

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Dampfturbinenkraftwerks mit einer Wirbelschichtfeuerung, insbesondere eines solchen mit einer zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung, bei welcher Primärluft, Sekundärluft und Fluidisierungsluft über getrennte Zuführsysteme bereitgestellt werden, wobei die Primärluft und/oder die Sekundärluft vor Eintritt in den Wirbelschichtkessel vorgewärmt werden.

[0002] Das Betreiben von Kraftwerken orientiert sich in der Regel an den Zielgrößen Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit. Insbesondere bei mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken erscheinen Maßnahmen zur Wirkungsgradsteigerung besonders geeignet, diesem Anforderungsprofil gerecht zu werden. Da durch einen höheren Kraftwerkswirkungsgrad der Brennstoffeinsatz bei konstanter Kraftwerksleistung reduziert wird, sind wirkungsgradsteigernde Maßnahmen gleichbedeutend mit sinkenden Emissionen und einem Beitrag zur Ressourcenschonung.

[0003] Der Wirkungsgrad eines mit fossilen Brennstoffen befeuerten Dampferzeugers ist maßgeblich von der Temperatur des Abgases und der Nutzungsart der Abgaswärme abhängig.

[0004] Das wirkungsvollste Verfahren, um einen hohen Dampferzeugungswirkungsgrad zu erreichen, ist die Nutzung von Abgaswärme durch Vorwärmung von möglichst viel Verbrennungsluft auf eine möglichst hohe Temperatur. In der Regel ist jedoch die geregelte, d.h. mengenmäßig erfassbare Verbrennungsluftmenge im Vergleich zur Abgasmenge spezifisch zu gering, um die angestrebte niedrige Abgastemperatur zu erreichen.

[0005] Grundsätzlich wird bei Dampferzeugern zwischen staubgefeuerten Dampferzeugern und solchem mit Wirbelschichtfeuerung unterschieden. Bei

[0006] Anwendung von Wirbelschichtfeuerungen findet beispielsweise bei der Verbrennung von Braunkohle häufig die sogenannte zirkulierende Wirbelschichtfeuerung Anwendung, die sich von einer stationären Wirbelschichtfeuerung dadurch unterscheidet, dass das Bettmaterial, d.h. größtenteils die Asche, im Kreislauf geführt wird.

[0007] Beim Betrieb von staubgefeuerten Dampferzeugern ist die Verbrennungsluftvorwärmung mittels Regenerativluftvorwärmer bekannt. Dies ist dort verhältnismäßig einfach möglich, da der größte Teil der Verbrennungsluft mit einem einheitlichen Druck geregelt dem Dampferzeuger aufgegeben wird.

[0008] Dampferzeuger mit Wirbelschichtfeuerung haben im Vergleich zu staubgefeuerten Dampferzeugern den Nachteil, dass die geregelt zugeführte Verbrennungsluft auf unterschiedlichen Druckniveaus in den Dampferzeuger eingebracht werden muss. Die Sekundärluft hat einen Überdruck von ca. 100 mbar und gewährleistet eine vollständige Verbrennung. Die Primärluft hat in der Regel einen Überdruck von ca. 200 mbar und wird über einen Düsenboden der zirkulierenden Wir-

belschichtfeuerung zugeführt. Mit der Fluidisierungsluft, die mit etwa 500 mbar zugeführt wird, wird in der Regel das feinkörnige Inertmaterial (Bettmaterial/Asche) fluidisiert.

[0009] Auch bei Dampferzeugern mit zirkulierender Wirbelschichtfeuerung ist es bekannt, die Primär- und Sekundärluft für die Feuerung über einen Regenerativluftvorwärmer vorzuwärmen bzw. zu erhitzen.

[0010] Bei den bekannten Verfahren ist eine Wirkungsgradsteigerung einhergehend mit einem verringerten Brennstoffeinsatz nach wie vor wünschenswert.

[0011] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Dampfturbinenkraftwerks mit einer Wirbelschichtfeuerung bereitzustellen, bei welchem eine signifikante Erhöhung des Dampferzeugungswirkungsgrades und damit einhergehenden Gesamtanlagenwirkungsgrades bei gleichbleibendem Energiebedarf zur Zuführung der Verbrennungsluft erzielt wird.

[0012] Die Aufgabe wird zunächst gelöst durch ein Verfahren zum Betreiben eines Dampfturbinenkraftwerks mit einer Wirbelschichtfeuerung, insbesondere mit einer zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung, bei welcher Primärluft, Sekundärluft und Fluidisierungsluft über getrennte Zuführsysteme bereitgestellt werden, wobei die Primärluft und/oder die Sekundärluft vor Eintritt in den Wirbelschichtkessel vorgewärmt werden, wobei sich das erfindungsgemäße Verfahren dadurch auszeichnet, dass zusätzlich eine Fluidisierungsluftvorwärmung vorgesehen ist.

[0013] Die Fluidisierungsluft dient insbesondere bei der zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung dazu, dass feinkörnige Inertmaterialien (Asche/Bettmaterial) zu fluidisieren. Mit der Fluidisierungsluft werden darüber hinaus die Komponenten wie Fließbettkühler, externe Wärmetauscher, Aschesichter, Ascherücklaufschleusen, Siphone, Aschekühler etc. betrieben, wozu in der Regel ein Überdruck von ca. 500 mbar erforderlich ist. Häufig kommen auch separate Fluidisierungsluftversorgungssysteme mit unterschiedlichen Gebläsen/Verdichtern zum Einsatz.

[0014] Überraschenderweise hat sich herausgestellt, dass durch eine zusätzliche Vorwärmung der Fluidisierungsluft, d.h. zusätzlich zur Vorwärmung der Primär- und Sekundärluft, eine signifikante Wirkungsgradsteigerung erzielbar ist. Bis jetzt hat man insbesondere deshalb von einer Vorwärmung abgesehen, da übliche Regenerativluftvorwärmer wegen des hohen Überdrucks innerhalb der Fluidisierungsluftsysteme (ca. 500 mbar) und der daraus resultierenden Leckageströme nicht verwendbar sind. Aus diesem Grund wird bei bekannten Wirbelschichtfeuerungen die Fluidisierungsluft unvorgewärmt in den Dampferzeuger eingebracht.

[0015] Bei einer besonders zweckmäßigen Variante des Verfahrens gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass die Vorwärmung der Fluidisierungsluft von der Vorwärmung der Primär- und/oder Sekundärluft entkoppelt ist. Das hat insbesondere den Vorteil, dass die Vorwär-

mung der Fluidisierungsluft nicht zu Lasten der Rauchgaseintrittstemperatur des Regenerativluftvorwärmers geht. Dadurch würde die Heißlufttemperatur der Primär- und Sekundärluft unnötigerweise herabgesetzt, was wiederum eine steigende Abgastemperatur und einen sinkenden Dampferzeugungswirkungsgrad bewirkt.

[0016] Bei einer besonders zweckmäßigen und vorteilhaften Variante des Verfahrens der Erfindung ist vorgesehen, dass die für die Fluidisierungsluftvorwärmung benötigte Wärme dennoch aus dem Rauchgasstrom ausgekoppelt wird.

[0017] Hierzu kann beispielsweise vorgesehen sein, dass der Rauchgasstrom vor der Energieauskopplung geteilt und über parallele Rauchgaswege geführt wird. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass sowohl der für die Vorwärmung der Primär- und Sekundärluft benötigte Luftvorwärmer als auch der für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft erforderliche Luftvorwärmer mit einer möglichst hohen Rauchgastemperatur beaufschlagt werden und somit die Vorwärmung der Fluidisierungsluft nicht zu Lasten der Heißlufttemperatur der Primär- und Sekundärluft erfolgt.

[0018] Vorzugsweise erfolgt die Vorwärmung der der Wirbelschichtfeuerung zugeführten Primärluft und/oder Sekundärluft und der Fluidisierungsluft über parallel geschaltete Luftvorwärmer.

[0019] Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der Erfindung ist vorgesehen, dass die Auskopplung für die zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme aus dem Rauchgasweg einer Kesselspeisewasservorwärmung erfolgt.

[0020] Zweckmäßigerweise wird die für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft nutzbare Wärme mehrstufig aus dem Rauchgasstrom ausgekoppelt.

[0021] Beispielsweise kann die Auskopplung der zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme mittels mehrerer in Reihe geschalteter Luftvorwärmer erfolgen.

[0022] Diese in Reihe geschalteten Luftvorwärmer können mit wenigstens einem Kesselspeisewasservorwärmer in Reihe betrieben werden.

[0023] Besonders günstig ist eine mehrstufige Vorwärmung der Fluidisierungsluft mit einer mehrstufigen Kesselspeisewasservorwärmung in gestaffelter Anordnung, d.h. das Kesselspeisewasservorwärmer und Fluidisierungsluftvorwärmer abwechselnd in Reihe geschaltet sind, so dass eine Leistungseinbuße der Kesselspeisewasservorwärmer möglichst vermieden wird.

[0024] Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert:

[0025] Es zeigen:

Fig. 1 das Verfahrensschema einer Variante eines Dampfturbinenkraftwerks mit herkömmlicher Luftvorwärmung,

Fig. 2 das Verfahrensschema einer ersten Verschal-

tungsvariante der Fluidisierungsluftvorwärmung gemäß der Erfindung,

Fig. 3 ein Verfahrensschema einer zweiten Verschaltungsvariante der Fluidisierungsluftvorwärmung gemäß der Erfindung und

Fig. 4 ein Verfahrensschema einer dritten Verschaltungsvariante der Fluidisierungsluftvorwärmung gemäß der Erfindung.

[0026] In Fig. 1 sind Teile eines Trockenbraunkohle-Dampfturbinenkraftwerks schematisch dargestellt, wobei aus Vereinfachungsgründen im wesentlichen Massenströme von Trocknungsbrüden 1, Verbrennungsluft 2 und Rauchgas 3 dargestellt sind. Der Wasser-Dampf-Kreislauf des Dampfturbinenkraftwerks ist nur teilweise und stark vereinfacht dargestellt. Die Figur 1 beschreibt ein Beispiel eines Dampfturbinenkraftwerks zu dem Zweck, die Verfahrensschemata nach Figuren 2 bis 4 in einem Kontext darstellen zu können.

[0027] Mit dem Bezugszeichen 4 ist der Dampferzeuger des Dampfturbinenkraftwerks bezeichnet. Der Dampferzeuger 4 ist als mit Trockenbraunkohle befeuerter Wirbelschichtkessel ausgebildet. Der Massenstrom der Verbrennungsluft 2 in den Dampferzeuger ist vereinfacht als ein einziger Strömungsweg dargestellt. Der Dampferzeuger 4 des Dampfturbinenkraftwerks ist insbesondere als Wirbelschichtkessel mit zirkulierender Wirbelschicht ausgeführt. Eine Wirbelschichtfeuerung mit zirkulierender Wirbelschicht ist grundsätzlich bekannt und wird deshalb im folgenden nicht näher beschrieben. In dem Dampferzeuger 4 wird in an sich bekannter Art und Weise Wasser verdampft und in einer nachgeschalteten Dampfturbine 5 entspannt. Die Dampfturbine 5 umfasst einen Hochdruckteil, einen Mitteldruckteil und einen Niederdruckteil, die im Verfahrensschema nicht genauer bezeichnet sind. Die Dampfturbine 5 treibt einen Generator 6 an, der wiederum elektrische Energie in ein Stromnetz einspeist.

[0028] Der Dampfturbine 5 ist ein Kondensator 7 nachgeschaltet, in dem Niederdruckdampf kondensiert wird.

[0029] Mittels einer Kesselspeisewasserpumpe wird das Kondensat wieder dem Dampferzeuger 4 zugeführt.

[0030] Der Dampferzeuger 4 wird mit Trockenbraunkohle als Brennstoff beschickt, welcher in einem Wirbelschichttrockner 8 einer indirekten Trocknung unterzogen wurde. An dieser Stelle sei angemerkt, dass der Dampferzeuger 4 nicht notwendigerweise mit Trockenbraunkohle als Brennstoff beschickt werden muss. Diese Variante des Verfahrens wurde hier nur zu Veranschaulichungszwecken gewählt.

[0031] Der Wirbelschichttrockner 8 wird mit Dampf aus dem Niederdruckteil der Dampfturbine 5 beheizt. Ein Teil des bei der Trocknung der Braunkohle anfallenden Brüdens 1 wird zunächst in einem Staubabscheider 9 entstaubt und mit einem Gebläse 10 wieder dem Wirbelschichttrockner 8 als Fluidisierungsmittel zugeführt. Wei-

tere Teilströme des Brüdens 1 werden, wie nachstehend noch beschrieben wird, zur Vorwärmung der Verbrennungsluft 2 genutzt.

[0032] Die Verbrennungsluft 2 wird in bekannter Art und Weise einem regenerativen Luftvorwärmer 11 zugeführt, der beispielsweise als Drehluvo ausgebildet sein kann. In dem regenerativen Luftvorwärmer 11 wird die Verbrennungsluft im Gegenstrom mit dem Rauchgas 3 vorgewärmt.

[0033] Ein Teilstrom des Rauchgases 3 wird über eine Bypassleitung 12 an dem Luftvorwärmer 11 vorbei geführt. Dieses gelangt zunächst über einen ersten Hochdruck-Luftbypass-Economizer 13 (HD-Lubeco), und wird dann über einen Niederdruck-Luftbypass-Economizer 14 (ND-Lubeco) geführt, die in bezug auf den Rauchgasstrom 3 in Reihe geschaltet sind. Der Wärmeinhalt des Rauchgases 3 wird über den HD-Lubeco 13 in den Hochdruckteil des Speisewasserkreislaufs eingekoppelt, die verbleibende Wärme des Rauchgases wird in der nächsten Stufe in den Niederdruckteil des Kesselspeisewasserkreislaufs eingekoppelt.

[0034] In Strömungsrichtung hinter dem Luftvorwärmer 11 und den Economizern 13, 14 ist bei der in Fig. 1 dargestellten Verfahrensvariante ein weiterer Rauchgaskühler 15 vorgesehen, welcher seine Wärme fracht über einen in der Verbrennungsluftzufuhr vorgesehenen Wasser/Luftvorwärmer 16 abgibt. Der Rauchgaskühler 15 und der Wasser/Luftvorwärmer 16 kommunizieren miteinander über Wasser als Wärmeträgermedium in einem geschlossenen Kreislauf.

[0035] Die Verbrennungsluft 2 wird zunächst in einem Brüdenluftvorwärmer 17 vorgewärmt. Der Brüdenluftvorwärmer 17 ist mit einem Teilstrom des Brüdens aus dem Wirbelschichttrockner 8 beaufschlagt. Dem Brüdenluftvorwärmer 17 ist aus Strömungsrichtung der Verbrennungsluft 2 betrachtet der Wasserluftvorwärmer 16 nachgeschaltet, in welchem die Verbrennungsluft weiter angewärmt wird. Die Verbrennungsluft 2 strömt sodann durch den regenerativen Luftvorwärmer 11, wo diese im Gegenstrom mit dem etwa 360°C heißen Rauchgas auf etwa 330°C aufgeheizt wird. Das Rauchgas, welches mit 360°C in den Luftvorwärmer 11 eintritt, kann diesen beispielsweise mit etwa 160°C verlassen.

[0036] Während in Fig. 1 die Verbrennungsluftvorwärmung für den Dampferzeuger 4 nur stark vereinfacht dargestellt ist, zeigt Fig. 2 eine erste Variante der erfindungsgemäßen Verbrennungsluftvorwärmung. Neben dem zuvor erwähnten regenerativen Luftvorwärmer 11 ist ein weiterer Luftvorwärmer 18 vorgesehen, der zu dem Luftvorwärmer 11 parallel geschaltet ist. Der Luftvorwärmer 18 ist als Röhrenluftvorwärmer ausgebildet und wird mit einem Teil des Rauchgases 3 beaufschlagt.

[0037] Die Verbrennungsluft 2 in Form von Primärluft 2a und Sekundärluft 2b wird mittels der Gebläse 19 über den regenerativen Luftvorwärmer 11 vorgewärmt. Parallel hierzu wird dem Dampferzeuger 4 bzw. dem ZWF-Kessel (zirkulierende Wirbelschichtfeuerung) Fluidisierungsluft 20 zugeführt, die über den parallelen Luftvor-

wärmer 18 ebenfalls im Gegenstrom mit dem Rauchgas 3 aufgeheizt wird. Das Rauchgas 3 wird im Bereich der Luftvorwärmer 11 und 18 in zwei zueinander parallelen Teilströmen 3a, 3b geführt.

[0038] Grundsätzlich kann die in Fig. 2 dargestellte Variante der Verbrennungsluftvorwärmung ohne das in Fig. 1 dargestellte Luftbypass-Economizer-System (Speisewasservorwärmung mittels der Economizer 13 und 14) realisiert werden.

[0039] In Fig. 3 ist eine alternative Ausführungsform der Verbrennungsluftvorwärmung gemäß der Erfindung dargestellt und zwar in Kombination mit dem Luftbypass-Economizer-System nach Fig. 1. Diese Variante stellt keine anlagentechnische Vereinfachung gegenüber der in Fig. 2 dargestellten Variante sondern die im Hinblick auf den Wirkungsgrad optimale Verschaltung dar. Um die Anzahl der Rauchgaswege zu reduzieren, kann die Vorwärmung der Fluidisierungsluft 20 im Rauchgasweg der Kesselspeisewasservorwärmung (Luftbypass-Economizer-System) erfolgen.

[0040] Grundsätzlich ist die Reihenfolge der Schaltung von Teilen der Economizer und des Luftvorwärmers beliebig möglich.

[0041] Eine weitere Variante der Verbrennungsluftvorwärmung gemäß der Erfindung ist in Fig. 4 dargestellt.

[0042] Dort ist die Vorwärmung der Fluidisierungsluft 20 in zwei Stufen mittels des Luftvorwärmers 11a und des Luftvorwärmers 11b vorgesehen, die in Reihe geschaltet sind. Die Luftvorwärmer 11a, 11b sind abwechselnd mit den Economizern 13 und 14 in Reihe im Rauchgasweg der Kesselspeisewasservorwärmung angeordnet, und zwar um die Leistungseinbußen des HD-Lubecos 15 (Hochdruck-Luftbypass-Economizer) zu minimieren. Die in Strömungsrichtung des Rauchgases 3b betrachtete erste Stufe 11b des Luftvorwärmers ist an der Stelle der höchstmöglichen Rauchgastemperatur vorgesehen, um die Temperatur der Fluidisierungsluft zwecks Wirkungsgradmaximierung weitestmöglich anzuheben.

40 Bezugszeichenliste

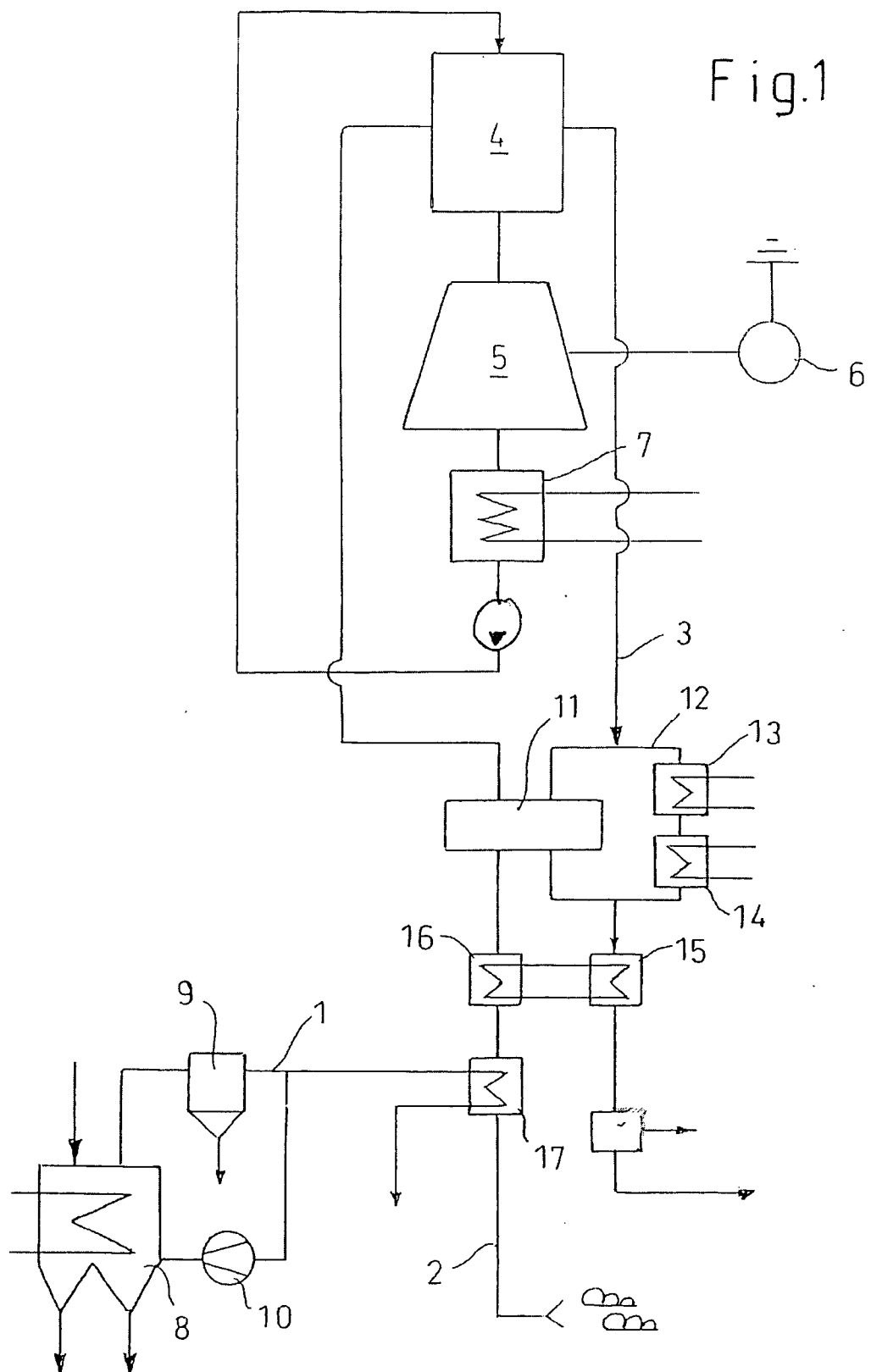
[0043]

1	Brüden
2	Verbrennungsluft
2a	Primärluft
2b	Sekundärluft
3	Rauchgas
3a,b	Rauchgasteilströme
4	Dampferzeuger
5	Dampfturbine

6	Generator		auskopplung geteilt und über parallele Rauchgaswege geführt wird.
7	Kondensator		
8	Wirbelschichttrockner	5	5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorwärmung der der Wirbelschichtfeuerung zugeführten Primärluft und/oder Sekundärluft und der Fluidisierungsluft über parallel geschaltete Luftvorwärmer erfolgt.
9	Staubabscheider		
10	Gebläse	10	6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Auskopplung der zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme aus dem Rauchgasweg einer Kesselspeisewasservorwärmung erfolgt.
11	Luftvorwärmer		
12	Bypassleitung		
13	ND-Lubeco (Niederdruck-Luftbypass-Economizer)	15	7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigte Wärme mehrstufig aus dem Rauchgasstrom ausgekoppelt wird.
14	HD-Lubeco (Hochdruck-Luftbypass-Economizer)	20	
15	Rauchgaskühler		8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Auskopplung der zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme mittels mehrerer in Reihe geschalteter Luftvorwärmer erfolgt.
16	Wasserluftvorwärmer	25	
17	Brüdenluftvorwärmer		
18	Luftvorwärmer		9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Luftvorwärmer für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft in Reihe mit wenigstens einem Kesselspeisewasservorwärmer betrieben werden.
19	Gebläse	30	
20	Fluidisierungsluft		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Dampfturbinenkraftwerks mit einer Wirbelschichtfeuerung, insbesondere mit einer zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung, bei welcher Primärluft, Sekundärluft und Fluidisierungsluft über getrennte Zuführsysteme bereitgestellt werden, wobei die Primärluft und/oder die Sekundärluft vor Eintritt in den Wirbelschichtkessel vorgewärmt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich eine Fluidisierungsluftvorwärmung vorgesehen ist. 35
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorwärmung der Fluidisierungsluft von der Vorwärmung der Primär-und/oder Sekundärluft entkoppelt ist. 40
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die für die Fluidisierungsluftvorwärmung benötigte Wärme aus dem Rauchgasstrom ausgekoppelt wird. 45
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Rauchgasstrom vor der Wärme- 50
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorwärmung der der Wirbelschichtfeuerung zugeführten Primärluft und/oder Sekundärluft und der Fluidisierungsluft über parallel geschaltete Luftvorwärmer erfolgt. 55
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auskopplung der zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme aus dem Rauchgasweg einer Kesselspeisewasservorwärmung erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigte Wärme mehrstufig aus dem Rauchgasstrom ausgekoppelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Auskopplung der zur Vorwärmung der Fluidisierungsluft benötigten Wärme mittels mehrerer in Reihe geschalteter Luftvorwärmer erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Luftvorwärmer für die Vorwärmung der Fluidisierungsluft in Reihe mit wenigstens einem Kesselspeisewasservorwärmer betrieben werden.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine mehrstufige Vorwärmung der Fluidisierungsluft mit einer mehrstufigen Kesselspeisewasservorwärmung in gestaffelter Anordnung vorgesehen ist.



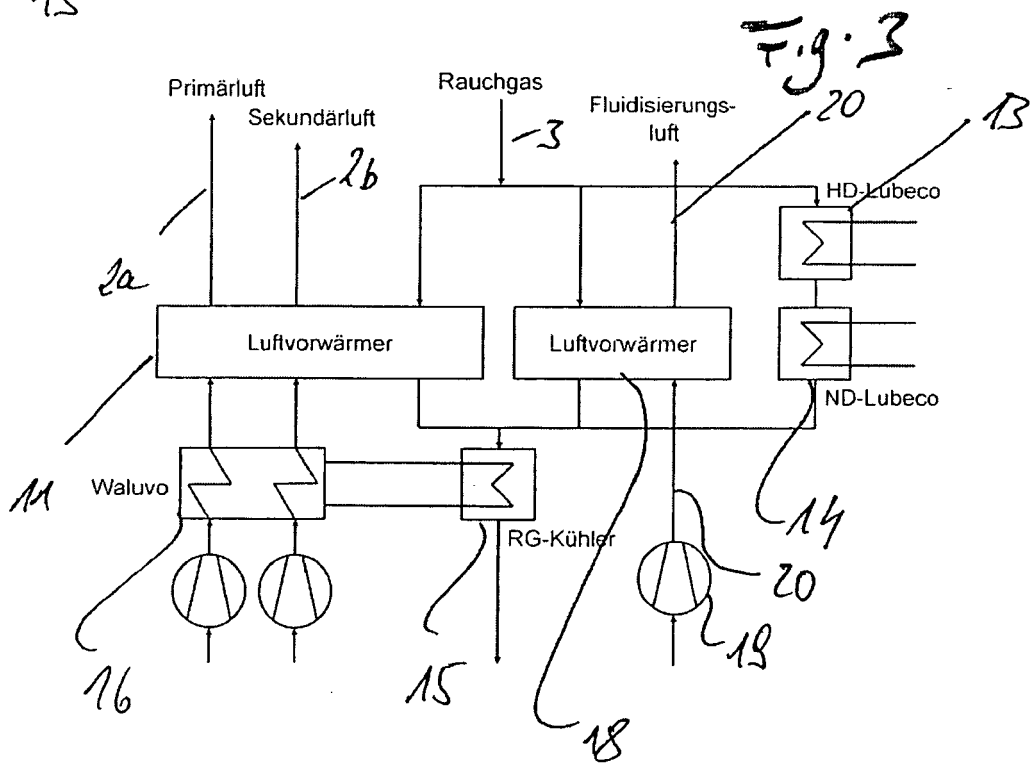
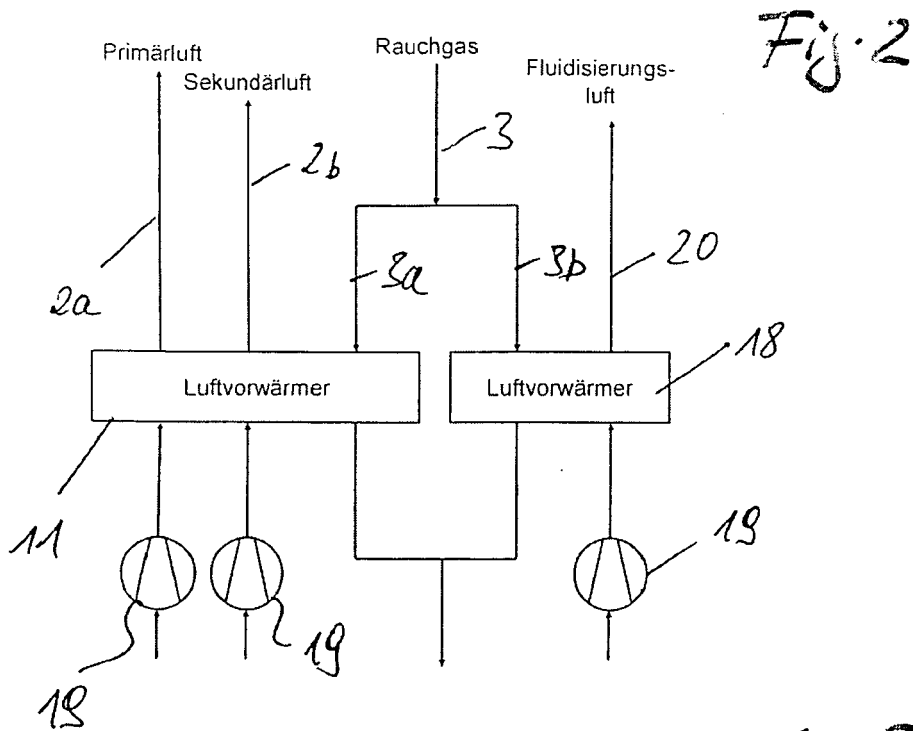


Fig. 4

