

(19)



(11)

EP 2 674 673 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.12.2013 Patentblatt 2013/51

(51) Int Cl.:
F23C 1/04 (2006.01) **F23C 1/02** (2006.01)
F23C 6/04 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13171352.1**

(22) Anmeldetag: **11.06.2013**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

- **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)

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

(71) Anmelder: **Karlsruher Institut für Technologie**
76131 Karlsruhe (DE)

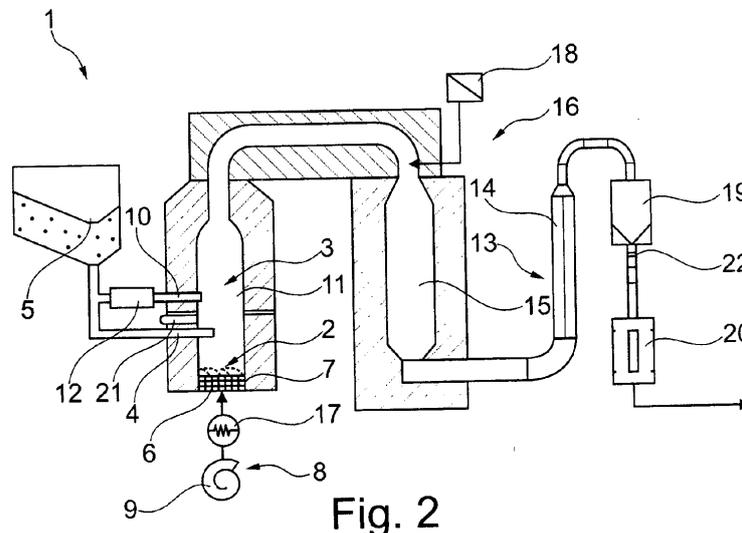
(72) Erfinder:
• **Knapp, Thomas**
33803 Steinhagen (DE)

(74) Vertreter: **Ege & Lee Patentanwälte**
Panoramastrasse 27
77815 Bühl (DE)

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

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) und ein Verfahren 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. Um eine Verbesserung der Dynamik, einer effizienten Nutzung des Brennstoffs und eines Schadstoffausstoßes zu erzielen, ist die erste Brennstufe (2) als eine Wärmegrundlast kompensierende Brennstufe ausgebildet und eine zweite, Wärmebedarfsspitzen abdeckende Brennstufe (3) mit einer zweiten, im Brennraum (11) selbstentzündlichen Brennstoff eintragenden Zuführeinrichtung (10) vorgesehen.



EP 2 674 673 A2

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] 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.

[0004] Aufgabe der Erfindung ist daher, eine Vorrichtung vorzuschlagen, die weniger Schadstoffe produziert und in verbesserter Weise an einen zeitlich variierenden Wärmebedarf anpassbar ist.

[0005] Die Aufgabe wird durch die Merkmale der Vorrichtung des Anspruchs 1 und des Verfahrens des Anspruchs 7 gelöst. Die auf diese zurückbezogenen Ansprüche betreffen vorteilhafte Ausführungsformen.

[0006] 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 Brennstoff eintragenden Zuführeinrichtung vorgesehen.

[0007] 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 Abwurfleinrichtung 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, beispielbeispielsweise 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.

[0008] Unter Wärmegrundlast ist ein Wärmebedarf, beispielsweise in Form eines auf einer vorgegebenen beziehungsweise vorgebbaren Temperatur gehaltenen Pufferspeichers und/oder Wärmekreislaufs zu verster-

hen, 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.

[0009] Die Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen, wie sie beispielsweise bei Bereitung 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 Brenngeometrie im Brennraum mit entsprechender Anordnung des Wärmetauschers im Brennfeld der zweiten Brennstufe können Aufheizeigenschaften im Sinne eines Durchlauferhitzers erzielt werden.

[0010] Der Brennstoff der zweiten Brennstufe kann ein flüssiger oder gasförmiger fossiler Brennstoff, beispielsweise Erdgas oder Heizöl sein, die über entsprechende Dosierventile und Düsen in den Brennraum dosiert eingetragen und in diesem verteilt werden. In besonders vorteilhafter Weise ist der Brennstoff der zweiten Brennstufe zerkleinerter fester biogener Brennstoff. Bevorzugt wird hierzu derselbe Brennstoff der ersten Brennstufe 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.

[0011] 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.

[0012] 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 ganztätig 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 Bereitung von warmem Brauchwasser betrieben werden.

[0013] 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.

[0014] Die Erfindung wird anhand der in den Figuren 1 bis 5 dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei zeigen:

- 45 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,
 50 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
 55 und Figur 5 ein Diagramm eines Brennbetriebs der

Vorrichtung der Figur 2 mit gegenüber der Figur 4 veränderten Zufuhrbedingungen von Primär- und Sekundärluft.

[0015] 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.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] Die Brennstufe 3 dosiert den Brennstoff mittels der Zuführeinrichtung 10 direkt in den Brennraum 11. Der Zuführeinrichtung 10 ist eine Zerkleinerungsvor-

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500
505
510
515
520
525
530
535
540
545
550
555
560
565
570
575
580
585
590
595
600
605
610
615
620
625
630
635
640
645
650
655
660
665
670
675
680
685
690
695
700
705
710
715
720
725
730
735
740
745
750
755
760
765
770
775
780
785
790
795
800
805
810
815
820
825
830
835
840
845
850
855
860
865
870
875
880
885
890
895
900
905
910
915
920
925
930
935
940
945
950
955
960
965
970
975
980
985
990
995
1000
1005
1010
1015
1020
1025
1030
1035
1040
1045
1050
1055
1060
1065
1070
1075
1080
1085
1090
1095
1100
1105
1110
1115
1120
1125
1130
1135
1140
1145
1150
1155
1160
1165
1170
1175
1180
1185
1190
1195
1200
1205
1210
1215
1220
1225
1230
1235
1240
1245
1250
1255
1260
1265
1270
1275
1280
1285
1290
1295
1300
1305
1310
1315
1320
1325
1330
1335
1340
1345
1350
1355
1360
1365
1370
1375
1380
1385
1390
1395
1400
1405
1410
1415
1420
1425
1430
1435
1440
1445
1450
1455
1460
1465
1470
1475
1480
1485
1490
1495
1500
1505
1510
1515
1520
1525
1530
1535
1540
1545
1550
1555
1560
1565
1570
1575
1580
1585
1590
1595
1600
1605
1610
1615
1620
1625
1630
1635
1640
1645
1650
1655
1660
1665
1670
1675
1680
1685
1690
1695
1700
1705
1710
1715
1720
1725
1730
1735
1740
1745
1750
1755
1760
1765
1770
1775
1780
1785
1790
1795
1800
1805
1810
1815
1820
1825
1830
1835
1840
1845
1850
1855
1860
1865
1870
1875
1880
1885
1890
1895
1900
1905
1910
1915
1920
1925
1930
1935
1940
1945
1950
1955
1960
1965
1970
1975
1980
1985
1990
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
2030
2035
2040
2045
2050
2055
2060
2065
2070
2075
2080
2085
2090
2095
2100
2105
2110
2115
2120
2125
2130
2135
2140
2145
2150
2155
2160
2165
2170
2175
2180
2185
2190
2195
2200
2205
2210
2215
2220
2225
2230
2235
2240
2245
2250
2255
2260
2265
2270
2275
2280
2285
2290
2295
2300
2305
2310
2315
2320
2325
2330
2335
2340
2345
2350
2355
2360
2365
2370
2375
2380
2385
2390
2395
2400
2405
2410
2415
2420
2425
2430
2435
2440
2445
2450
2455
2460
2465
2470
2475
2480
2485
2490
2495
2500
2505
2510
2515
2520
2525
2530
2535
2540
2545
2550
2555
2560
2565
2570
2575
2580
2585
2590
2595
2600
2605
2610
2615
2620
2625
2630
2635
2640
2645
2650
2655
2660
2665
2670
2675
2680
2685
2690
2695
2700
2705
2710
2715
2720
2725
2730
2735
2740
2745
2750
2755
2760
2765
2770
2775
2780
2785
2790
2795
2800
2805
2810
2815
2820
2825
2830
2835
2840
2845
2850
2855
2860
2865
2870
2875
2880
2885
2890
2895
2900
2905
2910
2915
2920
2925
2930
2935
2940
2945
2950
2955
2960
2965
2970
2975
2980
2985
2990
2995
3000
3005
3010
3015
3020
3025
3030
3035
3040
3045
3050
3055
3060
3065
3070
3075
3080
3085
3090
3095
3100
3105
3110
3115
3120
3125
3130
3135
3140
3145
3150
3155
3160
3165
3170
3175
3180
3185
3190
3195
3200
3205
3210
3215
3220
3225
3230
3235
3240
3245
3250
3255
3260
3265
3270
3275
3280
3285
3290
3295
3300
3305
3310
3315
3320
3325
3330
3335
3340
3345
3350
3355
3360
3365
3370
3375
3380
3385
3390
3395
3400
3405
3410
3415
3420
3425
3430
3435
3440
3445
3450
3455
3460
3465
3470
3475
3480
3485
3490
3495
3500
3505
3510
3515
3520
3525
3530
3535
3540
3545
3550
3555
3560
3565
3570
3575
3580
3585
3590
3595
3600
3605
3610
3615
3620
3625
3630
3635
3640
3645
3650
3655
3660
3665
3670
3675
3680
3685
3690
3695
3700
3705
3710
3715
3720
3725
3730
3735
3740
3745
3750
3755
3760
3765
3770
3775
3780
3785
3790
3795
3800
3805
3810
3815
3820
3825
3830
3835
3840
3845
3850
3855
3860
3865
3870
3875
3880
3885
3890
3895
3900
3905
3910
3915
3920
3925
3930
3935
3940
3945
3950
3955
3960
3965
3970
3975
3980
3985
3990
3995
4000
4005
4010
4015
4020
4025
4030
4035
4040
4045
4050
4055
4060
4065
4070
4075
4080
4085
4090
4095
4100
4105
4110
4115
4120
4125
4130
4135
4140
4145
4150
4155
4160
4165
4170
4175
4180
4185
4190
4195
4200
4205
4210
4215
4220
4225
4230
4235
4240
4245
4250
4255
4260
4265
4270
4275
4280
4285
4290
4295
4300
4305
4310
4315
4320
4325
4330
4335
4340
4345
4350
4355
4360
4365
4370
4375
4380
4385
4390
4395
4400
4405
4410
4415
4420
4425
4430
4435
4440
4445
4450
4455
4460
4465
4470
4475
4480
4485
4490
4495
4500
4505
4510
4515
4520
4525
4530
4535
4540
4545
4550
4555
4560
4565
4570
4575
4580
4585
4590
4595
4600
4605
4610
4615
4620
4625
4630
4635
4640
4645
4650
4655
4660
4665
4670
4675
4680
4685
4690
4695
4700
4705
4710
4715
4720
4725
4730
4735
4740
4745
4750
4755
4760
4765
4770
4775
4780
4785
4790
4795
4800
4805
4810
4815
4820
4825
4830
4835
4840
4845
4850
4855
4860
4865
4870
4875
4880
4885
4890
4895
4900
4905
4910
4915
4920
4925
4930
4935
4940
4945
4950
4955
4960
4965
4970
4975
4980
4985
4990
4995
5000
5005
5010
5015
5020
5025
5030
5035
5040
5045
5050
5055
5060
5065
5070
5075
5080
5085
5090
5095
5100
5105
5110
5115
5120
5125
5130
5135
5140
5145
5150
5155
5160
5165
5170
5175
5180
5185
5190
5195
5200
5205
5210
5215
5220
5225
5230
5235
5240
5245
5250
5255
5260
5265
5270
5275
5280
5285
5290
5295
5300
5305
5310
5315
5320
5325
5330
5335
5340
5345
5350
5355
5360
5365
5370
5375
5380
5385
5390
5395
5400
5405
5410
5415
5420
5425
5430
5435
5440
5445
5450
5455
5460
5465
5470
5475
5480
5485
5490
5495
5500
5505
5510
5515
5520
5525
5530
5535
5540
5545
5550
5555
5560
5565
5570
5575
5580
5585
5590
5595
5600
5605
5610
5615
5620
5625
5630
5635
5640
5645
5650
5655
5660
5665
5670
5675
5680
5685
5690
5695
5700
5705
5710
5715
5720
5725
5730
5735
5740
5745
5750
5755
5760
5765
5770
5775
5780
5785
5790
5795
5800
5805
5810
5815
5820
5825
5830
5835
5840
5845
5850
5855
5860
5865
5870
5875
5880
5885
5890
5895
5900
5905
5910
5915
5920
5925
5930
5935
5940
5945
5950
5955
5960
5965
5970
5975
5980
5985
5990
5995
6000
6005
6010
6015
6020
6025
6030
6035
6040
6045
6050
6055
6060
6065
6070
6075
6080
6085
6090
6095
6100
6105
6110
6115
6120
6125
6130
6135
6140
6145
6150
6155
6160
6165
6170
6175
6180
6185
6190
6195
6200
6205
6210
6215
6220
6225
6230
6235
6240
6245
6250
6255
6260
6265
6270
6275
6280
6285
6290
6295
6300
6305
6310
6315
6320
6325
6330
6335
6340
6345
6350
6355
6360
6365
6370
6375
6380
6385
6390
6395
6400
6405
6410
6415
6420
6425
6430
6435
6440
6445
6450
6455
6460
6465
6470
6475
6480
6485
6490
6495
6500
6505
6510
6515
6520
6525
6530
6535
6540
6545
6550
6555
6560
6565
6570
6575
6580
6585
6590
6595
6600
6605
6610
6615
6620
6625
6630
6635
6640
6645
6650
6655
6660
6665
6670
6675
6680
6685
6690
6695
6700
6705
6710
6715
6720
6725
6730
6735
6740
6745
6750
6755
6760
6765
6770
6775
6780
6785
6790
6795
6800
6805
6810
6815
6820
6825
6830
6835
6840
6845
6850
6855
6860
6865
6870
6875
6880
6885
6890
6895
6900
6905
6910
6915
6920
6925
6930
6935
6940
6945
6950
6955
6960
6965
6970
6975
6980
6985
6990
6995
7000
7005
7010
7015
7020
7025
7030
7035
7040
7045
7050
7055
7060
7065
7070
7075
7080
7085
7090
7095
7100
7105
7110
7115
7120
7125
7130
7135
7140
7145
7150
7155
7160
7165
7170
7175
7180
7185
7190
7195
7200
7205
7210
7215
7220
7225
7230
7235
7240
7245
7250
7255
7260
7265
7270
7275
7280
7285
7290
7295
7300
7305
7310
7315
7320
7325
7330
7335
7340
7345
7350
7355
7360
7365
7370
7375
7380
7385
7390
7395
7400
7405
7410
7415
7420
7425
7430
7435
7440
7445
7450
7455
7460
7465
7470
7475
7480
7485
7490
7495
7500
7505
7510
7515
7520
7525
7530
7535
7540
7545
7550
7555
7560
7565
7570
7575
7580
7585
7590
7595
7600
7605
7610
7615
7620
7625
7630
7635
7640
7645
7650
7655
7660
7665
7670
7675
7680
7685
7690
7695
7700
7705
7710
7715
7720
7725
7730
7735
7740
7745
7750
7755
7760
7765
7770
7775
7780
7785
7790
7795
7800
7805
7810
7815
7820
7825
7830
7835
7840
7845
7850
7855
7860
7865
7870
7875
7880
7885
7890
7895
7900
7905
7910
7915
7920
7925
7930
7935
7940
7945
7950
7955
7960
7965
7970
7975
7980
7985
7990
7995
8000
8005
8010
8015
8020
8025
8030
8035
8040
8045
8050
8055
8060
8065
8070
8075
8080
8085
8090
8095
8100
8105
8110
8115
8120
8125
8130
8135
8140
8145
8150
8155
8160
8165
8170
8175
8180
8185
8190
8195
8200
8205
8210
8215
8220
8225
8230
8235
8240
8245
8250
8255
8260
8265
8270
8275
8280
8285
8290
8295
8300
8305
8310
8315
8320
8325
8330
8335
8340
8345
8350
8355
8360
8365
8370
8375
8380
8385
8390
8395
8400
8405
8410
8415
8420
8425
8430
8435
8440
8445
8450
8455
8460
8465
8470
8475
8480
8485
8490
8495
8500
8505
8510
8515
8520
8525
8530
8535
8540
8545
8550
8555
8560
8565
8570
8575
8580
8585
8590
8595
8600
8605
8610
8615
8620
8625
8630
8635
8640
8645
8650
8655
8660
8665
8670
8675
8680
8685
8690
8695
8700
8705
8710
8715
8720
8725
8730
8735
8740
8745
8750
8755
8760
8765
8770
8775
8780
8785
8790
8795
8800
8805
8810
8815
8820
8825
8830
8835
8840
8845
8850
8855
8860
8865
8870
8875
8880
8885
8890
8895
8900
8905
8910
8915
8920
8925
8930
8935
8940
8945
8950
8955
8960
8965
8970
8975
8980
8985
8990
8995
9000
9005
9010
9015
9020
9025
9030
9035
9040
9045
9050
9055
9060
9065
9070
9075
9080
9085
9090
9095
9100
9105
9110
9115
9120
9125
9130
9135
9140
9145
9150
9155
9160
9165
9170
9175
9180
9185
9190
9195
9200
9205
9210
9215
9220
9225
9230
9235
9240
9245
9250
9255
9260
9265
9270
9275
9280
9285
9290
9295
9300
9305
9310
9315
9320
9325
9330
9335
9340
9345
9350
9355
9360
9365
9370
9375
9380
9385
9390
9395
9400
9405
9410
9415
9420
9425
9430
9435
9440
9445
9450
9455
9460
9465
9470
9475
9480
9485
9490
9495
9500
9505
9510
9515
9520
9525
9530
9535
9540
9545
9550
9555
9560
9565
9570
9575
9580
9585
9590
9595
9600
9605

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.

[0022] 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.

[0023] Figur 3 zeigt das Diagramm 101 mit einem typischen Brennablauf 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 10Nm³/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.

[0024] 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 Sekundärluft 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

[0025]

1	Vorrichtung
2	Brennstufe
3	Brennstufe
4	Zuführeinrichtung
5	Vorratsbehälter
6	Rost
7	Brenngutbett
8	Primärluftzufuhreinrichtung
9	Gebälse
10	Zuführeinrichtung
11	Brennraum
12	Zerkleinerungsvorrichtung
13	Wärmetauscher
14	Dampfkessel
15	Nachbrennkammer
16	Sekundärluftzufuhreinrichtung
17	Heizeinrichtung
18	Zuluftklappe
19	Filtereinheit
20	Kohleadsorber
21	Messstelle
22	Messstelle
100	Diagramm
101	Diagramm
102	Kurve
103	Kurve
104	Kurve
105	Kurve
106	Kurve
107	Kurve
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, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Brennstufe (2) als eine Wärmegrundlast kompensierende Brennstufe ausgebildet und eine zweite, Wärmebedarfsspitzen abdeckende Brennstufe (3) mit einer zweiten, im Brennraum selbstentzündlichen Brennstoff eintragenden Zuführeinrichtung (10) vorgesehen ist. 5
2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff der ersten Brennstufe (2) in einem Vorratsbehälter (5) vorgehaltene Holzpellets sind. 10
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff der zweiten Brennstufe ein flüssiger oder gasförmiger fossiler Brennstoff ist. 15
4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Brennstoff der zweiten Brennstufe (3) zerkleinerter fester biogener Brennstoff ist. 20
5. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in die Vorrichtung (1) vor dem Brennraum (11) eine Zerkleinerungsvorrichtung (12) integriert ist. 25
6. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Brennraum (11) eine Nachbrennkammer (15) mit separat regelbarer Sekundärluft nachgeschaltet ist. 30
7. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, **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 abhängig von zumindest einer eine Wärmebedarfsspitze reproduzierenden Größe erfolgt. 35
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweite Zuführeinrichtung (10) während eines Anbrands des Brennstoffs der ersten Zuführeinrichtung (4) betrieben wird. 40
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Vermahlen eines festen Brennstoffs auf eine Partikelgröße oberhalb einer Selbstentzündungsgrenze begrenzt wird. 45
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **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. 50
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** während des Betriebs der zweiten Brennstufe (3) vorerwärmtes Wasser des zumindest einen Wärmespeichers in den Wärmetauscher (13) eingebracht wird. 55
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Primärluft mittels einer Heizeinrichtung (17) erwärmt wird.

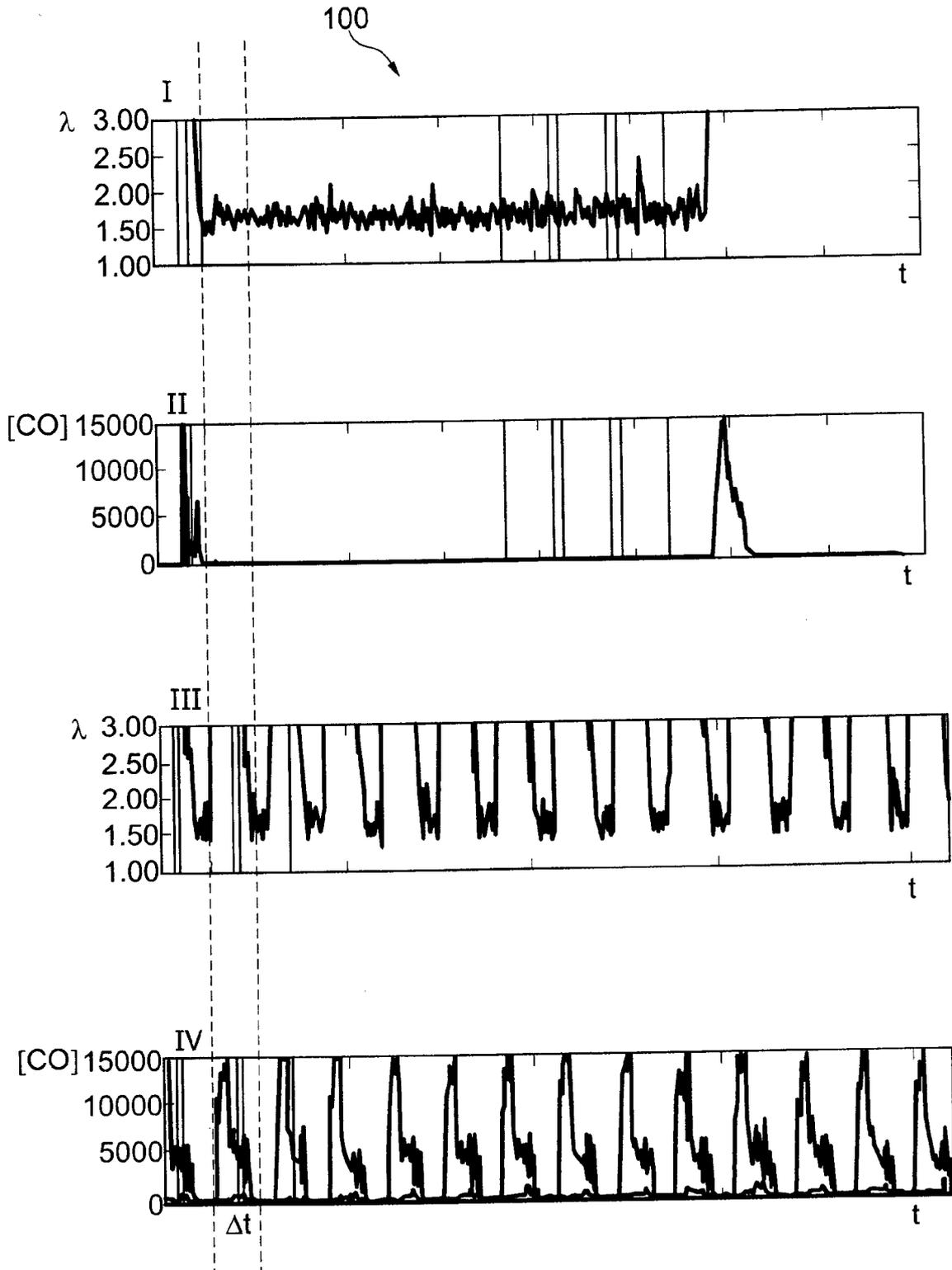


Fig. 1

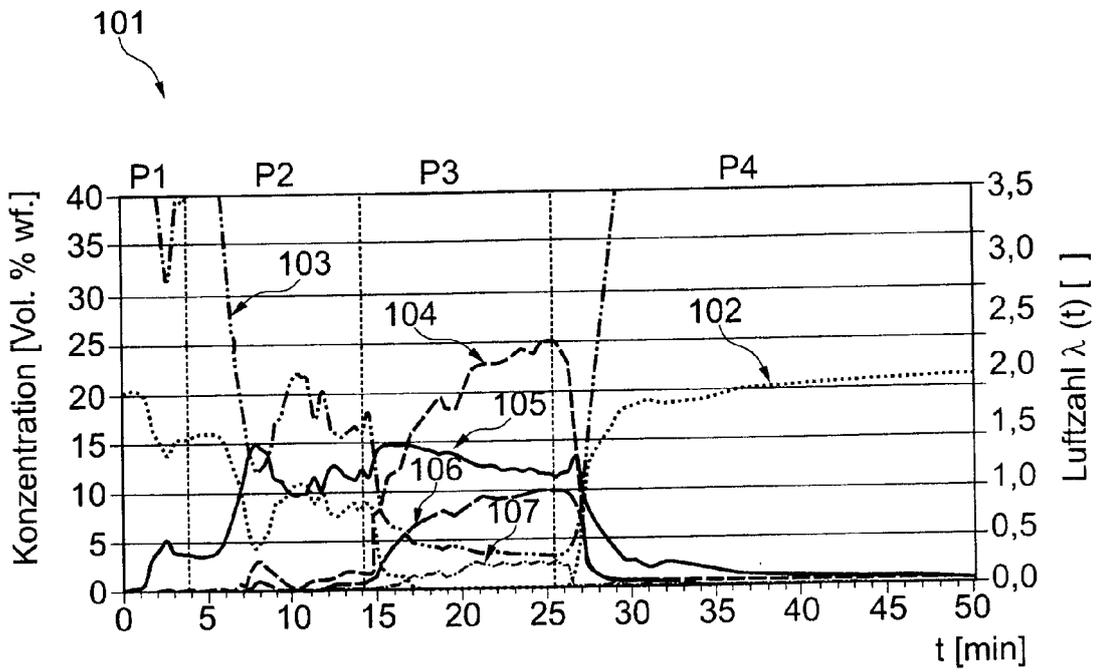
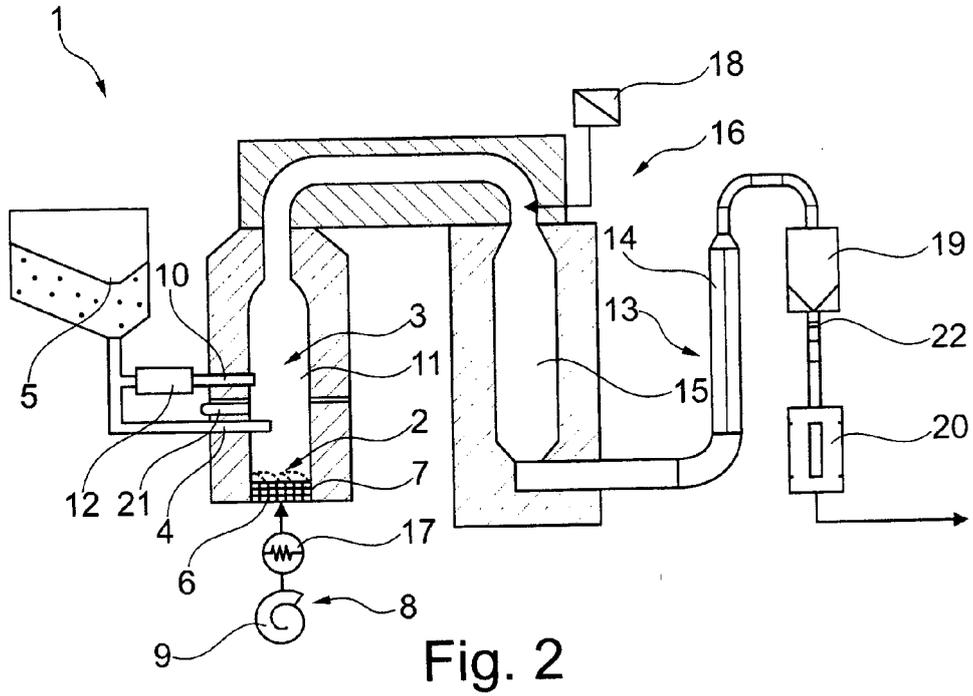


Fig. 3

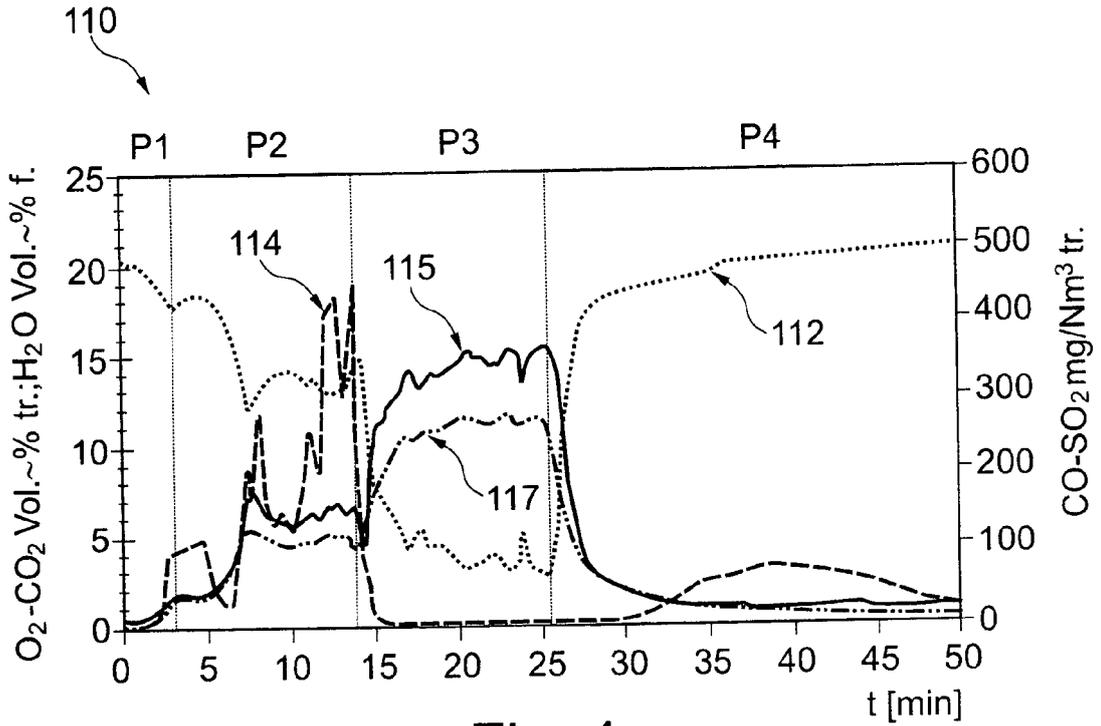


Fig. 4

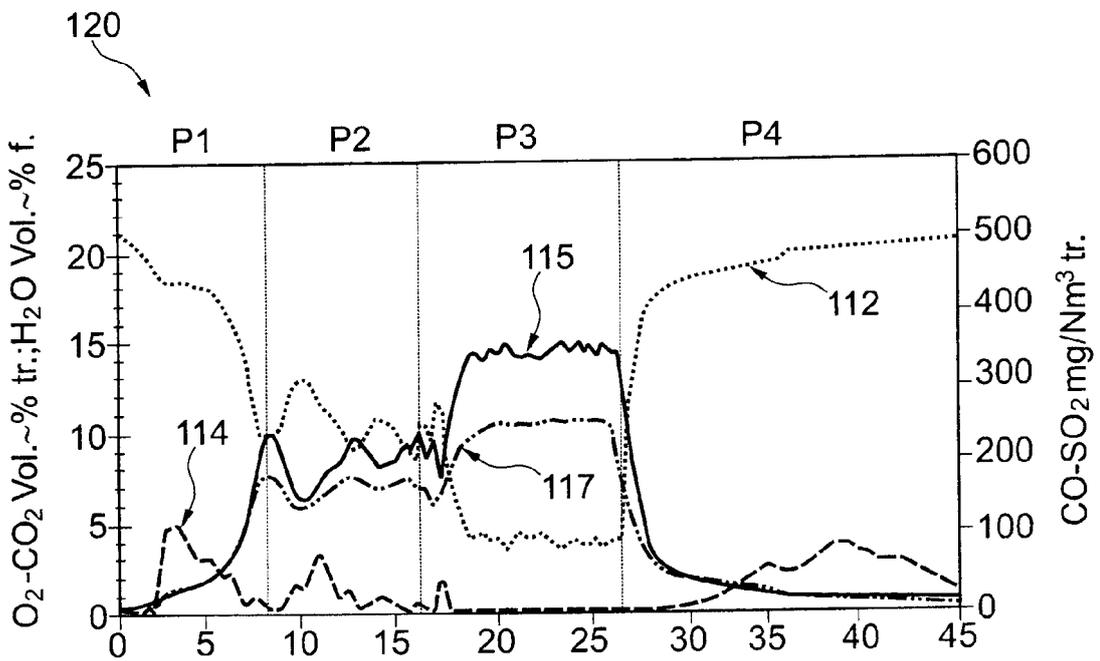


Fig. 5

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

- US 666007 A [0002]
- DE 3226877 A1 [0002]
- DE 102008056019 A1 [0002]
- EP 1162405 A2 [0002]