



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 247 611 A1

4(51) B 01 D 53/14
F 23 J 15/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP B 01 D / 288 791 1

(22) 04.04.86

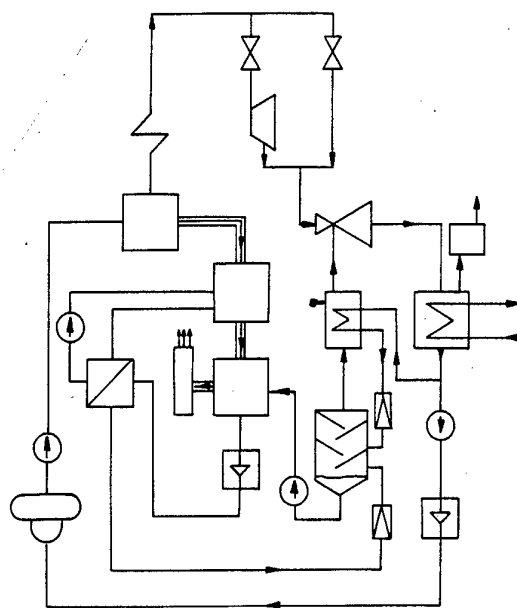
(44) 15.07.87

(71) VEB Wärmeanlagenbau „DSF“, 1020 Berlin, Wallstraße 9–13, DD

(72) Boschnakov, Ivan, Dr. sc. techn., BG; Jankowski, Manfred, Dipl.-Phys., DD; Thalmann, Walter, Dipl.-Ing., DD; Dietzmann, Thilo, Dipl.-Ing., DD; Pietsch, Carsten, Dipl.-Ing., DD; Schindler, Gerd, DD; Köhler, Eberhard, Dipl.-Ing., DD; Rappich, Siegmund, Dipl.-Ing., DD

(54) Verfahren und Anordnung zur Abwärmenutzung aus Rauchgasen

(57) Die Erfindung bezieht sich auf die Abwärmeverwertung aus Rauchgasen, insbesondere bei der Rauchgasentschwefelung braunkohlegefeuerter Wärmeerzeuger, durch Nutzung der Kondensationsenthalpie und unmittelbare Einkopplung der gewonnenen Abwärme in den Rücklauf von Fernwärme- bzw. Heizungsnetzen. Gemäß der Erfindung wird die Rauchgas-Naßentschwefelung und -abkühlung in zwei Stufen, d. h. oberhalb und unterhalb des Taupunktes der Rauchgase, durchgeführt, wobei zwischen den Wasch-Kühlwasserkreisläufen beider Stufen ein Wärmeaustausch stattfindet und das bei der Rauchgasabkühlung gebildete Kondensat unter Vakuum verdampft und abgesaugt wird und der mit Dampf aus dem Wärmeerzeuger gemischte und verdichtete Saugdampf im Wärmeaustausch über den Heizungs- bzw. Fernwärmerücklauf geführt wird. Fig. 3



Figur 3

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Abwärmenutzung aus Rauchgasen, vorzugsweise braunkohlengefeuerter Wärmeerzeugeranlagen für Heizungs- und Fernwärmesysteme, durch Brennwertnutzung in Verbindung mit einer Naßentschwefelung, bei der die im Rauchgas enthaltenen Schadstoffe in einer Lösung absorbiert werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rauchgase in einem zweistufigen Waschprozeß zunächst auf Temperaturen oberhalb des Taupunktes abgekühlt und dabei entschwefelt werden und anschließend bis unter den Taupunkt gekühlt werden, wobei der Waschflüssigkeit der ersten Stufe im Austausch mit aus Rauchgaskondensat bestehendem Kühlwasser der zweiten Stufe Wärme entzogen wird und das Rauchgaskondensat, nach Neutralisation und Druckminderung, im Vakuum, das einer unterhalb der Temperatur des Rauchgaskondensats liegenden Siedetemperatur entspricht, verdampft wird, und ein Teil der dabei gekühlten Flüssigkeit unter Druckerhöhung zur Rauchgasabkühlung zurückgeführt wird, während der erzeugte Dampf unter Bildung des Vakuums abgesaugt und mit Dampf aus dem Wärmeerzeuger gemischt und verdichtet und anschließend im Wärmeaustausch mit dem Heizungs- oder Fernwärmerücklauf kondensiert wird und Teil des Mischdampfkondensats unter Abkühlung mit Saugdampf und Druckminderung zur Vakuumverdampfung und der Rest des Kondensats als Speisewasser zum Wärmeerzeuger zurückgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das bei der Wärmeübertragung an den Heizungsrücklauf gebildete Mischdampfkondensat chemisch und thermisch aufbereitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach der Vakuumverdampfung eine Rektifikation des Saugdampfes durchgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vakuumverdampfung in zwei oder mehreren Stufen mit Zwischenkondensation durchgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Rauchgasentschwefelung und -abkühlung unter den Taupunkt in einer Stufe durchgeführt und die Waschflüssigkeit im geschlossenen Kreislauf über die Verdampfungsstufe geleitet und abgekühlt wird, wobei ausschließlich Mischdampfkondensat aus der Wärmeübertragung an den Rücklauf unter Vakuum verdampft wird und das bei der Rauchgasnaßentschwefelung gebildete schadstoffbelastete Kondensat kontinuierlich abgezogen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Saugdampf mit Anzapf- oder Abdampf der Turbinen eines Heizkraftwerkes gemischt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Druckverhältnis von Mischdampf zu Saugdampf kleiner als 5 ist.
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß schadstoffarmes Rauchgas in einer Stufe bis unter den Taupunkt abgekühlt und das gebildete Kondensat unter Vakuum verdampft wird, wobei nach dem Wärmeaustausch mit dem Heizungsrücklauf vorhandene, nicht kondensierende Gase abgesaugt werden.
9. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens mit einer dem Wärmeerzeuger zugeordneten Rauchgas-Naßentschwefelungseinrichtung nach Anspruch 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rauchgas-Naßentschwefelungseinrichtung (2) eine im direkten Wärmeaustausch mit Kühlwasser betriebene Rauchgasabkühlungseinrichtung (1) nachgeordnet ist und der Waschwasserkreislauf der Rauchgas-Naßentschwefelungseinrichtung mit dem Kühlwasserkreislauf der Rauchgasabkühlungseinrichtung über einen Wärmetauscher (21) verbunden ist, wobei in den Kühlwasserkreislauf ein mit Rektifikationseinrichtungen (19) versehener Vakuumbehälter (4), der an die Saugseite einer dampfgetriebenen, mischdruckseitig in einen Wärmetauscher (7) des Heizungs- bzw. Fernwärmerücklaufes mündenden Vakuumpumpe (5) angeschlossen ist, eingebunden ist, und der Wärmetauscher (7) kondensatseitig über eine Drossel (15) mit dem Vakuumbehälter (4) und über eine Druckerhöhungspumpe (8) mit dem Kessel (22) verbunden ist.
10. Anordnung nach Anspruch 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Entschwefelung und gleichzeitigen Abkühlung der Rauchgase in einer Stufe der Rauchgas-Naßentschwefelungseinrichtung (2) ein geschlossener Wasch-/Kühlwasserkreislauf, der durch den teilweise mit Wasser gefüllten Vakuumbehälter (4) geführt ist, zugeordnet ist.
11. Anordnung nach Anspruch 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den Wasch-/Kühlwasserkreislauf nach dem Vakuumbehälter (4) direkt oder über einen Wärmetauscher eine auf der warmen Seite mit dem Heizungsrücklauf (23) verbundene elektrische Wärmepumpe eingebunden ist.
12. Anordnung nach Anspruch 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wärmetauscher (7) mit einer Vakuumpumpe (13) verbunden ist.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf die Nutzung der Anfallenergie aus Verbrennungsgasen und betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Abwärmeverwertung aus Rauchgasen, insbesondere bei der Rauchgasentschwefelung in Heizwerken oder Heizkraftwerken, die auf der Basis fester Brennstoffe betrieben werden.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bei der Abgaswärmerückgewinnung ist die Nutzung der Kondensationsenthalpie des Verbrennungswassers in Rauchgasen Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen. Dieses Prinzip der Brennwertnutzung durch Abkühlung der Abgase bis unter den Taupunkt ist mit einer erheblichen Wirkungsgraderhöhung verbunden. Nachteilig ist, daß das anfallende Kondensat durch Einbindung von CO_2 , SO_2 , SO_3 und NO stark korrosiv ist und die zusätzlich erschlossene Wärme im Niedertemperaturbereich anfällt. Zur Übertragung der Abgasenthalpie auf einen sekundären Energieträger sind große Wärmeübertragerflächen notwendig, die vorzugsweise über einen Direktkontakt zwischen dem Rauchgas und feinverteilter flüssigen Medium erreicht werden. Dabei ist die gewünschte Wärmeübertragung unmittelbar mit der Kondensation des Wasserdampfes in den Rauchgasen verbunden.

Zur Nutzung des Brennwertes in Abgasen werden Geräte beschrieben, die nach dem Prinzip der Unterwasserverbrennung in Eigenkondensat, das im Kreislauf geführt wird und in einem Sekundärkreislauf das Schwimmbeckenwasser eines Hallenbades erwärmt, arbeiten.

Bei anderen bekannten Anlagen strömt das Abgas von oben nach unten in einem zylinderischen Behälter und überträgt seine Wärme im Direktkontakt an herabrieselndes Kreislaufwasser und von dort über einen Wärmetauscher an einem Sekundärkreislauf.

Wegen der Korrosivität des Kondensats ist die Brennwertnutzung für schwefelhaltige Verbrennungsgase bisher unterblieben bzw. mit großen Schwierigkeiten verbunden. Gerade auf diesem Gebiet wären jedoch große ökonomische Effekte zu erreichen. Zum anderen ist der Einsatz von Brennwertgeräten aufgrund des mit dem erreichbaren Wärmerückgewinn verbundenen Temperaturniveaus auf die Deckung des Bedarfes an Niedertemperaturwärme, insbesondere zur Bereitstellung von Warmwasser für industrielle und kommunale Anwendungsfälle sowie für Niedertemperaturheizungen beschränkt. Die Einkopplung der bei der Brennwertnutzung gewonnenen Abwärme in den Rücklauf von Heizungs- und Fernwärmenetzen ist in Anbetracht der Tatsache, daß die Abwärmtemperatur unterhalb des Taupunktes der Rauchgase liegt, nicht möglich.

Bei der Entfernung unerwünschter gasförmiger Bestandteile aus heißen Rauchgasen ist ein Verfahren zur Abwärmeverwertung bekannt, wonach eine völlige Ausnutzung der Abwärme des zu reinigenden Rauchgases erreicht wird, indem das Rauchgas zur Abkühlung und Vorreinigung über Regeneratoren geleitet und anschließend zur Absorption von SO_2 einer Wäsche mit einem physikalisch wirkenden Lösungsmittel zugeführt wird, das nach Aufnahme des SO_2 regeneriert und in die Wäsche zurückgeführt wird. Das heiße Rauchgas wird in den Regeneratoren im Wärmeaustausch zu atmosphärischer Luft auf Temperaturen zwischen 0°C und 60°C abgekühlt und bei dieser Temperatur mit einem überwiegend aus Tetraäthylenglykoldimethyläther bestehenden Lösungsmittel gewaschen.

Bei einem anderen bekannten Verfahren zur Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen braunkohlengefeuerter Wärmeerzeugeranlagen erfolgt in einem Abgaskondensator eine Abkühlung bis unter den Taupunkt, so daß der größte Teil des in den Rauchgasen befindlichen Wasserdampfes kondensiert und der durch die Abgasvolumenverringerung erzeugte Unterdruck künstlich aufrechterhalten wird. Das Abgaskondensat dient zusammen mit eingesprühtem Kühlmittel als Sorbens für im Abgas enthaltene Schadstoffe, wobei die dem Abgas entzogene Enthalpie zum Teil an das Abgas und zum anderen an einen Wärmeverbraucher oder an ein Kältemittel zur Realisierung eines Clausius-Rankine-Prozesses übertragen wird.

Eine Wärmerückgewinnung unmittelbar für Heizungs- und Fernwärmenetze ist auch bei den zuletzt beschriebenen Verfahren aus den oben dargelegten Gründen ausgeschlossen.

Schließlich wird eine Anordnung zur verbesserten Brennwertnutzung und Rauchgasreinigung bei einem mit einer Absorptionswärmepumpe gekoppelten Heizkessel beschrieben, wonach der in einem Naßabscheider für die Rauchgasreinigung die Abwärme aufnehmende Wasserstrom über den Verdampfer einer Absorptionswärmepumpe und zurück zum Naßabscheider geführt wird. Die vorgeschlagene Lösung, die auf die Anwendung von Wärmepumpen zur Nutzung der Kondensationsenthalpie der Rauchgase gerichtet ist, wird vorzugsweise für Heizkessel mittlerer und kleinerer Leistung erfolgreich eingesetzt.

Die zur Bereitstellung von Abwärme mit dem zur Wärmeabgabe an das Heizungs- und Fernwärmenetz geeigneten Temperaturniveaus bekannten, elektrisch angetriebenen Sorptionswärmepumpen erfordern einen hohen apparativen Aufwand und verbrauchen zudem hochwertige Elektroenergie.

Die Anwendung dampfangetriebener Absorptionswärmepumpen ist mit dem Nachteil des geräteseitig hohen Aufwandes, der schwierig zu beherrschenden hohen Drücke bei Verwendung von Ammoniak bzw. der hohen Kosten bei Einsatz von Lithiumbromid als Kältemittel verbunden.

Ein weiterer Nachteil der bekannten Verfahren zur Brennwertnutzung bei der Rauchgasentschwefelung besteht darin, daß sich das Kondenswasser aus den Rauchgasen mit der Waschflüssigkeit vermischt und aufgrund der Verschmutzung ungenutzt aus dem Kreislauf abgeführt werden muß. Zum anderen ist die gegenseitige Abstimmung des Temperaturniveaus sowie der Flüssigkeits- und Wärmemengen bei sich ändernden Parametern im Fernwärme- und Heizungsnetz mit einem beträchtlichen steuerungstechnischen Aufwand verbunden.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht darin, Sekundärenergiereserven aus Verbrennungsgasen, insbesondere schwefelhaltigen Rauchgasen, bereitzustellen und als Gebrauchsenergie für Heizungs- und Fernwärmenetze zu erschließen und damit die Wärmebezugskosten zu senken. Weiterhin soll die Umweltbelastung durch Abgaswärme verringert und zusätzliches Speisewasser für Wärmeerzeuger gewonnen werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Abwärmeverwertung durch Brennwertnutzung aus zu reinigenden Rauchgasen zu entwickeln und eine entsprechende Anordnung anzugeben, wonach die Einkopplung der gewonnenen Abwärme unter Vermeidung hohen apparativen Aufwandes in ein Heizungs- oder Fernwärmenetz bei gleichzeitiger Nutzung des mit der Abgasenthalpie gewonnenen Kondenswassers für den Wärmeerzeuger erfolgen kann. Die gemäß dem Verfahren zu erstellende Anlage soll sich weitestgehend selbsttätig, d. h. ohne erheblichen steuerungstechnischen Aufwand, unterschiedlichen Parametern des Heizungs- bzw. Fernwärmerücklaufes, auch im Extremfall, anpassen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Rauchgase in einem zweistufigen Prozeß bei Temperaturen oberhalb des Taupunktes in einer Naßwäsche zunächst entschwefelt und anschließend auf Temperaturen unterhalb des Taupunktes abgekühlt werden.

Das Kondensat aus der Rauchgasabkühlung wird neutralisiert und im Wärmeaustausch mit der Flüssigkeit aus der Rauchgasnaßwäsche erwärmt und anschließend, nach Druckminderung, unter Sieden im Vakuum verdampft. Die Größe des Vakuums entspricht einer Siedetemperatur, die unter der der abwärmeführenden Flüssigkeit liegt. Der bei der Bildung des Vakuums abgesaugte Dampf wird mit einem Teil des Dampfes des Heizwerkes oder dem Abdampf der Turbinen eines Heizkraftwerkes gemischt und verdichtet. Dabei ist das Verhältnis des Druckes des Dampfgemisches in der Mischkammer zu dem des abgesaugten Dampfes kleiner, vorzugsweise geringfügig kleiner als 5 einzustellen.

Der Mischdampf wird über einen Wärmetauscher geleitet und gibt seine Wärme an den Rücklauf eines Heizungs- oder Fernwärmenetzes ab. Nichtkondensierende Gase, z. B. CO_2 , O_2 u. a., werden aus dem Wärmetauscher ins Freie geleitet. Das dabei gebildete Kondensat gelangt nach chemischer und thermischer Wasseraufbereitung als Speisewasser zum Wärmeerzeuger.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird zur Abscheidung von Schadstoffresten die Vakuumverdampfung zweistufig durchgeführt und zusätzlich eine Rektifikation vorgenommen.

Ein Teil des beim Wärmeaustausch mit dem Heizungsrücklauf gebildeten Kondensats wird — nach Abkühlung im Wärmeaustausch mit Saugdampf und Druckminderung — zum Ausgleich von Verdampfungsverlusten zur Vakuumverdampfung zurückgeführt.

In weiterer Ausbildung der Erfindung erfolgt die Rauchgasnaßwäsche und -abkühlung unter den Taupunkt in einer Stufe. Dabei wird das gebildete Gemisch aus Naßwäschesuspension und Rauchgaskondensat in einem geschlossenen Kreislauf durch den kontinuierlich mit Kesseldampfkondensat aus der Wärmeübertragung an den Heizungsrücklauf gefüllten Vakuumbehälter geführt. Während das Kesseldampfkondensat im Vakuumbehälter verdampft und abgesaugt wird, erfährt das bei der Rauchgasnaßwäsche bei Taupunktunterschreitung entstehende Rauchgas-Kondensat eine Abkühlung und wird wieder zur Rauchgasentschwefelung geleitet. Die überschüssige, schadstoffbelastete Flüssigkeit wird laufend aus dem Kreislauf abgezogen.

Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung wird die Temperatur der bei der Vakuumverdampfung direkt oder indirekt gekühlten Wasch- bzw. Kühlflüssigkeit in einem Wärmepumpenprozeß weiter gesenkt und anschließend wieder zur Rauchgasabkühlung zurückgeführt. Dadurch werden die Rauchgase tiefer, d. h. weiter unterhalb ihres Taupunktes abgekühlt, so daß deren Kondensatenthalpie besser genutzt wird.

Bei schadstoffarmen Verbrennungsgasen ist es schließlich auch möglich, das Rauchgas sofort unter den Taupunkt abzukühlen und das Kondensat unmittelbar im Vakuum zu verdampfen. Der Dampf wird, wie beschrieben, abgesaugt, und mit Treibdampf zu Mischdampf verdichtet, den Wärmetauschern des Heizungsrücklaufes zugeführt und gibt seine Wärme an das Heizungs- oder Fernwärmenetz ab. Dabei in den Wärmetauschern gegebenenfalls noch vorhandene Schadstoffdämpfe werden mit einer Vakuumpumpe abgesaugt.

Die erfindungsgemäße Anordnung zur Durchführung des Verfahrens besteht aus einem der Rauchgasentschwefelungseinrichtung zugeordneten Flüssigkeitskreislauf zur Aufnahme der Schadstoffe und der fühlbaren Wärme aus dem Rauchgas. Der der Rauchgasnaßwäsche nachgeschalteten Rauchgasabkühlungseinrichtung ist ein Kondenswasserkreislauf zugeordnet, der über einen Wärmetauscher mit dem Flüssigkeitskreislauf der Rauchgasentschwefelungseinrichtung verbunden und in den ein Vakuumbehälter zur Verdampfung und Abkühlung des Gemisches aus Rauchgaskondensat und des Mischdampfkondensats eingebunden ist. Der Vakuumbehälter ist der Saugseite einer Vakuumpumpe, deren Eingang mit der Dampfseite eines Heizwerkes bzw. mit der Abdampfseite der Turbinen eines Heizkraftwerkes und deren Ausgang mit den über den Heizungsrücklauf geführten Wärmetauschern verbunden ist, zugeordnet.

Der Mischdampf-Kondensatausgang dieser Wärmetauscher ist zum einen über einen weiteren, mit Saugdampf versorgten Wärmetauscher an den Vakuumbehälter und zum anderen über eine chemische und eine thermische Wasseraufbereitungsanlage an das Heizwerk angeschlossen.

Erfolgt die Rauchgasnaßwäsche und -kühlung unter den Taupunkt in einer Stufe, ist der Wasch-/Kühlwasserkreislauf geschlossen mit Kondenswasser aus der Rauchgasabkühlung, d. h. er wird in einer wärmeabgebenden Rohrleitung durch den Vakuumbehälter geführt. Im Vakuumbehälter wird ausschließlich Mischdampfkondensat verdampft. Bei schadstoffarmen Rauchgasen z. B. aus erdgasgefeuerten Heizwerken, wird das bei der Rauchgasabkühlung gebildete Kondensat im offenen Kreislauf durch den Vakuumbehälter geführt, wobei die zusätzliche Zuführung von Mischdampfkondensat in den Vakuumbehälter entfallen kann.

In dem Vakuumbehälter ist eine Einrichtung zur Rektifikation des Wasserdampfes angeordnet bzw. dem Vakuumbehälter ist eine Rektifikationskolonne nachgeordnet.

Zur weiteren Auskühlung des Rauchgaskondensats und zur besseren Reinigung des Saugdampfes sind zwei oder mehrere Vakuumbehälter einschließlich Vakuumpumpen, ggf. mit Zwischenkondensation, nacheinander angeordnet.

Die zur optimalen Kühlung der Rauchgase erfindungsgemäß vorgeschlagene weitere Senkung der Temperatur des Kühl-/Waschwassers wird dadurch erreicht, daß in den Kondenswasserkreislauf vor der Rauchgasabkühlungseinrichtung eine elektrische Wärmepumpe eingebunden ist, deren warme Seite über den Heizungsrücklauf geführt ist.

Im Fall der Rauchgasentschwefelung und -abkühlung in einer Stufe erfolgt der Anschluß der Wärmepumpe an den Kondenswasserkreislauf über einen Wärmetauscher.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung gelingt es, in Verbindung mit der Schadstoffbeseitigung gleichzeitig den überwiegenden Teil der in den Rauchgasen enthaltenen Abwärme unmittelbar für die Erwärmung des Rücklaufes eines Fernwärme- oder Heizungsnetzes zu nutzen. Der Aufwand ist gegenüber zu diesem Zweck herkömmlicherweise erforderlichen Wärmepumpen im Hinblick auf Apparate- und Antriebskosten bzw. die Ausgaben für das Kältemittel gering. Außerdem ist es mit der Erfindung möglich, das im Zusammenhang mit der Nutzung der Kondensationsenthalpie anfallende Wasserdampf-Kondensat als Speisewasser für den Wärmeerzeugungsprozeß einzusetzen.

Die vorgeschlagene Lösung hat außerdem den Vorteil, daß sich das System den äußeren, jahreszeitlich bedingten Parametern weitestgehend selbsttätig, d. h. ohne kostenaufwendigen steuerungstechnischen Aufwand, anpaßt.

Entsprechend den Rücklauftemperaturen im Heizungs- bzw. Fernwärmenetz erfolgt über den sich automatisch einstellenden Druck des Mischdampfes die Regelung einer mehr oder weniger großen Abwärmenutzung, auch in einem hohen Temperaturbereich, in dem herkömmliche, mit Freonen oder Ammoniak als Kältemittel betriebene Wärmepumpen nicht mehr funktionsfähig sind. Bei im Ausnahmefall extrem hohen Rücklauftemperaturen wird die Brennwertnutzung selbsttätig außer Betrieb gesetzt und die Anlage arbeitet in einem für die Rauchgasentschwefelung zulässigen Temperaturbereich, jedoch nur unter Abführung der fühlbaren Wärme der Rauchgase, weiter. Auch bei unterschiedlichen Temperaturverhältnissen im Heizungsnetz und demzufolge veränderter Abwärmeverwertung stellt sich selbsttätig ein Entschwefelungsgrad ein, der geringfügig um einen eingestellten Mittelwert schwankt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird in einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnung, in der die Abwärmeverwertung nach

Fig. 1: für schadstoffarme Rauchgase, beispielsweise für gasgefeuerten Wärmeerzeuger,

Fig. 2: für einen einstufigen Entschwefelungs- und Abkühlungsprozeß bei schadstoffbelasteten Abgasen und

Fig. 3: für einen zweistufigen Entschwefelungs- und Abkühlungsprozeß schematisch dargestellt ist, näher erläutert.

Aus dem Kessel 22 eines mit schwefelarmen Brennstoffen, z. B. Erdgas, geheizten Heizwerkes (Fig. 1) oder Heizkraftwerkes gelangen die in diesem Fall nicht zu entschwefelnden, schadstoffarmen Rauchgase in die Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 und von dort in den Schornstein 3. Das bei der Abkühlung sich bildende saure Kondensat vermischt sich mit dem in die Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 eingesprühten Kühlwasser und gelangt mit 60°C als abwärmeführende Flüssigkeit unter Druckminderung in der Drossel 14 in den Vakuumbehälter 4. Aus dem unteren Teil der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 werden die aus der Flüssigphase abgesonderten Gase, überwiegend CO₂, ins Freie geleitet. Der Vakuumbehälter 4 ist auf der Saugseite mit der mit Dampf aus dem Kessel 22 angetriebenen Vakuumpumpe 5 verbunden. Gleichmaßen kann der Ab- oder Anzapfdampf der Turbine 6 des Heizkraftwerkes zum Antrieb genutzt werden. In dem Vakuumbehälter 4 wird ein Vakuum erzeugt, das einer Siedetemperatur entspricht, die unter der der abwärmeführenden Flüssigkeit aus der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 liegt. Die Flüssigkeit im Vakuumbehälter 4 beginnt zu siedeln, kühlt sich dadurch auf 40°C ab und wird als Kühlwasser über die Förderpumpe 12 wieder der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 zugeführt. Ein Teil der in den Vakuumbehälter 4 geleiteten Flüssigkeit, d. h. des Kondensats aus der Rauchgasabkühlung, wird verdampft, durch die Vakuumpumpe 5 abgesaugt und mit dem Treibampf vermischt. Der erreichte Reinheitsgrad des abgesaugten Dampfes kann durch eine (nicht dargestellte) zwei- oder mehrstufige Ausführung des Vakuumbehälters 4 und der Vakuumpumpe 5 mit Zwischenkondensation des angesaugten Dampfes und/oder durch Rektifikation des Dampfes mittels in den Vakuumbehälter eingebauten Rektifikationseinrichtungen 19 weiter verbessert werden. Die Vakuumpumpe 5 ist so ausgebildet, daß das Verhältnis des Drucks in der Mischkammer zu dem des angesaugten Dampfes kleiner als 5 ist. Dieses Druckverhältnis wird nachfolgend als das kritische Druckverhältnis bezeichnet. Beispielsweise wird Antriebsdampf mit einem Druck von 1,5 MPa und einer Temperatur von 200°C mit Saugdampf von 58°C und 0,018 MPa gemischt und ein Mischdampf erzeugt, der bei 95°C und 0,085 MPa kondensiert. Der Mischdampf kondensiert im Wärmetauscher 7 und erwärmt den Heizungsrücklauf 23 von 70°C auf 90°C. Das Mischdampfkondensat gelangt über die Druckerhöhungspumpe 8 in die chemische Wasseraufbereitungsanlage 9, die thermische Wasseraufbereitungsanlage 10 und anschließend über die Speisepumpe 11 zum Kessel 22. Die Regelung des Gesamtsystems entsprechend den jahreszeitlich bedingt unterschiedlichen Rücklauftemperaturen erfolgt über den Druck des Mischdampfes, wobei sich überraschenderweise herausstellt, daß das Übertragungsverhalten des nachgeschalteten Wärmetauschers die Selbstregulierung des Gesamtsystems bewirkt. Bei einer Rücklauftemperatur von 50°C beträgt der Mischdampfdruck bei einer sich einstellenden Mischdampfkondensationstemperatur von 70°C 0,031 MPa. Da Druck und Menge des Antriebsdampfes für die Vakuumpumpe 5 etwa konstant sind, wird eine größere Dampfmenge aus dem Vakuumbehälter 4 abgesaugt. Das damit verbundene tiefere Vakuum im Vakuumbehälter 4 hat eine Senkung der Siedetemperatur im Vakuumbehälter 4 und eine noch tiefere Abkühlung des Waschwassers in der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 zur Folge. Dadurch wird mehr Wasserdampf aus den Rauchgasen kondensiert, so daß sich die Abwärmenutzung entsprechend der Wärmeübertragungsfähigkeit des Wärmetauschers 7 selbst regelt. Steigen die Rücklauftemperaturen bei sehr tiefen Außentemperaturen oder aufgrund anderer Einflüsse auf Werte um 90°C, regelt sich das System aufgrund der erfindungsgemäßen Lösung wie folgt: Da der in den Wärmetauscher 7 eingespeiste Dampf nicht oder nur unvollständig kondensiert, steigt der Druck des Mischdampfes. Dadurch wird eine geringere Dampfmenge aus dem Vakuumbehälter 4 abgesaugt und durch die demzufolge steigende Kühlwassertemperatur wird in der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 die aus den Rauchgasen kondensierte Dampfmenge und somit die Abwärmenutzung verringert. Gleichzeitig wird bei steigendem Druck im Wärmetauscher 7 die Kondensationstemperatur für den Mischdampf erhöht, so daß wieder Kondensationswärme an den Heizungsrücklauf abgegeben werden kann. Steigt die Rücklauftemperatur der Trasse und damit der Mischdruck im Extremfall so hoch, daß das beschriebene kritische Verhältnis zum Saugdruck überschritten wird, setzt die Saugwirkung der Vakuumpumpe 5 infolge des sich aufbauenden Gegendruckes aus.

Durch das damit verbundene Ausbleiben des Siedens des Kühlwassers und des Kühleffektes wird das Kühlwasser zunehmend wärmer, bis als Folgewirkung der Druck im Vakuumbehälter 4 gestiegen ist, so daß das kritische Druckverhältnis wieder unterschritten wird und die Saugwirkung der Vakuumpumpe und der Siede-prozeß auch bei höheren Temperaturen, z. B. 70°C, wieder einsetzt.

In diesem Fall wird vorwiegend die fühlbare Wärme der Rauchgase mit dem Kühlwasser abgeführt. Ein weiteres Ansteigen der Kühlwassertemperatur ist jedoch aufgrund des neu eingestellten Gleichgewichtszustandes nicht zu verzeichnen.

Dem Wärmetauscher 7 ist die Dampfvakuumpumpe 13 zugeordnet, mit der nicht kondensierbare Gase, z. B. CO₂, die aus dem Rauchgaskondensat in den Vakuumbehälter 4 und in den Wärmetauscher 7 gelangen, abgesaugt und ins Freie geleitet werden und somit die Funktion des Wärmetauschers 7 nicht stören.

In Fig. 2 ist die patentgemäße Lösung für ein mit Kohle betriebenes Heizwerk bzw. Heizkraftwerk dargestellt, dessen Kessel 22 eine Rauchgasentschwefelungseinrichtung 2 nachgeordnet ist. Da in das bei der Entschwefelung und gleichzeitigem Abkühlen der Rauchgase unter den Taupunkt gebildete Kondensat so viele Schadstoffe gelangen, daß die Wiederverwendung des Kondensats als Kesselspeisewasser ausgeschlossen ist, wird das schadstoffbelastete Kühlwasser unter Ausschaltung des Drossleffektes in Rohrschlangen 16 durch den Vakuumbehälter 4 und über die Förderpumpe 12 zurück zur Rauchgasnaßentschwefelungseinrichtung 2 geführt.

Das aus der Kondensation der Rauchgase gebildete, überschüssige Kondensat, das im erheblichen Maße mit Schadstoffen angereichert ist, wird laufend aus dem Kühl-/Waschwasser-Kreislauf ausgesondert.

Die Kondensatleitung aus dem Wärmetauscher 7 ist über die Zweigleitung 17 und über die Drossel 15 mit dem Vakuumbehälter 4 verbunden. Über die Zweigleitung 17 wird ein Teil des zum Kessel 22 als Speisewasser zurückgeführten Kondensats unter Druckminderung in den Vakuumbehälter 4 eingeleitet und dort unter Vakuum verdampft.

Das Kondensat wird vor Eintritt in den Vakuumbehälter 4 zum Wärmeaustausch mit dem Saugdampf über den Wärmetauscher 18 geführt und dadurch gekühlt. In dem Vakuumbehälter 4 siedet das Kondensat und entzieht über die Rohrschlangen 16 dabei dem Waschwasser der Rauchgasentschwefelung die Wärme. Der größere Teil des Kondensats aus dem Wärmetauscher 7 gelangt über die Druckerhöhungspumpe 8 und die Speisepumpe 11 ohne chemische Wasseraufbereitung wieder zum Heizwerk.

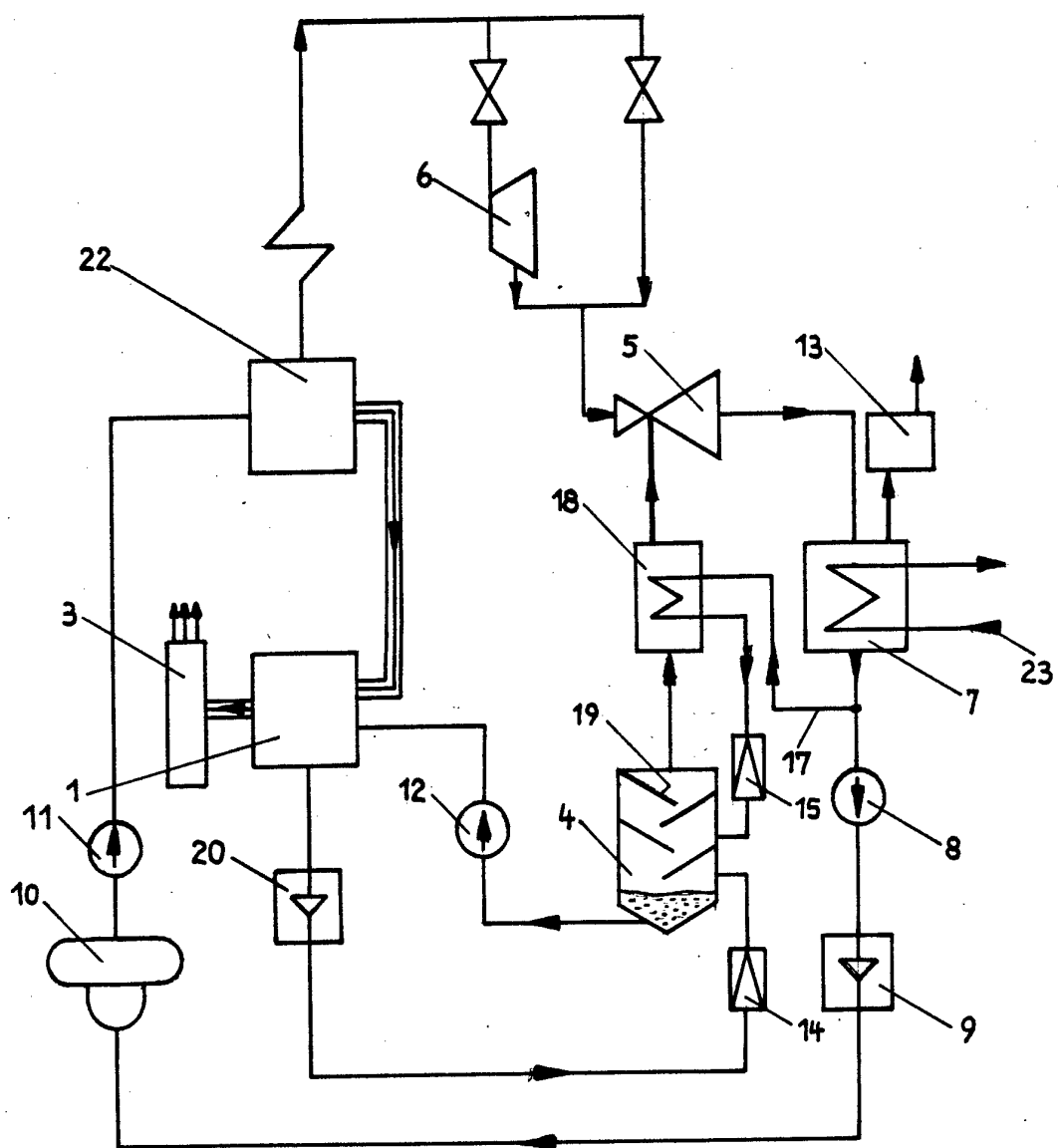
Die selbsttätige Regelung des Gesamtsystems bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen geht in der gleichen Weise vor sich, wie in dem nach Fig. 1 beschriebenen Beispiel für einen gasgefeuerten Kessel, wobei die im Extremfall bei sehr hohen Rücklauftemperaturen vorhandenen, oberhalb 63°C liegenden Temperaturen des Kühl-/Waschwassers lediglich die Abwärmenutzung der fühlbaren Wärme der Rauchgase gewährleisten, aber eine vorteilhafte Arbeitstemperatur für eine wirksame Rauchgasentschwefelung darstellen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung gemäß Fig. 3 sind zur Rauchgasentschwefelung und Rauchgasabwärmenutzung zwei getrennte Anlagen vorgesehen. In der Rauchgasnaßentschwefelungseinrichtung 2 werden die Rauchgastemperaturen von 130°C auf 65°C gesenkt und bei einer ca. 90%igen Entschwefelung wird ein Wärmegewinn von etwa 5 MW erzielt. In der nachgeordneten Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 wird das Rauchgas weiter bis auf etwa 35°C abgekühlt, wobei der in den Rauchgasen enthaltene Wasserdampf zum größten Teil kondensiert und ein zusätzlicher Wärmegewinn von ca. 15 MW erreicht wird.

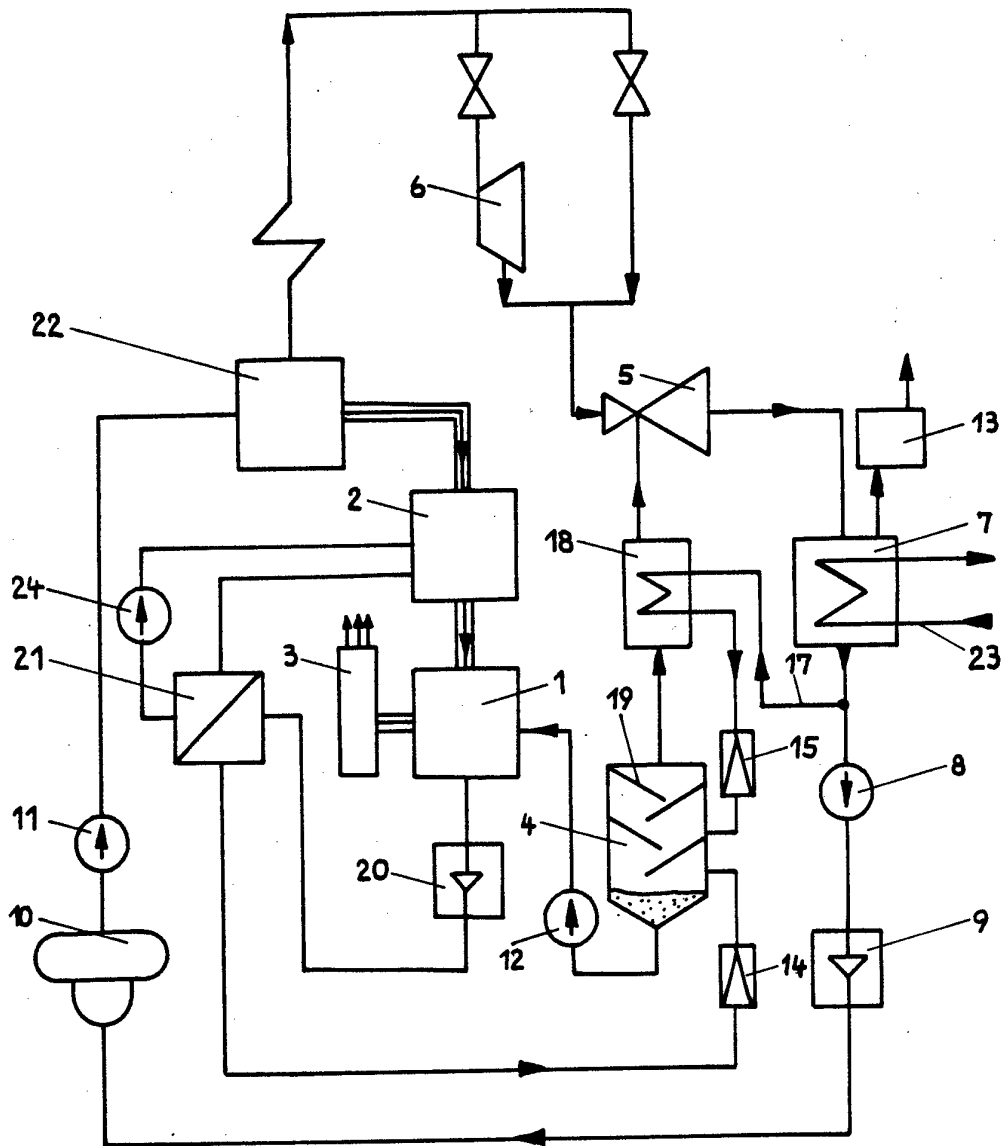
Der Rauchgasnaßentschwefelungseinrichtung 2 ist der Kühlmittelkreislauf mit der Förderpumpe 24 und der Rauchgasabkühlungseinrichtung 1 der Kühlkreislauf mit der Förderpumpe 12 und der Neutralisations- bzw. CO₂-Abscheideanlage 20 zugeordnet. Beide Kreisläufe sind wärmeseitig über einen Wärmetauscher 21 miteinander verbunden, so daß die bei der Rauchgasentschwefelung gewonnene Wärme an den zweiten Kühlkreislauf abgegeben und zusammen mit der Kondensationswärme aus der Rauchgasabkühlung bis ca. 35°C, in der bereits beschriebenen Weise über die Vakuumverdampfung als Abwärme zur Erwärmung des Rücklaufwassers der Heiztrasse genutzt wird. Die Einhaltung der erforderlichen Druckdifferenz erfolgt über die Drossel 14.

Das bei der Rauchgasabkühlung gebildete Kondensat steht für die Verdampfung im Vakuumbehälter 4 zur Verfügung und wird als Kondensat aus Saugdampf und Antriebsdampf der Vakuumpumpe 5 nach Passieren der chemischen Wasseraufbereitungsanlage 9 und der thermischen Wasseraufbereitungsanlage 10 zum Kessel 22 geführt und als zusätzliches Speisewasser genutzt.

Eventuelle Wasserverluste werden durch Zufuhr von Kondensat aus den Wärmetauschern 7 in den Vakuumbehälter 4 ausgeglichen, wobei das Kondensat über den Wärmetauscher 18 und die Drossel 15 in den Vakuumbehälter 4 geleitet wird.



Figur 1



Figur 3