



(11)

EP 2 674 673 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
28.02.2018 Patentblatt 2018/09

(51) Int Cl.:
F23C 1/04 ^(2006.01) **F23C 1/02** ^(2006.01)
F23C 6/04 ^(2006.01) **F23G 5/16** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13171352.1**

(22) Anmeldetag: **11.06.2013**

(54) Lastabhängig betriebene Vorrichtung zur Verbrennung fester biogener Brennstoffe und Verfahren zu deren Betrieb

Load-dependent apparatus for the combustion of solid biogenic fuels and method for its operation

Dispositif de combustion dont le fonctionnement dépend de la charge pour la combustion de combustibles biogènes solides et son procédé de fonctionnement

(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 MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **13.06.2012 DE 102012105099**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
18.12.2013 Patentblatt 2013/51

(73) Patentinhaber: **Karlsruher Institut für Technologie
76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Knapp, Thomas
33803 Steinhagen (DE)**
• **Seufert, Tobias
75031 Eppingen (DE)**

- **Gehrmann, Hans-Joachim, Dr.-Ing.
76356 Weingarten (DE)**
- **Gerig, Andreas
76185 Karlsruhe (DE)**
- **Wagner, Andreas, Prof.
76185 Karlsruhe (DE)**
- **Seifert, Helmut, Prof. Dr.
76069 Ludwigshafen (DE)**

(74) Vertreter: **Ege Lee & Partner
Patentanwälte PartGmbB
Schirmgasse 268
84028 Landshut (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 1 221 573 GB-A- 1 023 583
US-A- 3 680 500**

EP 2 674 673 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Verbrennung fester, biogener Brennstoffe in einer ersten Brennstufe mit einer ersten Zuführeinrichtung des Brennstoffs in ein Brenngutbett, einer Primärluftzufuhreinrichtung, einer Zündeinrichtung zur Entzündung des Brennstoffs im Brenngutbett, einem über dem Brenngutbett vorgesehenen Brennraum sowie einem in einem Wärmestrom des verbrannten Brennguts angeordneten Wärmetauscher mit zumindest einem nachgeschalteten Wärmespeicher.

[0002] Gattungsgemäße Vorrichtungen sind beispielsweise als Brennkessel zur Verbrennung von Holzpellets, Hackschnitzeln und dergleichen bekannt. Derartige Brennkessel werden betrieben, indem der gestückelte Brennstoff auf ein Brenngutbett dosiert und dort gezündet und verbrannt wird. Ein in dem sich oben anschließenden Brennraum angeordneter, beispielsweise mit Wasser befüllter Wärmetauscher wird dabei erwärmt und gibt das erhitzte Wasser an einen oder mehrere Wärmespeicher ab, aus dem beispielsweise eine Heizung oder eine Brauchwasserleitung gegebenenfalls über weitere Wärmetauscher gespeist wird. Die Zuführung des Brennguts erfolgt mittels Zuführeinrichtung nach dem Quereinschub-, Unterschub- oder Abwurfverfahren auf ein Brenngutbett, beispielsweise einen Rost, eine Schale oder einen Tunnel. Beispielsweise ist aus der deutschen Patentschrift Nr. 666 007 eine Rostfeuerung mit einer einzigen Zuführeinrichtung bekannt, bei der ein Teil des Brennguts zerkleinert wird und über dem Brennbett verbrannt wird. Eine getrennte Steuerung des auf den Rost dosierten und über dem Rost verbrannten Brennguts ist nicht vorgesehen. Zur Verbrennung von Holzabfällen in Form von Holzspänen, Sägemehl und stückigen Holzteilen werden in der DE 32 26 877 A1 die Holzabfälle gemeinsam einer Unterschubfeuerung zugeführt. Hierbei werden die stückigen Holzteile über eine Handbefüllöffnung zugeführt und die kleinteiligen Holzabfälle vorverdichtet zugeführt. Durch die Vorverdichtung ist kein dynamischer, schnell ablaufender Brennvorgang möglich. Aus der DE 10 2008 056 019 A1 ist eine Beschickungsvorrichtung für einen Ofen bekannt, bei dem Stückholz vor der Zuführung in den Ofen über einen Fallschacht einer Zerkleinerungseinrichtung zugeführt wird. Die Zuführung erfolgt mittels einer einzigen Zuführungseinrichtung. Aus der EP 1 162 405 A2 ist eine Vorrichtung zur Verbrennung von Holzpellets bekannt, die vor der Zufuhr mittels einer Zuführeinrichtung in einen Brennraum mittels einer Mühle gemahlen und der Verbrennungsluft beigemischt werden.

[0003] Auf den erweiterten Recherchenbericht vom 11. 07. 2014 geänderte Beschreibungsseite 2 Nach einer Zündung einer mit biogenen Feststoffen betriebenen Vorrichtung zur Erwärmung von Wasser für den Heiz- und Brauchwasserbetrieb entstehen große An- und Abbrandzeiten, so dass diese insbesondere bei schnellem Warmwasserbedarf unzureichend schnell reagieren und

bei zyklischem Betrieb aufgrund der hohen Schadstoffbelastung im Anbrandbetrieb umweltrelevant und infolge von Regelschwingungen insbesondere bei mehreren hintereinander geschalteten Brennstoffkesseln schwer zu regeln sind.

Aus der EP 1 221 573 A1 ist eine gattungsgemäße Vorrichtung zur Gewinnung elektrischer und thermischer Energie in Biomassekesseln bekannt, bei denen in einer Brennstufe ein Biomassebrenner und in einer weiteren Brennstufe ein Biogas- oder Rapsölbrenner wirksam ist. Aus der GB 1 023 583 A ist eine gattungsgemäße Vorrichtung bekannt, bei der variable Erzeugung von Wärmeenergie mittels eines in einem Brennbett verbrannten Brennstoff und darüber angeordneten Hilfsbrennern variabel erzeugt wird. Aus der US 3 680 500 A ist eine gattungsgemäße Verbrennungsanlage für Abfall bekannt, bei der eine erste Brennstufe und eine nachgeschaltete zweite Brennstufe in der Brennkammer vorgesehen sind. Aufgabe der Erfindung ist daher, eine Vorrichtung vorzuschlagen, die weniger Schadstoffe produziert und in verbesserter Weise an einen zeitlich variierenden Wärmebedarf anpassbar ist.

Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Vorrichtung des Anspruchs 1 und des Verfahrens des Anspruchs 5 gelöst. Die auf diese zurückbezogenen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausführungsformen.

In einer betreffenden Vorrichtung zur Verbrennung fester, biogener Brennstoffe in einer ersten Brennstufe mit einer ersten Zuführeinrichtung des Brennstoffs in ein Brenngutbett, einer Primärluftzufuhreinrichtung, einer Zündeinrichtung zur Entzündung des Brennstoffs im Brenngutbett, einem über dem Brenngutbett vorgesehenen Brennraum sowie einem in einem Wärmestrom des verbrannten Brennguts angeordneten Wärmetauscher mit zumindest einem nachgeschalteten Wärmespeicher ist hierzu die erste Brennstufe als eine Wärmegrundlast kompensierende Brennstufe ausgebildet und eine zweite, Wärmebedarfsspitzen abdeckende Brennstufe mit einer zweiten, im Brennraum selbstentzündlichen, zerkleinerten festen biogenen Brennstoff eintragenden Zuführeinrichtung vorgesehen.

Die Vorrichtung ist als Brennstoffkessel zur Verbrennung von gestückelten Holzteilen, Holzspänen, Rindenteilen und dergleichen, insbesondere Holzpellets vorgesehen. Ein derartiger Brennkessel wird bevorzugt für kleine Gebäude wie Ein- oder Mehrfamilienhäuser, kleine Gewerbe- und Bürogebäude und dergleichen ausgelegt. Die erste Zuführeinrichtung der ersten Brennstufe kann hierbei als Unterschub-, Querschubbeschickung oder Abwurfteinrichtung vorgesehen sein. Der Transport des Brennstoffs von einem Vorratsbehälter zum Brennkessel kann beispielsweise mittels einer Förderschnecke erfolgen. Der Betrieb der Vorrichtung wie Brennkessel erfolgt lastgesteuert zweigeteilt. Hierbei wird eine Wärmegrundlast durch Befuerung des Brennkessels mittels von der ersten Zuführeinrichtung entsprechend der Wärmegrundlast dosiert zugeführtem stückeligem Brennstoff wie Holzpellets abgedeckt.

Die Zündung des in das Brenngutbett zugeführten Brennstoffs erfolgt mittels einer Zündeinrichtung, beispielsweise einer elektrischen Glühspirale, eines Brandförderers wie beispielsweise eines Anzünders oder dergleichen. Es hat sich dabei als vorteilhaft erwiesen, die Primärluftzufuhr so zu erwärmen, dass ein derartiger Zündvorgang erleichtert oder ohne weitere Hilfsmittel eingeleitet wird, indem die Flammtemperatur des Brennstoffs überschritten wird. Die Primärluft kann beispielsweise durch eine elektrische Heizspirale erwärmt werden. Diese ist wegen ihrer geschützten Unterbringung weniger störanfällig als eine im Brenngutbett platzierte Glühspirale.

[0004] Unter Wärmegrundlast ist ein Wärmebedarf, beispielsweise in Form eines auf einer vorgegebenen beziehungsweise vorgebbaren Temperatur gehaltenen Pufferspeichers und/oder Wärmekreislaufs zu verstehen, der im Wesentlichen dauerhaft, beispielsweise in einer Heizperiode in Form eines Heizkreislaufs anfällt. Wird diese Wärmegrundlast angefordert, kann der Brennvorgang nach einem Anbrand in der Regel über längere Zeit aufrecht erhalten werden, so dass Anbrandphasen mit vergleichsweise höherer Schadstoffbelastung minimiert werden können. Weiterhin werden zyklische An- und Abschaltvorgänge mit damit verbundenen langen Aufheiz- und Abwärmzeiten vermieden, die einerseits zu langen und unkomfortablen Reaktionszeiten des Brennkessels mit schwer zu kontrollierbarem Regelverlauf mit Regelschwingungsneigung und andererseits zu unökonomischer Nutzung des Brennstoffs führen.

[0005] Die Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen, wie sie beispielsweise bei Bereitstellung von warmem Brauchwasser und dergleichen entstehen, erfolgt durch Aktivierung der zweiten Brennstufe. Der von der zweiten Zuführeinrichtung entsprechend fein verteilt aufbereitete Brennstoff wird im Gegensatz zu dem im Brenngutbett abbrennenden Brennstoff in den Brennraum über dem Brenngutbett eingebracht und zündet in bevorzugter Weise infolge der in dieser vorherrschenden Umgebung instantan. Bei abgeschalteter erster Brennstufe kann eine zusätzliche Zündeinrichtung für den Brennstoff der zweiten Brennstufe vorgesehen sein. Dabei werden die Bedingungen des Brennstoffeintrags so gewählt, dass ein Kontakt mit Wänden des Brennraums in bevorzugter Weise vermieden und eine gleichmäßige Feinverteilung über den Brennraum erzielt wird. Infolge der hohen Oberfläche des Brennstoffs stellt der Brennstoff seinen Energieinhalt schnell und mit großer Dynamik zur Verfügung, so dass schnelle Aufheizraten des Wärmetauschers erzielt werden. Bei entsprechender Auslegung der Brenn- geometrie im Brennraum mit entsprechender Anordnung des Wärmetauschers im Brennfeld der zweiten Brenn- stufe können Aufheizeigenschaften im Sinne eines Durchlauferhitzers erzielt werden.

[0006] Erfindungsgemäß ist der Brennstoff der zweiten Brennstufe zerkleinerter fester biogener Brennstoff. Bevorzugt wird hierzu derselbe Brennstoff der ersten Brenn- stufe nach entsprechender Zerkleinerung vorgesehen

und aus dem Vorratsbehälter gemeinsam oder separat an die Vorrichtung herangeführt. Die Zerkleinerung erfolgt mittels einer Zerkleinerungsvorrichtung, die in die Vorrichtung außerhalb des Brennraums integriert ist und beispielsweise ein Mahlwerk sein kann. Die Dosierung des gemahlten Brennstoffs in den Brennraum erfolgt beispielsweise mittels einer schnell drehenden Schnecke, die beispielsweise von einem abhängig von der Wärmebedarfsspitze drehzahlgeregelten Elektromotor angetrieben wird.

[0007] Es hat sich insbesondere aus Gründen der Schadstoffbegrenzung als vorteilhaft erwiesen, wenn dem Brennraum mit einer Primärluftzuführeinrichtung beispielsweise über den Rost des Brenngutbetts oder dergleichen eine Nachbrennkammer mit einer Sekundärluftzuführeinrichtung nachgeschaltet ist. Durch die Luftzufuhr von Sekundärluft in die Nachbrennkammer wird der Schadstoffgehalt, beispielsweise Kohlenmonoxid und nachverbrennbare organische Verbindungen gesenkt. Die Sekundärluftzufuhr wird bevorzugt unabhängig von der Primärluftzufuhr und abhängig von der Schadstoffbelastung geregelt. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn die Sekundärluft senkrecht zur Strömungsrichtung des Abgasstroms durch die Nachbrennkammer in diese eingebracht wird.

[0008] In einem Verfahren zum Betrieb der vorgeschlagenen Vorrichtung erfolgt eine Verbrennung des in der ersten Brennstufe auf das Brenngutbett dosierten Brennstoffs abhängig von zumindest einer die Wärmegrundlast reproduzierenden Größe und die Dosierung des in der zweiten Brennstufe über die zweite Zuführeinrichtung dosierten Brennstoffs abhängig von zumindest einer die Wärmelastspitze reproduzierenden Größe. In vorteilhafter Weise kann zur Beschleunigung eines Aufheizvorgangs des Wärmetauschers die zweite Brennstufe während eines Anbrands des Brennstoffs der ersten Zuführeinrichtung betrieben werden. Weiterhin kann während eines Dauerbetriebs der ersten Brennstufe beispielsweise während eines Heizbetriebs tagsüber oder ganztägig die zweite Brennstufe bei zusätzlichem Wärmebedarf zugeschaltet werden. Alternativ kann bei stillgesetzter erster Brennstufe beispielsweise in einem Sommerbetrieb der Vorrichtung die zweite Brennstufe als ausschließliche Brennstufe der Vorrichtung gegebenfalls mit weiteren Energiequellen, beispielsweise einer Solartherme zur Bereitstellung von warmem Brauchwasser betrieben werden.

[0009] Um eine besonders schnelle Erwärmung von Brauchwasser zu erzielen, kann während des Betriebs der zweiten Zuführeinrichtung vorerwärmtes Wasser des zumindest einen Wärmespeichers in den Wärmetauscher eingebracht werden.

[0010] Die Erfindung wird anhand der in den Figuren 1 bis 5 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1 ein Diagramm eines Brennbetriebs einer Vorrichtung mit lediglich einer Brennstufe,

- Figur 2 eine Vorrichtung zur Verbrennung von festen biogenen Brennstoffen mit zwei Brennstufen,
- Figur 3 ein Diagramm eines Brennbetriebs der Vorrichtung der Figur 2 mit über dem Brenngutbett erfassten Messwerten,
- Figur 4 ein Diagramm eines Brennbetriebs der Vorrichtung der Figur 2 mit hinter einer Nachbrennkammer ermittelten Messwerten
- und
- Figur 5 ein Diagramm eines Brennbetriebs der Vorrichtung der Figur 2 mit gegenüber der Figur 4 veränderten Zufuhrbedingungen von Primär- und Sekundärluft.

[0011] Aus dem Diagramm 100 der Figur 1, das dem Beitrag "Einfluss von Kaltstart und Teillast auf die Schadstoffemissionen von Stückholz- und Pelletheizungen" von J. Good, 11. Holzenergie-Symposium ETH Zürich, 2010 entnommen ist, geht das Verhalten einer Vorrichtung in Form eines Brennkessels zur Verbrennung von Holzpellets hervor. In den Teildiagrammen I und III ist jeweils das Verbrennungsluftverhältnis λ und in den Teildiagrammen II und IV die Schadstoffbelastung in Form von Kohlenstoffmonoxid-Konzentrationen [CO] gegen jeweils gleiche Zeitskalen mit der Zeit t gezeigt. Die Teildiagramme III, IV zeigen dabei eine zyklisch betriebene Vorrichtung die in vorgegebenen Zeitabständen je nach Wärmebedarf, beispielsweise im Stundenrhythmus gestartet und wieder abgestellt wird. Infolge der sich über einen großen Zeitanteil erstreckenden, jeweils ein großes Zeitintervall Δt beanspruchenden Anbrand- und Abbrandphasen ist der gesamte Schadstoffausstoß der Vorrichtung hoch.

[0012] Aus den Teildiagrammen I und II geht das Verhalten einer kontinuierlich betriebenen Vorrichtung hervor, bei der sich nach dem Ende des ersten Anbrands bis zum Abbrand ein im Wesentlichen konstantes Verbrennungsluftverhältnis mit geringen Schadstoffbelastungen einstellt.

[0013] Figur 2 zeigt eine schematisch dargestellte Vorrichtung 1, beispielsweise in Form eines Brennkessels für Holzpellets mit zwei Brennstufen 2, 3. Die Brennstufe 2 ist eine konventionell zur Abdeckung einer Grundlast eines Wärmebedarfs kontinuierlich betriebene Brennstelle für nicht zerkleinerte Holzpellets. Diese werden mittels der ersten Zuführeinrichtung 4 von dem Vorratsbehälter 5 wie dargestellt mittels eines Aufwurfverfahrens auf das Brenngutbett 7 mit dem Rost 6, der zur Entsorgung der Asche schwenkgelagert sein kann, dosiert. Die Brennstufe 2 wird während eines Wärmebedarfs permanent mit vorgegebener Leistung, beispielsweise in einem Einfamilienhaus mit 8 kW betrieben. Die Regelung der Brennstufe 2 zur Einstellung dieser Leistung kann aufgrund von erfassbaren Leistungsparametern, beispielsweise einer Brenngutwaage im Brenngutbett 7 oder beispielsweise einer Messung des Massenstromes in der

Zuführeinrichtung 4 erfolgen, der Primärluftzufuhreinrichtung 8, beispielsweise dem Gebläse 9 erfolgen. Die Leistung wird mittels erfassbarer Leistungsdaten, beispielsweise dem gemittelten Wärmeverbrauch, der Außentemperatur einer Heizanlage und dergleichen erfolgen. Die Brennstufe 2 wird mittels einer Entzündung des auf dem Brenngutbett 7 befindlichen Brennguts in Betrieb genommen, indem beispielsweise durch die Heizeinrichtung 17 erwärmte Luft zugeführt wird.

[0014] Die Brennstufe 3 dosiert den Brennstoff mittels der Zuführeinrichtung 10 direkt in den Brennraum 11. Der Zuführeinrichtung 10 ist eine Zerkleinerungsvorrichtung 12 vorgeschaltet, welches Holzpellets aus dem Vorratsbehälter 5 fein vermahlt. Beispielsweise mittels einer schnell drehenden, von einem Elektromotor angetriebenen und bezüglich ihrer Drehzahl regelbaren Schnecke wird der pulverisierte Brennstoff fein verteilt und ohne sich an den Wänden des Brennraums 11 niederzuschlagen in den Brennraum 11 dosiert. Das feinverteilte Brennstoffgemisch entzündet sich an den Flammen des Brennstoffs der ersten Brennstufe 2 oder infolge der im Brennraum 11 herrschenden Temperaturen instantan und verbrennt unter Wärmeentwicklung. Die Regelung der Zufuhr von Brennstoff der zweiten Brennstufe 3 erfolgt abhängig von Wärmebedarfsspitzen, die über die von der ersten Brennstufe 2 bereit gestellte Wärmemenge hinausgeht. Die Brennstufe 3 wird in der Anbrandphase der Brennstufe 2 zugeschaltet, um eine erforderliche Wärmemenge beispielsweise um den Faktor drei schneller als bei einer nur mit der Brennstufe 2 erzielbaren Aufheizzeit zu gewinnen. Weiterhin wird die Brennstufe 3 bei Wärmebedarfsspitzen, die beispielsweise anhand eines Verbrauchsverhaltens wie einer Temperatur und deren zeitliche Entwicklung, Durchflussmengen eines Pufferspeichers, des Wärmetauschers und dergleichen ermittelt werden, gesteuert. Zur Bereitstellung einer ausreichenden und ausreichend schnellen Wärmemenge kann die Brennstufe 3 für ein Einfamilienhaus auf eine Leistung von ca. 20 kW ausgelegt sein.

[0015] Das Abgas erwärmt einen direkt in dem Brennraum 11 angeordneten oder - wie hier dargestellt - einem bezogen auf den Zug des Abgases nachfolgend vorgesehenen Wärmetauscher 13, beispielsweise einen Dampfkessel 14, der einen oder mehrere nicht dargestellte Pufferspeicher speist. Aufgrund der schnell reagierenden Brennstufe 3 kann die Kapazität eines Pufferspeichers verringert werden. Beispielsweise kann bei vorgesehener Abschaltung der Brennstufe 2 die Abschaltung früher erfolgen und die langsam abnehmende Wärmeerzeugung des lange andauernden Abbrandvorgangs gegebenenfalls durch die Brennstufe 3 abgefangen werden.

[0016] Zur Verringerung der Schadstoffbelastung ist in dem gezeigten Ausführungsbeispiel die Nachbrennkammer 15 vorgesehen, die dem Brennraum 11 nachgeschaltet ist und über die Sekundärluftzufuhreinrichtung 16 verfügt. Die Zufuhr der Primärluft und der Sekundärluft kann mittels des Gebläses 9 erfolgen. Zur Dosierung der

Sekundärluft in die Nachbrennkammer 15 wird mit Hilfe der Zuluftklappe 18 der Anteil der Sekundärluft gesteuert. Zur Weiteren Abgasreinigung können die Filtereinheit 19 und der Kohleadsorber 20 in den Abgasstrom geschaltet sein.

[0017] Neben einem verbrauchsgesteuerten Betrieb der Vorrichtung 1 kann eine Korrektur der Steuerung zur Verringerung der Schadstoffbelastung erfolgen. Hierzu kann die Vorrichtung 1 über entsprechende Messvorrichtungen verfügen. Beispielsweise können an der Messstelle 21 chemische Sensoren, Temperaturmessfühler, eine Lambda-Sonde und dergleichen zur Erfassung von Verbrennungsdaten der ersten Brennstufe 2 vorgesehen sein. An der Messstelle 22 kann mittels entsprechender Sensoren die für die Emission von Schadstoffen in die Umgebungsluft relevante Abluft untersucht werden. Anhand der erfassten Messdaten kann durch Steuerung der Volumenströme der Primär- und Sekundärluft, der Dosierung von Brennstoff über die Zuführeinrichtungen 4, 10 abhängig vom Wärmebedarf eine Gesamtsteuerung der Vorrichtung 1 vorgesehen werden.

[0018] Es versteht sich, dass die Erfindung nicht durch die geometrische Darstellung der Vorrichtung 1 erschöpfend dargestellt ist. Abhängig von den Anforderungen, dem zur Verfügung stehenden Bauraum, einer gewünschten geometrischen Auslegung, der erforderlichen Leistung und Dynamik können auch andere geometrische Auslegungen der Brennstufen 2, 3, des Brennraums 11, gegebenenfalls der Nachbrennkammer 15, des Wärmetauschers 13 und weiterer für die Erfindung relevanter Bauteile vorgesehen sein.

[0019] Figur 3 zeigt das Diagramm 101 mit einem typischen Brennbauablauf der Vorrichtung 1 der Figur 2 über die Zeit t an der Messstelle 21 über die Brennphasen P1, P2, P3, P4. Die Kurve 102 zeigt dabei die Sauerstoffkonzentration, die Kurve 103 das Verbrennungsluftverhältnis (Luftzahl λ), die Kurve 104 die Kohlenmonoxidkonzentration, die Kurve 105 die Kohlendioxidkonzentration, die Kurve 106 die Konzentration an Kohlenwasserstoffen und die Kurve 107 die Wasserstoffkonzentration. In Brennphase P1 erfolgt die Zündung des Brennstoffs der Brennstufe 2. In Brennphase P2 werden kontinuierlich Brennstoff, beispielsweise 1,8 kg/h Holzpellets und beispielsweise 10 Nm³/h Primärluft in Brennstufe 2 zugeführt. Die Sekundärluftmenge beträgt beispielsweise 25 Nm³/h. Aus der Verbrennung resultiert die in den Kurven 102 bis 107 gezeigte Brenngasentwicklung. In Brennphase P3 wird die Brennstufe 3 mit einer Zufuhr von beispielsweise 4,5 kg/h pulverisierten Holzpellets betrieben. Hierdurch steigt die Schadstoffbelastung überproportional, die jedoch für den endgültigen Schadstoffausstoß aufgrund der Nachbehandlung in der Nachbrennkammer wenig relevant ist. In Brennphase P4 ist die Brennstoffbeschickung beider Brennstufen 2, 3 abgeschaltet.

[0020] Figur 4 zeigt das Diagramm 110 mit einem typischen Brennverlauf der Vorrichtung 1 der Figur 2 über die Zeit t an der Messstelle 22 über die P1, P2, P3, P4. Die Dosierung der Brennstoffe und der Primär- und Se-

kundärluft entspricht den Bedingungen des im Diagramm 101 der Figur 3 gezeigten Brennverlaufs. Die Messstelle 22 ist für die Emission der durch die Vorrichtung 1 emittierten Schadstoffe relevant. Die Kurve 112 zeigt dabei die Sauerstoffkonzentration, die Kurve 114 die Kohlenmonoxidkonzentration, die Kurve 115 die Kohlendioxidkonzentration und die Kurve 117 die Wasserdampfkonzentration. Unter Beachtung der geänderten Skalen ist die Kohlenmonoxidkonzentration deutlich vermindert. Es fällt aber auf, dass diese in der Brennphase P2 mit ausschließlichem Betrieb der Brennstufe 2 gegenüber Brennphase P3, in der beide Brennstufen 2, 3 betrieben werden, höher ist. Der Effekt der Nachverbrennung in der Nachbrennkammer 15 ist daher in Brennphase P2 weniger wirksam. Diese kann - wie aus dem Diagramm 120 der Figur 5 hervorgeht - bei ansonsten identischen Bedingungen durch eine Rücknahme der Primärluft auf beispielsweise 5 Nm³/h und eine geänderte Zündvorrichtung entscheidend vermindert werden.

Bezugszeichenliste

[0021]

25	1	Vorrichtung
	2	Brennstufe
	3	Brennstufe
	4	Zuführeinrichtung
	5	Vorratsbehälter
30	6	Rost
	7	Brenngutbett
	8	Primärluftzufuhreinrichtung
	9	Gebälse
	10	Zuführeinrichtung
35	11	Brennraum
	12	Zerkleinerungsvorrichtung
	13	Wärmetauscher
	14	Dampfkessel
	15	Nachbrennkammer
40	16	Sekundärluftzufuhreinrichtung
	17	Heizeinrichtung
	18	Zuluftklappe
	19	Filtereinheit
	20	Kohleadsorber
45	21	Messstelle
	22	Messstelle
	100	Diagramm
	101	Diagramm
	102	Kurve
50	103	Kurve
	104	Kurve
	105	Kurve
	106	Kurve
	107	Kurve
55	110	Diagramm
	112	Kurve
	114	Kurve
	115	Kurve

117	Kurve
120	Diagramm
I	Teildiagramm
II	Teildiagramm
III	Teildiagramm
IV	Teildiagramm
P1	Brennphase
P2	Brennphase
P3	Brennphase
P4	Brennphase
t	Zeit
Δt	Zeitintervall
λ	Verbrennungsluftverhältnis

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Verbrennung fester, biogener Brennstoffe in einer ersten Brennstufe (2) mit einer ersten Zuführeinrichtung (4) des Brennstoffs in ein Brenngutbett (7), einer Primärluftzufuhreinrichtung (8), einer Zündeinrichtung zur Entzündung des Brennstoffs im Brenngutbett (7), einem über dem Brenngutbett (7) vorgesehenen Brennraum (11) sowie einem in einem Wärmestrom des verbrannten Brennguts angeordneten Wärmetauscher (13) mit zumindest einem nachgeschalteten Wärmespeicher, wobei die erste Brennstufe (2) als eine Wärmegrundlast kompensierende Brennstufe ausgebildet und eine zweite, Wärmebedarfsspitzen abdeckende Brennstufe (3) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Brennstufe (3) mit einer zweiten, im Brennraum selbstentzündlichen, zerkleinerten festen biogenen Brennstoff eintragenen Zuführeinrichtung (10) versehen ist.
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff der ersten Brennstufe (2) in einem Vorratsbehälter (5) vorgehaltene Holzpellets sind.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in die Vorrichtung (1) vor dem Brennraum (11) eine Zerkleinerungsvorrichtung (12) integriert ist.
4. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Brennraum (11) eine Nachbrennkammer (15) mit separat regelbarer Sekundärluft nachgeschaltet ist.
5. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Verbrennung des auf das Brenngutbett (7) dosierten Brennstoffs abhängig von zumindest einer die Wärmegrundlast reproduzierenden Größe und die Dosierung des über die zweite Zuführeinrichtung (10) dosierten Brennstoffs abhän-

gig von zumindest einer eine Wärmebedarfsspitze reproduzierenden Größe erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Zuführeinrichtung (10) während eines Anbrands des Brennstoffs der ersten Zuführeinrichtung (4) betrieben wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Vermahlen eines festen Brennstoffs auf eine Partikelgröße oberhalb einer Selbstentzündungsgrenze begrenzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Heizenergie und erwärmtes Brauchwasser bereitstellende Vorrichtung (1) im Heizbetrieb mittels Brennstoff der ersten Brennstufe (2) und im Brauchwassererwärmungsbetrieb zusätzlich die zweite Brennstufe (3) betrieben wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Betriebs der zweiten Brennstufe (3) vorerwärmtes Wasser des zumindest einen Wärmespeichers in den Wärmetauscher (13) eingebracht wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Primärluft mittels einer Heizeinrichtung (17) erwärmt wird.

Claims

1. Device (1) for burning solid, biogenic fuel in a first combustion stage (2) comprising a first feed device (4) for feeding fuel into a combustible material bed (7), a primary air supply device (8), an ignition device for igniting the fuel in the combustible material bed (7), a combustion chamber (11) provided above the combustible material bed (7) and a heat exchanger (13) arranged in a heat flow of the combusted material comprising at least one downstream heat storage device, wherein the first combustion stage (2) is configured as a combustion stage for compensating the basic thermal load and a second combustion stage (3) is provided for covering heat demand peaks, **characterised in that** the second combustion stage (3) is provided with a second feed device (10) carrying crushed, solid, biogenic fuel, which is self-igniting in the combustion chamber.
2. Device (1) according to claim 1, **characterised in that** the fuel of the first combustion stage (2) consists of wood pellets stored in a storage container (5).
3. Device (1) according to either claim 1 or claim 2, **characterised in that** a crushing device (12) is in-

egrated into the device (1) upstream of the combustion chamber (11).

4. Device (1) according to any of claims 1 to 3, **characterised by** an afterburner chamber (15) having a separately controlled secondary air supply is connected downstream of the combustion chamber (11). 5
5. Method for operating the device (1) according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** the combustion of the fuel metered to the combustible material bed (7) is dependent on at least one variable reproducing the basic thermal load and the metering of fuel metered by the second feed device (10) is performed as a function of at least one variable reproducing the heat demand peak. 10
6. Method according to claim 5, **characterised in that** the second feed device (10) is operated during the burning of the fuel of the first feed device (4). 15
7. Method according to claim 5 or 6, **characterised in that** a grinding down of solid fuel is limited to a particle size which is above the grade of spontaneous combustion. 20
8. Method according to any of claims 5 to 7, **characterised in that** a device (1) providing thermal energy and heated service water is operated during heating operation by fuel from the first combustion stage (2) and during service water heating operation the second combustion stage (3) is operated in addition. 25
9. Method according to any of claims 5 to 8, **characterised in that** during the operation of the second combustion stage (3) preheated water from the at least one thermal storage device is introduced into the heat exchanger (13). 30
10. Method according to any of claims 5 to 9, **characterised in that** the primary supply air is heated by means of a heating device (17). 35

Revendications

1. Dispositif (1) de combustion de combustibles biogènes solides dans une première étape de combustion (2), comportant un premier dispositif d'alimentation (4) en combustible dans un lit de produit combustible (7), un dispositif d'admission d'air primaire (8), un dispositif d'allumage destiné à allumer le combustible dans le lit de produit combustible (7), une chambre de combustion (17) prévue au-dessus du lit de produit combustible (7) ainsi qu'un échangeur de chaleur (13) agencé dans un courant thermique du produit combustible brûlé, comportant au moins un 50

accumulateur de chaleur monté en aval, la première étape de combustion (2) étant réalisée en tant qu'étape de combustion à compensation de charge thermique de base et une deuxième étape de combustion (3) étant prévue, laquelle couvre des pics de besoin en chaleur, **caractérisé en ce que** la deuxième étape de combustion (3) est pourvue d'un deuxième dispositif d'alimentation (10) qui introduit un combustible biogène solide auto-inflammable broyé.

2. Dispositif (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le combustible de la première étape de combustion (2) est constitué par des pellets de bois stockés dans un récipient de stockage (5).
3. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**un dispositif de broyage (12) est intégré dans le dispositif (1) en amont de la chambre de combustion (11).
4. Dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**en aval de la chambre de combustion (11) est montée une chambre de postcombustion (15) avec de l'air secondaire séparément réglable.
5. Procédé de fonctionnement du dispositif (1) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**une combustion du combustible dosé sur le lit de produit combustible (7) a lieu en fonction d'au moins une grandeur reproduisant la charge thermique de base et **en ce que** le dosage du combustible dosé via le deuxième dispositif d'alimentation (10) a lieu en fonction d'au moins une grandeur reproduisant une pic de besoin en chaleur.
6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce que** le deuxième dispositif d'alimentation (10) fonctionne pendant un brûlage du combustible du premier dispositif d'alimentation (4).
7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce qu'**une mouture d'un combustible solide est limitée à une taille de particule au-dessus de la limite d'auto-inflammation.

8. Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, **caractérisé en ce qu'**un dispositif (1) fournissant de l'énergie de chauffage et de l'eau industrielle chauffée fonctionne en mode chauffage au moyen d'un combustible de la première étape de combustion (2) et en mode de chauffage d'eau industrielle, la deuxième étape de combustion (3) fonctionne additionnellement.
9. Procédé selon l'une des revendications 5 à 8, **caractérisé en ce que** pendant le fonctionnement de 55

la deuxième étape de combustion (3) de l'eau pré-chauffée dudit au moins un accumulateur de chaleur est introduite dans l'échangeur de chaleur (13).

10. Procédé selon l'une des revendications 5 à 9, **caractérisé en ce que** l'air primaire entrant est chauffé au moyen d'un dispositif de chauffage (17).

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

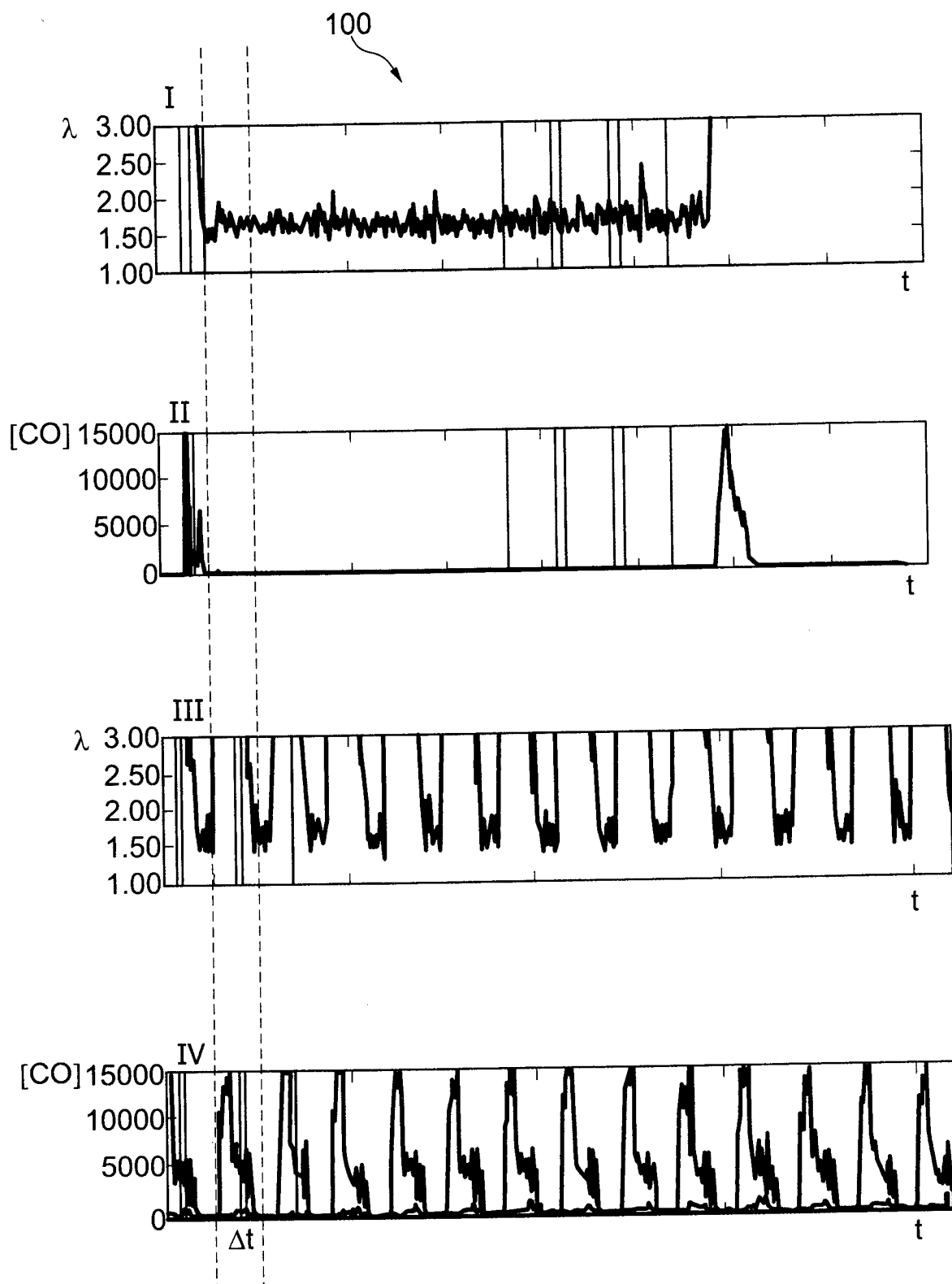
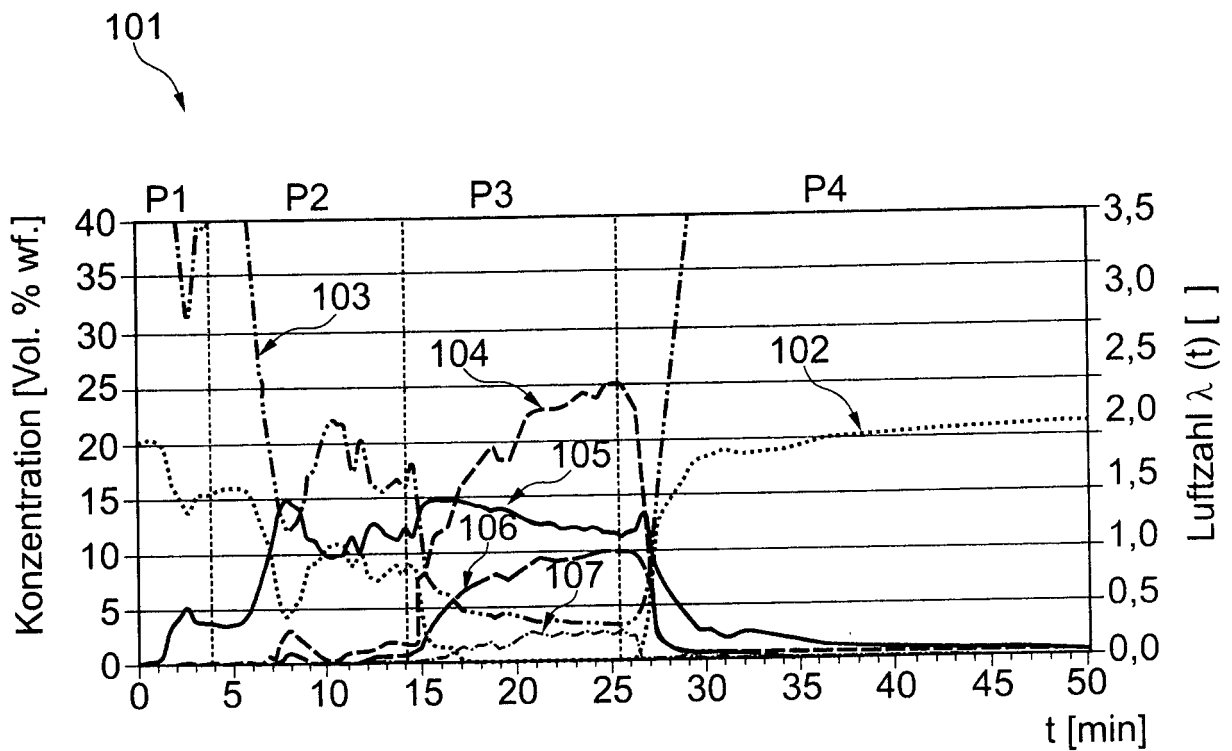
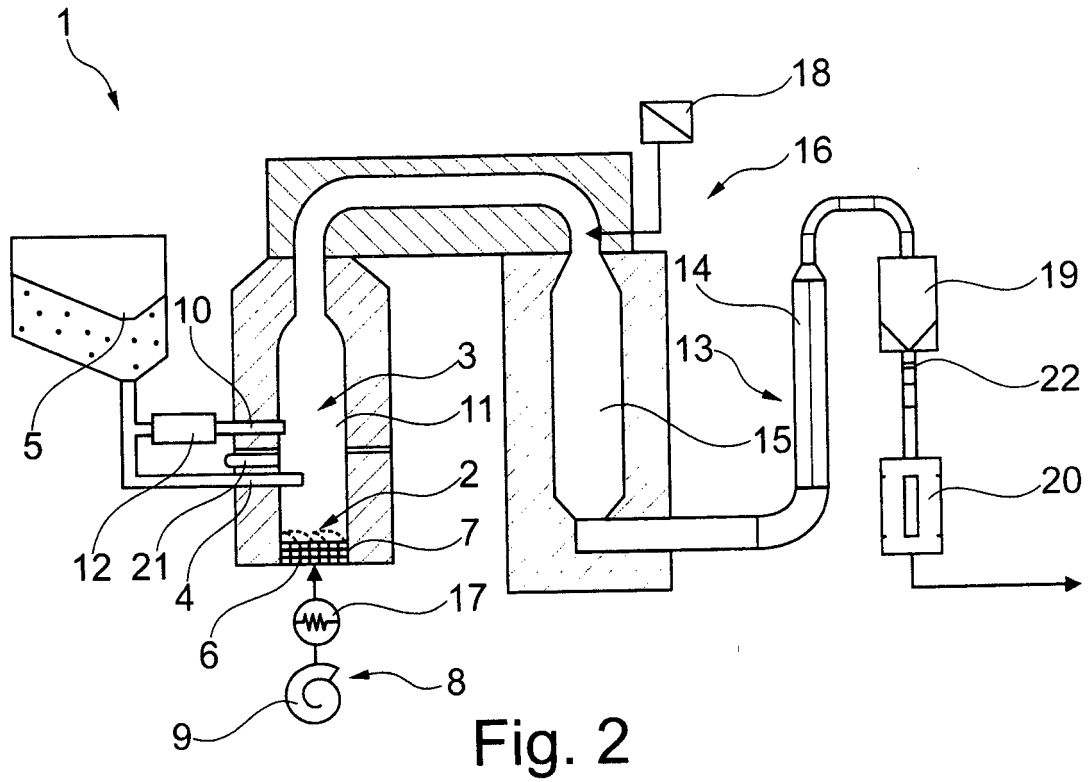


Fig. 1



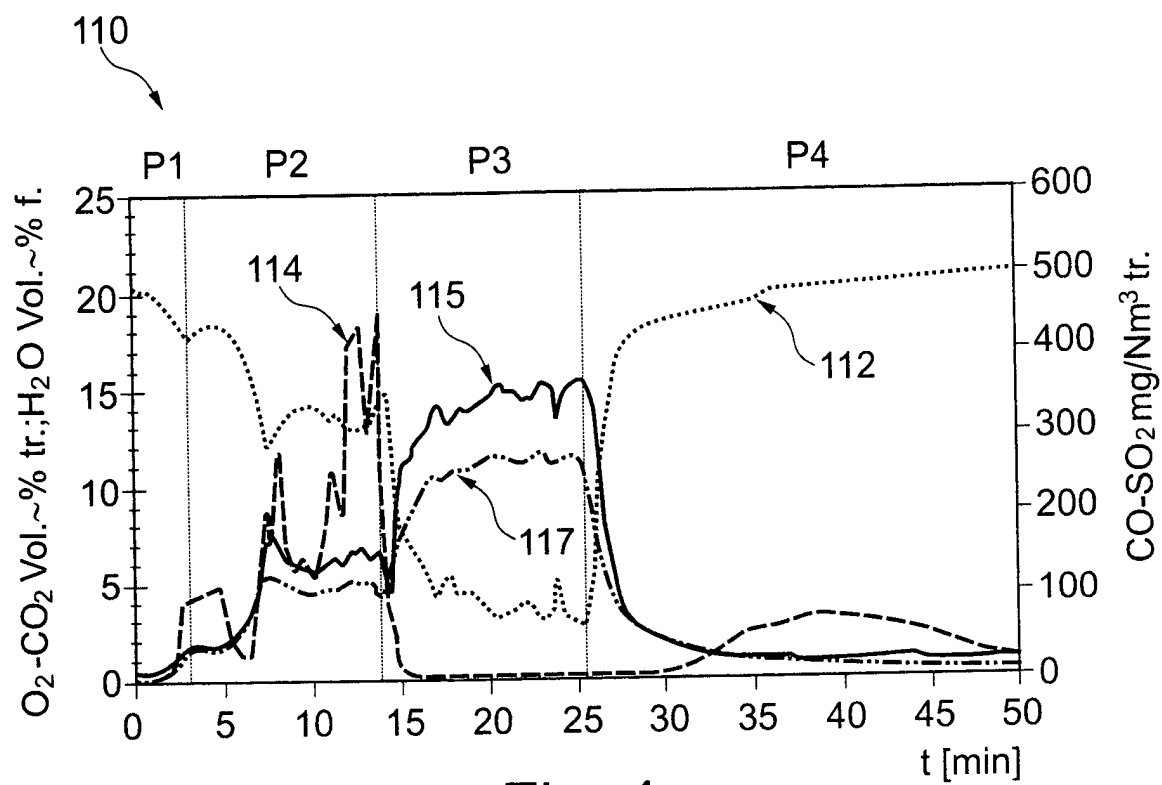


Fig. 4

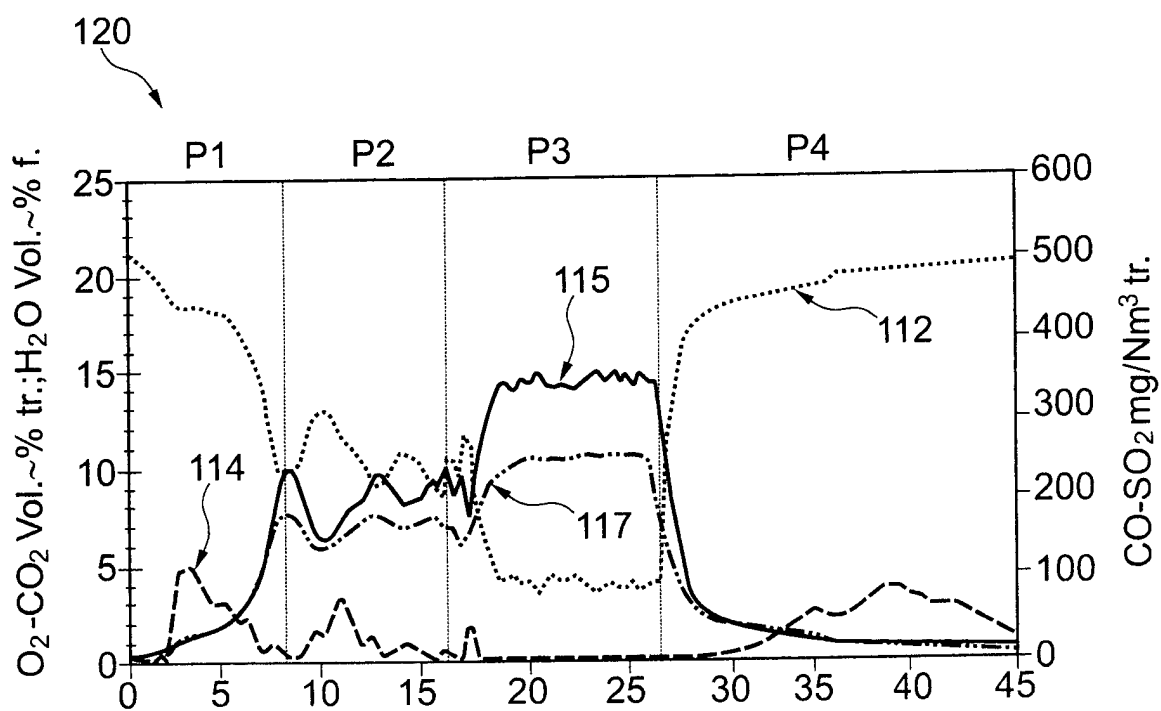


Fig. 5

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

- DE 666007 [0002]
- DE 3226877 A1 [0002]
- DE 102008056019 A1 [0002]
- EP 1162405 A2 [0002]
- EP 1221573 A1 [0003]
- GB 1023583 A [0003]
- US 3680500 A [0003]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **J. GOOD.** Einfluss von Kaltstart und Teillast auf die Schadstoffemissionen von Stückholz- und Pelletheizungen. *Holzenergie-Symposion ETH Zürich*, 2010, vol. 11 [0011]