindlichen Förderschnecke, transportiert das Brennstoffbett in Längsrichtung L zum Austrittsabschnitt 9. Oberhalb des Brennstoffbetts bildet der erste Reaktor 3 einen Gasraum 16, in dem sich Brenngas bei der thermischen Aufspaltung bildet.

**[0038]** Der zweite Reaktor 5 weist ebenfalls eine Fördervorrichtung 17 auf, wobei hier die Förderrichtung im zweiten Reaktor 5 der Förderrichtung im ersten Reaktor 3 entgegengesetzt ist. Alternativ dazu kann die Förderrichtung im zweiten Reaktor 5 mit der Förderrichtung im ersten Reaktor 3 übereinstimmen. Der Eintrittsabschnitt 19 des zweiten Reaktors 5 ist daher unterhalb des Austrittsabschnitts 9 des ersten Reaktors 3 angeordnet. Der zweite Reaktor 5 ist hier etwa so lang wie der erste Reaktor 3 und erstreckt sich parallel zum ersten Reaktor 3 unterhalb des ersten Reaktors 3. Alternativ dazu kann der zweite Reaktor 5 länger oder, vorzugsweise, kürzer als der erste Reaktor 3 sein. Am Austrittsabschnitt 21 des zweiten Reaktors 5 wird dann Kohle über eine Zentralschleuse 23 ausgeschleust. Die beiden Reaktoren 3, 5 können zusammen von einer gemeinsamen thermischen Isolierung oder Wärmedämmung umgeben sein, um einen Gesamtwärmeverlust nach außen zu minimieren. Das im zweiten (unteren) Reaktor 5 entstehende Brenngas kann entgegengesetzt zum Brennstoffbett aus dem Eintrittsabschnitt 19 des zweiten Reaktors 5 in den Gasraum 16 im Austrittsabschnitt 9 des ersten Reaktors 3 nach oben ziehen. Der Gasraum im zweiten (unteren) Reaktor 5 kann entsprechend klei-

ner ausgestaltet sein als der Gasraum 16 im ersten (oberen) Reaktor 3.

**[0039]** Erfindungsgemäß weist die Vorrichtung 1 ein Rezirkulationssystem 25 auf (dessen Leitungen in Fig. 1 gestrichelt gezeigt sind), mit dem an einer Absaugstelle 27 Brenngas aus dem Gasraum 16 des ersten Reaktors 3 abgesaugt wird. Die Absaugstelle 27 liegt im gezeigten Ausführungsbeispiel im Eintrittsabschnitt 7 des ersten Reaktors 3. Das Rezirkulationssystem 25 weist ein Rezirkulationsgebläse 29 auf, mit welchem der Durchfluss im Rezirkulationssystem 25 gesteuert wird. Das Rezirkulationssystem 25 weist ferner eine Entstaubungseinrichtung 31 in Form eines Abscheiders auf. Ein Teil des entstaubten Brenngases wird für eine in Fig. 2 gezeigte Brenngaskammer 33 abgezweigt. In einen anderen Teil des entstaubten Brenngases wird an einer Entzündungsstelle 35a des Rezirkulationssystems 25 Oxidationsmittel in Form von Luft eingespeist, wodurch sich ein Teil des Brenngases automatisch entzündet, und dann dem Gasraum 16 des ersten Reaktors 3 an einer Zuführstelle 37 wieder zugeführt. Die Zuführstelle 37 befindet sich hier im Austrittsabschnitt 9 des ersten Reaktors 3. Dadurch wird im Gasraum 16 ein Brenngasstrom entgegen der Förderrichtung des Brennstoffbetts erzielt. Eine weitere Entzündungsstelle 35b ist hier stromaufwärts der Entstaubungseinrichtung 31 vorgesehen, wo über ein Ventil 45 gesteuert Oxidationsmittel in das Rezirkulationssystem 25 eingespeist wird, um zu verhindern, dass die Temperatur des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem 25 unter die Selbstentzündungstemperatur des Brenngases fällt. Dies kann mittels eines stromabwärts hinter der Entzündungsstelle 35b angeordneten Temperatursensors 38 geprüft und das Ventil 45 in Abhängigkeit der Temperaturmessung des Temperatursensors 38 geregelt werden. Es sollte nur so wenig Oxidationsmittel wie möglich, aber so viel wie zum Temperaturerhalt nötig eingespeist werden.

**[0040]** Wenn das rezirkulierte Brenngas an der jeweiligen Entzündungsstelle 35a,b eine Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des Brenngases hat, entzündet es sich selbst bei Einspeisung des Oxidationsmittels. Die Temperatur kann von einem jeweils im Rezirkulationssystem 25 stromabwärts hinter der jeweiligen Entzündungsstelle 35a,b angeordneten Temperatursensor 38 gemessen werden. Durch die Rezirkulation des Brenngases wird somit die für den relativ hohen Wassergehalt im Brennstoff benötigte Verdampfungsenthalpie aus dem Brenngas gewonnen. Für den Start des Rezirkulationsprozesses ist eine Starthilfe 39 in Form einer gesteuert entzündbaren Flüssiggaszuführung vorgesehen, um an der Entzündungsstelle 35a des Rezirkulationssystems 25 ein brennbares Gas zuzuführen und entzündet dem ersten Reaktor 3 an der Zuführstelle zuzuführen. Sobald das Brenngas auf Selbstentzündungstemperatur im Rezirkulationssystem 25 zirkuliert, hält sich der Rezirkulationsprozess allein durch die jeweilige Einspeisung des Oxidationsmittels an den Entzündungsstellen 35a,b aufrecht, sodass die Starthilfe 39

dann nicht mehr benötigt wird.

**[0041]** Die Luft als Oxidationsmittel wird mittels eines Primärluftgebläses 41 der Umgebungsluft 43 entnommen und über steuerbare Ventile 45 dem Rezirkulationssystem 25 an den Entzündungsstellen 35a,b zugeführt. Außerdem versorgt das Primärluftgebläse 41 eine Mehrzahl an über die Länge der beiden Reaktoren 3, 5 verteilt angeordneten Düsen 47, die dazu ausgestaltet sind, Oxidationsmittel von oben in den jeweiligen Reaktor 3, 5 einzubringen. Die Düsen 47 sind jeweils ventilgesteuert, wobei der Massenstrom an Oxidationsmittel durch die jeweilige Düse 47 von einem zugehörigen temperaturgeregelten Ventil 49 in Abhängigkeit einer von einem zugehörigen Temperatursensor 51 gemessenen Temperatur im Bereich der jeweiligen Düse 47 geregelt wird. Dadurch lässt sich über die Länge des jeweiligen Reaktors 3, 5 ein gewünschtes Temperaturprofil einstellen, das nicht über die Länge des Reaktors 3, 5 konstant sein muss. Je höher der jeweilige Massenstrom an Oxidationsmittel ist, umso höher wird die Temperatur im Bereich der jeweiligen Düse 47. Dies liegt daran, dass die thermische Zersetzung insgesamt unterstöchiometrisch abläuft, d.h. im jeweiligen Reaktor 3, 5 immer ein Mangel an Oxidationsmittel besteht oder ein Überschuss an Brenngas, das nie vollständig im Reaktor 3, 5 verbrennt. Mit der Zugabe von Oxidationsmittel wird daher die autotherme Zersetzung gezielt lokal im jeweiligen Reaktor 3, 5 befeuert.

**[0042]** Der in der Entstaubungseinrichtung 31 abgeschiedene Staub wird in der gezeigten Ausführungsform über eine Zellradschleuse 53 und eine Förderschnecke 55 dem Eintrittsabschnitt 19 des zweiten (unteren) Reaktors 5 zugeführt, damit der abgeschiedene Staub im zweiten Reaktor 5 vollständig verkohlt werden kann.

**[0043]** Den Reaktoren 3, 5 und dem Rezirkulationssystem 25 wird im Laufe des Verfahrens aus dem Brennstoff produzierten Brenngas, d.h. hauptsächlich gasförmige Kohlenwasserstoffe und Wasserdampf, und das Oxidationsmittel zugeführt. Die Reaktoren 3, 5 und das Rezirkulationssystem 25 sollten möglichst einen Druck leicht unterhalb des Luftdrucks der Umgebung haben, damit kein Gas, beispielsweise an den Zellradschleusen 11, 23, austritt. Um dies zu erreichen, wird ein Teil des Brenngases aus dem Rezirkulationssystem 25 abgezweigt, wobei dieser Teil etwas größer ist als die Summe aus dem momentan in den Reaktoren 3, 5 produzierten Brenngas und dem zugeführten Oxidationsmittel, wodurch ein leichter Unterdruck entsteht.

**[0044]** In Fig. 2 ist gezeigt, wie der abgezweigte Teil des Brenngases in die Brenngaskammer 33 geleitet wird, wo mittels eines Sekundärluftgebläses 57 Umgebungsluft 43 in die Brenngaskammer 33 zur möglichst vollständigen Verbrennung des Brenngases geleitet wird. In einem Abhitzekeessel 59 wird die in der Brenngaskammer 33 erzeugte Wärme, die mit dem Abgas 61 der Brenngaskammer 33 ausgetragen wird, mittels einer Nutzwärmeauskopplung 63 anderweitig genutzt. Ein drehzahlgesteuertes Absauggebläse 65 bestimmt da-

bei den Massenstrom an Abgas 61 aus der Vorrichtung 1. Die Drehzahl des Absauggebläses 65 ist dabei vorzugsweise in Abhängigkeit eines im ersten oder zweiten Reaktor 3, 5 und/oder im Rezirkulationssystem 25 von mindestens einem Drucksensor 67 gemessenen Drucks geregelt. Das Absauggebläse 65 sorgt damit für den gewünschten leichten Unterdruck in den Reaktoren 3, 5 und dem Rezirkulationssystem 25. Vorzugsweise ist dazu mindestens ein Drucksensor 67 am Austrittsabschnitt 9 des ersten Reaktors 3 angeordnet, um die Drehzahl des Absauggebläses 65 entsprechend des dort gemessenen Drucks zu regeln. Optional kann, wie in Fig. 2 gezeigt, ein Teil des Abgases noch einmal über ein Abgasrückführungsgebläse 69 dem Brenngaskammer 33 zugeführt werden, um Stickoxidemissionen zu verringern. In einem Kamin 71 entweicht dann vollständig ausgebranntes Abgas, welches auch die gesamte Wasserdampfpracht aus der Brennstofffeuchte beinhaltet.

## 20 Bezugszeichenliste

### [0045]

1	Vorrichtung
25 3	erster Reaktor
5	zweiter Reaktor
7	Eintrittsabschnitt des ersten Reaktors
9	Austrittsabschnitt des ersten Reaktors
11	Zellradschleuse
30 13	Förderschnecke
15	Fördereinrichtung im ersten Reaktor
16	Gasraum
17	Fördereinrichtung im zweiten Reaktor
19	Eintrittsabschnitt des zweiten Reaktors
35 21	Austrittsabschnitt des zweiten Reaktors
23	Zellradschleuse
25	Rezirkulationssystem
27	Absaugstelle
29	Rezirkulationsgebläse
40 31	Entstaubungseinrichtung
33	Brenngaskammer
35a,b	Entzündungsstelle
37	Zuführstelle
38	Temperatursensor(en)
45 39	Starthilfe
41	Primärluftgebläse
43	Umgebungsluft
45	Ventil
47	Düsen
50 49	Ventil
51	Temperatursensor
53	Zellradschleuse
55	Förderschnecke
57	Sekundärluftgebläse
55 59	Abhitzekeessel
61	Abgas
63	Nutzwärmeauskopplung
65	Absauggebläse

67 Drucksensor  
 69 Abgasrückführungsgebläse  
 71 Kamin  
 L Längsrichtung

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Aufspaltung Brennstoffe durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in Brenngas und Kohle innerhalb eines Reaktors (3), der sich in einer Längsrichtung (L) von einem Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) zu einem Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) erstreckt, **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte:

- a. Zuführen des Brennstoffs in den Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3), wobei oberhalb des zugeführten Brennstoffs im Reaktor (3) ein Gasraum (16) oberhalb eines Brennstoffbetts ausgebildet ist,
- b. Fördern des Brennstoffbetts innerhalb des Reaktors (3) vom Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) zum Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) mittels einer mechanischen Fördervorrichtung (15),
- c. Aufspalten des festen Brennstoffs durch thermische Zersetzung durch Teilvergasung mittels partieller Oxidation,
- d. Absaugen von Brenngas aus dem Gasraum (16) an einer Absaugstelle (27) des Reaktors (3) in ein Rezirkulationssystem (25),
- e. Wiederaufzuführen des Brenngases vom Rezirkulationssystem (25) in den Gasraum (16) an einer von der Absaugstelle (27) des Reaktors (3) entfernten Zuführstelle (37) des Reaktors (3), und
- f. Ausführen des zumindest teilweise zersetzten Brennstoffs im Austrittsabschnitt (9) aus dem Reaktor (3).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Oxidationsmittel in zumindest einen Teil des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem (25) eingespeist wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Absaugstelle (27) des Reaktors (3) im Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) liegt und die Zuführstelle (37) des Reaktors (3) im Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) liegt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das abgesaugte Brenngas in einer Entstaubungseinrichtung (31) entstaubt wird, wobei die Entstaubung mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Brenngas, vorzugsweise durch Ein-

speisen von Oxidationsmittel, auf einer Temperatur im Rezirkulationssystem (25) oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des abgesaugten Brenngases gehalten wird.

5

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Oxidationsmittel über eine Mehrzahl an in Längsrichtung (L) des Reaktors (3) verteilten ventilgesteuerten Düsen (47) oberhalb des Brennstoffbetts in den Gasraum (16) eingebracht wird und ein über die ventilgesteuerten Düsen (47) jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel so geregelt wird, dass sich innerhalb des Reaktors (3) ein bestimmtes, gewünschtes Prozesstemperaturprofil in Längsrichtung (L) vom Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) bis zum Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) einstellt.

10

15

20

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Oxidationsmittel vorgewärmt wird, bevor das vorgewärmte Oxidationsmittel in das Rezirkulationssystem (25) und/oder den Reaktor (3) eingespeist wird.

25

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner mit einem Schritt des Abzweigens eines Teils des abgesaugten Brenngases aus dem Rezirkulationssystem (25) zu einer Brenngaskammer (33), vorzugsweise nach einem Entstauben des abgesaugten Brenngases.

30

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Teil des abgesaugten Brenngases mittels eines drehzahlgesteuerten Absauggebläses (65) abgezweigt wird, wobei eine Drehzahl des Absauggebläses (65) in Abhängigkeit eines im Reaktor (3) und/oder im Rezirkulationssystem (25) von mindestens einem Drucksensor (67) gemessenen Drucks geregelt ist.

35

40

10. Vorrichtung (1) zur Aufspaltung von Brennstoffen durch thermische Zersetzung des Brennstoffs in Brenngas und Kohle innerhalb eines Reaktors (3), der sich in einer Längsrichtung (L) von einem Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) zur Zuführung von Brennstoff in den Reaktor (3) zu einem Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) zur Ausfuhr des zumindest teilweise zersetzten Brennstoffs aus dem Reaktor (3) erstreckt, wobei der Reaktor (3) eine mechanische Fördervorrichtung (15) zur Förderung eines Brennstoffbetts innerhalb des Reaktors (3) vom Eintrittsabschnitt (7) zum Austrittsabschnitt (9) aufweist, wobei der Reaktor (3) oberhalb des geförderten Brennstoffbetts einen Gasraum (16) für das Brenngas bildet, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein Rezirkulationssystem (25) aufweist, das dazu eingerichtet ist, Brenngas aus dem Gasraum (16) an einer Absaugstelle (27) des Reaktors (3) abzusaugen und das Brenngas dann an

50

55



einer von der Absaugstelle (27) des Reaktors (3) entfernten Zuführstelle (37) des Reaktors (3) wieder dem Gasraum (16) zuzuführen.

11. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10, wobei das Rezirkulationssystem (25) dazu eingerichtet ist, Oxidationsmittel in zumindest einen Teil des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem (25) einzuspeisen. 5
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 10 oder 11, wobei die Absaugstelle (27) des Reaktors (3) im Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) liegt und die Zuführstelle (37) des Reaktors (3) im Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) liegt. 10
13. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 12, wobei das Rezirkulationssystem (25) eine Entstaubungseinrichtung (31) zum Entstauben des abgesaugten Brenngases mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider aufweist. 20
14. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei das Rezirkulationssystem (25) zumindest einen Temperatursensor (38) aufweist, um zu prüfen, ob das abgesaugte Brenngas im Rezirkulationssystem (25) eine Temperatur oberhalb der Selbstentzündungstemperatur des abgesaugten Brenngases hat. 25
15. Vorrichtung (1) nach Anspruch 14, wobei das Rezirkulationssystem (25) dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit der von dem zumindest einen Temperatursensor (38) gemessenen Temperatur Oxidationsmittel einzuspeisen und dadurch die Temperatur des abgesaugten Brenngases im Rezirkulationssystem (25) oberhalb der Selbstentzündungstemperatur zu halten. 30
16. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 15, mit einer Mehrzahl an in Längsrichtung (L) des Reaktors (3) verteilten ventilgesteuerten und oberhalb des Brennstoffbetts angeordneten Düsen (47) zu Einbringen von Oxidationsmittel in den Gasraum (16), wobei ein über die ventilgesteuerten Düsen (47) jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel so regelbar ist, dass sich innerhalb des Reaktors (3) ein bestimmtes, gewünschtes Prozess-temperaturprofil in Längsrichtung (L) vom Eintrittsabschnitt (7) des Reaktors (3) bis zum Austrittsabschnitt (9) des Reaktors (3) einstellt. 35
17. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 10 bis 16, wobei der Reaktor (3) ein erster von mindestens zwei Reaktoren (3, 5) ist, wobei ein zweiter (5) der mindestens zwei Reaktoren (3, 5) dem ersten Reaktor (3) nachgeschaltet ist und sich von einem Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) zu einem 40

Austrittsabschnitt (21) des zweiten Reaktors (5) erstreckt, wobei der zweite Reaktor (5) ebenfalls eine mechanische Fördervorrichtung (17) zur Förderung eines Brennstoffbetts innerhalb des zweiten Reaktors (5) vom Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) zum Austrittsabschnitt (21) des zweiten Reaktors (5) aufweist, wobei der Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) mit dem Austrittsabschnitt (9) des ersten Reaktors (3) verbunden ist, sodass der zumindest teilweise im ersten Reaktor (3) zersetzte Brennstoff vom Austrittsabschnitt (9) des ersten Reaktors (3) dem Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) zuführbar ist und Kohle im Austrittsabschnitt (21) des zweiten Reaktors (5) aus- 45

18. Vorrichtung (1) nach Anspruch 17, ferner mit einer Staubrückführung, wobei das Rezirkulationssystem (25) eine Entstaubungseinrichtung (31) zum Entstauben des abgesaugten Brenngases mittels Schwerkraft, Fliehkraft und/oder eines Filters in einem Abscheider aufweist, wobei die Staubrückführung zwischen der Entstaubungseinrichtung (31) und dem Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) geschaltet ist, um den abgeschiedenen Staub dem Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) zur weiteren thermischen Zersetzung zuzuführen. 50

19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, wobei der zweite Reaktor (5) eine Mehrzahl an in Längsrichtung (L) des zweiten Reaktors (5) verteilten, ventilgesteuerten und oberhalb des Brennstoffbetts des zweiten Reaktors (5) angeordneten Düsen (47) zu Einbringen von Oxidationsmittel in den Gasraum des zweiten Reaktors (5) aufweist, wobei ein über die ventilgesteuerten Düsen (47) jeweils eingebrachter Massenstrom an Oxidationsmittel so regelbar ist, dass sich innerhalb des zweiten Reaktors (5) ein bestimmtes, gewünschtes Prozess-temperaturprofil in Längsrichtung (L) vom Eintrittsabschnitt (19) des zweiten Reaktors (5) bis zum Austrittsabschnitt (21) des zweiten Reaktors (5) einstellt. 55

20. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, wobei der zweite Reaktor (5) parallel zum ersten Reaktor (3) unterhalb des ersten Reaktors (3) angeordnet ist, wobei die Förderrichtung der mechanischen Fördervorrichtung (17) im zweiten Reaktor (5) entgegengesetzt zur Förderrichtung der mechanischen Fördervorrichtung (15) im ersten Reaktor (3) ist. 60

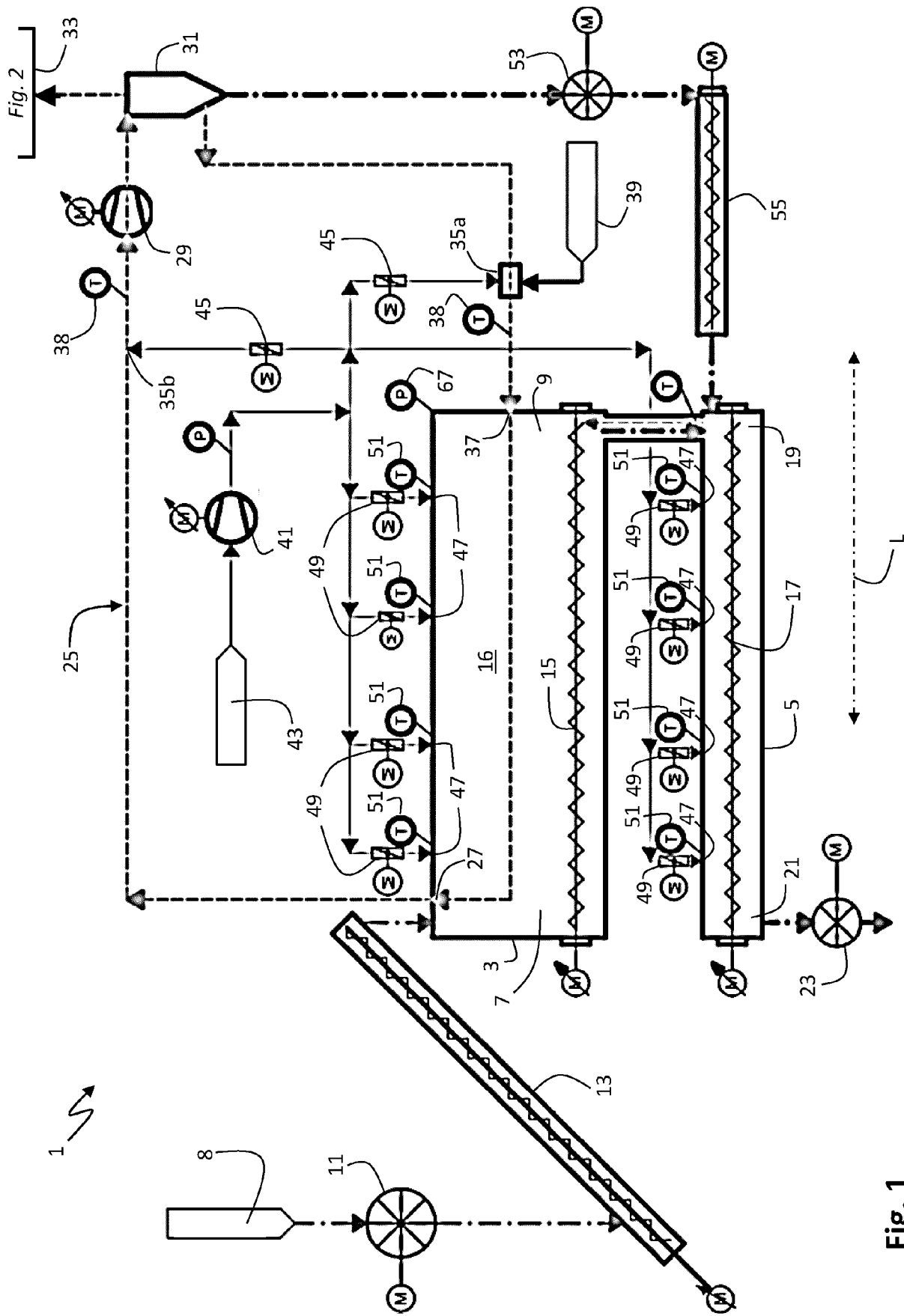
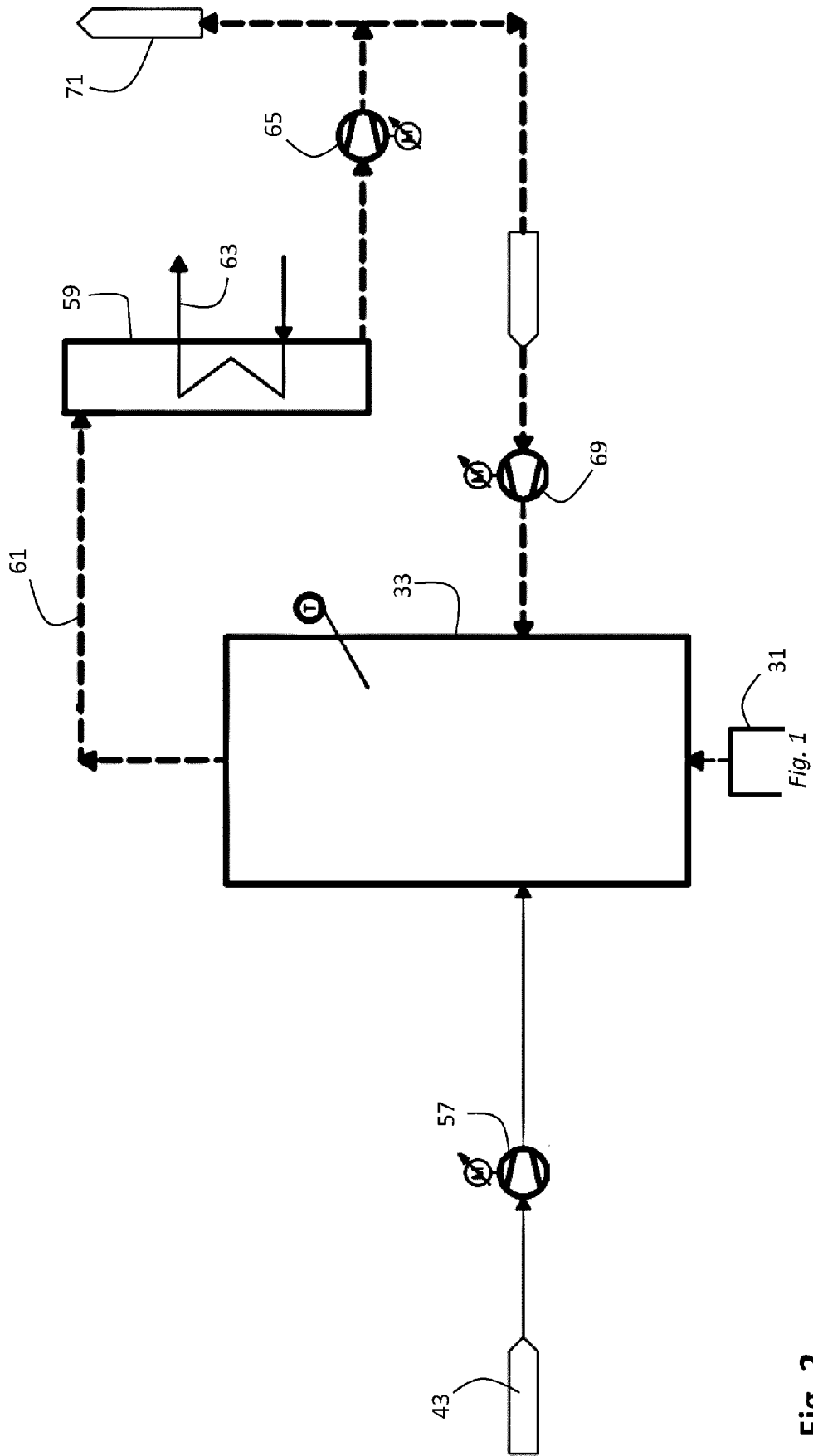


Fig. 1

1 ↗



**Fig. 2**



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 4247

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 11 613 705 B2 (MCGOLDEN MICHAEL [US]; MCGOLDEN LLC [US]) 28. März 2023 (2023-03-28) * Spalte 2, Zeilen 4-42; Ansprüche 1-15; Abbildung 1 *	1-20	INV. C10B7/10 C10B21/18 C10B49/04 C10B53/00 C10J3/00 C10J3/72
X	EP 3 858 952 A1 (GARDENS BEST GMBH [DE]) 4. August 2021 (2021-08-04)  * Absätze [0020], [0021], [0054]; Ansprüche 1-15; Abbildung 1 *	1,2, 4-11, 13-16	ADD. C10B49/06 C10J3/62 C10J3/66 C10L9/08
X	EP 0 257 019 A2 (VOEST ALPINE AG [AT]) 24. Februar 1988 (1988-02-24)  * Spalte 1, Zeile 35 - Zeile 36 * * Spalte 5, Zeile 27 - Spalte 6, Zeile 62; Abbildungen 6,7 *	1,2, 5-11, 13-16	
A	US 2009/250378 A1 (WU CHUN-YAO [TW] ET AL) 8. Oktober 2009 (2009-10-08) * Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen *	1-20	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
A	US 2012/238645 A1 (RUEDLINGER MIKAEL [CH]) 20. September 2012 (2012-09-20) * Zusammenfassung; Ansprüche; Abbildungen *	1-20	C10B C10K C10J C10L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		15. Mai 2024	
Prüfer		Bertin, Séverine	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 21 4247

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-05-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 11613705 B2	28-03-2023	CA 2863146 A1	29-08-2013
			CN 104220563 A	17-12-2014
			EP 2812416 A1	17-12-2014
			US 2014332363 A1	13-11-2014
			US 2023348789 A1	02-11-2023
			WO 2013126211 A1	29-08-2013
20	EP 3858952 A1	04-08-2021	KEINE	
	EP 0257019 A2	24-02-1988	AT 390961 B	25-07-1990
			EP 0257019 A2	24-02-1988
25	US 2009250378 A1	08-10-2009	TW 200942606 A	16-10-2009
			US 2009250378 A1	08-10-2009
30	US 2012238645 A1	20-09-2012	AP 3292 A	31-05-2015
			AR 079079 A1	21-12-2011
			AU 2010320871 A1	12-07-2012
			BR 112012011891 A2	02-08-2016
			CA 2780856 A1	26-05-2011
			CL 2012001299 A1	24-08-2012
			CN 102762697 A	31-10-2012
			CO 6541590 A2	16-10-2012
			CY 1122410 T1	27-01-2021
35			DK 2501786 T3	11-11-2019
			EA 201270637 A1	30-11-2012
			EC SP12011973 A	31-08-2012
			EP 2501786 A1	26-09-2012
			EP 3594313 A1	15-01-2020
40			ES 2758543 T3	05-05-2020
			GE P20146206 B	10-12-2014
			HN 2012001100 A	06-04-2015
			HR P20191988 T1	20-03-2020
			HU E047176 T2	28-04-2020
			IL 219746 A	31-05-2016
45			JP 5791054 B2	07-10-2015
			JP 2013511585 A	04-04-2013
			KR 20120112469 A	11-10-2012
			LT 2501786 T	25-11-2019
			ME 03549 B	20-07-2020
50			MY 158603 A	18-10-2016
			NI 201200092 A	15-04-2013
			NZ 600722 A	29-08-2014
			PL 2501786 T3	31-03-2020
			PT 2501786 T	12-11-2019
55			SG 10201407559R A	29-01-2015

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.

EP 23 21 4247

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-05-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
			SI 2501786 T1	31-03-2020
			TN 2012000213 A1	12-12-2013
15			TW 201124519 A	16-07-2011
			US 2012238645 A1	20-09-2012
			US 2020002632 A1	02-01-2020
			US 2021032553 A1	04-02-2021
			UY 33038 A	30-06-2011
20			WO 2011061299 A1	26-05-2011
			ZA 201204529 B	27-02-2013
			-----	
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1943461 B1 [0004]
- DE 19807988 B4 [0005] [0006] [0009]
- DE 102007012452 B4 [0008]
- EP 3858952 A1 [0010]