



(10) **AT 514579 B1 2015-02-15**

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 816/2013  
(22) Anmeldetag: 22.10.2013  
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2015

(51) Int. Cl.: **F23J 15/06** (2006.01)  
**F23G 5/46** (2006.01)  
**B01D 53/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 2008141646 A1  
WO 2010000937 A1  
DE 3045900 A1

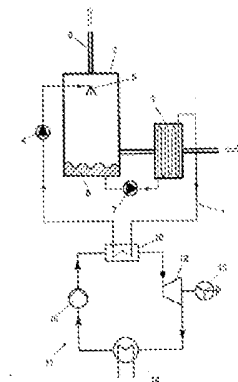
(73) Patentinhaber:  
HOLCIM TECHNOLOGY LTD  
8645 RAPPERSWIL-JONA (CH)  
ARMINES  
75272 Paris Cedex 06 (FR)

(72) Erfinder:  
Boulawz Ksayer Elias  
75013 Paris (FR)  
Clodic Denis  
91120 Palaiseau (FR)  
Herzog Urs  
5200 Brugg (CH)  
Lamare Thomas  
76063 Mansfield (US)  
Maalouf Samer  
92160 Antony (FR)  
Weimer Thomas Dr.  
71065 Sindelfingen (DE)

(74) Vertreter:  
Haffner und Keschmann Patentanwälte GmbH  
Wien

### (54) Verfahren und Vorrichtung zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen

(57) Bei einem Verfahren zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen, bei dem Abgas mit einer Temperatur von 90-130°C und einem Wassertaupunkt von 50-75°C zuerst in einem indirekten, ersten Wärmetauscher (3) auf eine über dem Taupunkt liegende Temperatur abgekühlt und das abgekühlte Abgas danach durch einen Direktkontaktkondensator (2) geleitet wird, wird das im Direktkontaktkondensator (2) entstehende Kondensat (6) gesammelt und im ersten Wärmetauscher (3) durch Wärmeaustausch mit dem Abgas erwärmt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen mit einer Temperatur von 90- 130 °C und einem Wassertaupunkt von 50-75 °C.

**[0002]** Die Erfindung betrifft weiters eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

**[0003]** In industriellen Prozessen entstehen Abgasströme auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Um die in den Abgasströmen enthaltene Wärmeenergie zu nutzen, wurden bereits verschiedene Wärmerückgewinnungsverfahren vorgeschlagen. Die Wärmegewinnung ist insbesondere bei Abgasströmen mit einer Temperatur von über 300 °C mit einem hohen wirtschaftlichen Nutzen verbunden, wobei in der Regel herkömmliche Wärmetauscher zum Einsatz gelangen, in denen eine Wärmeübertragung vom heißen Abgasstrom auf ein anderes Medium zu erreichen ist.

**[0004]** Zur Nutzung der latenten Wärme eines Abgasstromes sind weiters Verfahren zur Rauchgaskondensation vorgeschlagen worden, und zwar insbesondere bei Feuerungsanlagen, in denen feuchte Brennstoffe verfeuert werden, sodass der Abgasstrom einen entsprechend hohen Wasserdampfgehalt aufweist.

**[0005]** In einer Zementherstellungsanlage entstehen Abgasströme, deren thermische Verwertung wirtschaftlich sinnvoll erscheint. Es ist beispielsweise allgemein üblich, die Abluft des Klinkerkühlers einer Sekundärfeuerung der Zementherstellungsanlage als Tertiärluft zur Verfügung zu stellen. Weniger Beachtung wurde bisher jedoch der energetischen Nutzung von relativ feuchten Niedertemperaturabgasströmen einer Zementklinkerherstellungsanlage geschenkt. Dabei handelt es sich beispielsweise um den aus dem Rohmehlvorwärmer kommenden Abgasstrom, der nach Durchströmen der Rohmehlmühle aufgrund des Feuchtegehalts des Rohmehls bei einer Temperatur zwischen 90 und 150 °C einen Taupunkt von 50 bis 80 °C bei Umgebungsdruck aufweist. Weiters ist in diesem Zusammenhang Abluft aus einem Schlackentrocknungsaggregat zu nennen, die typischerweise eine Temperatur von 90 bis 120 °C und einen Taupunkt von 50 bis 80 °C bei Umgebungsdruck aufweist. Solche feuchten Niedertemperaturabgase besitzen nicht nur einen nutzbaren Gehalt an fühlbarer Wärme, sondern auch einen nicht unerheblichen latenten Wärmeinhalt, der rückgewonnen werden kann. Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus des Abgasstroms hängt die Wirtschaftlichkeit der Energierückgewinnung entscheidend von der Effizienz des Rückgewinnungsverfahrens ab.

**[0006]** Die Erfindung befasst sich insbesondere mit der Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen mit einer Temperatur von unter 130 °C. Unter Abgasen im Sinne der Erfindung werden nicht nur Abgase aus Verbrennungsprozessen, sondern generell Aerosole, d.h. Gemische aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und einem Gas verstanden. Unter einem Abgas wird daher beispielsweise auch Abluft verstanden, die nicht aus einem Verbrennungsprozess stammt.

**[0007]** Die vorliegende Erfindung zielt daher darauf ab, feuchte Abgase bzw. feuchte Abluft mit einer Temperatur von 90 bis 130 °C und einem Wassertaupunkt von 50 bis 75 °C (bei Umgebungsdruck gemessen) im Sinne einer Rückgewinnung des fühlbaren und des latenten Wärmeinhalts zu nutzen. Dabei sollen insbesondere Abgas- bzw. Abluftströme aus Zementklinkerherstellungsanlagen möglichst effizient genutzt werden können. Insbesondere soll eine Nutzung zur Stromerzeugung ermöglicht werden.

**[0008]** Zur Lösung dieser Aufgabe sieht die Erfindung bei einem Verfahren der eingangs genannten Art vor, dass Abgas mit einer Temperatur von 90 bis 130 °C und einem Wassertaupunkt von 50-75 °C zuerst in einem indirekten, ersten Wärmetauscher auf eine über dem Taupunkt liegende Temperatur abgekühlt und das abgekühlte Abgas danach durch einen Direktkontaktkondensator geleitet wird, wobei das im Direktkontaktkondensator entstehende Kondensat gesammelt und im ersten Wärmetauscher durch Wärmeaustausch mit dem Abgas erwärmt wird. Die Erfindung sieht somit einen zweistufigen Wärmerückgewinnungsprozess vor, bei dem in einem ersten Schritt lediglich die fühlbare Wärme des Abgasstroms in einem indirekten Wär-

metauscher genutzt wird und danach der latente Wärmeinhalt in einem Direktkontaktkondensator rückgewonnen wird. Dabei sind der indirekte Wärmetauscher und der Direktkontaktkondensator in Serie geschaltet, sodass das feuchte Abgas zuerst den indirekten Wärmetauscher und danach den Direktkontaktkondensator durchläuft. Dadurch, dass das feuchte Abgas im indirekten Wärmetauscher auf eine über dem Taupunkt liegende Temperatur abgekühlt wird, wird eine Kondensation und die damit verbundenen Korrosionsprobleme vermieden. Erst im Direktkontaktkondensator wird das feuchte Abgas auf eine Temperatur unter dem Taupunkt abgekühlt, sodass es zu einer Kondensation des im Abgas enthaltenen Wassergehalts kommt und die entsprechende Kondensationswärme in der Folge genutzt werden kann.

**[0009]** Unter einem Direktkontaktkondensator wird dabei ein Kondensationsaggregat verstanden, bei dem ein Kühlmedium in direkten Kontakt mit dem Abgas kommt. Das Kühlmedium wird hierbei in der Regel in eine von dem Abgas durchströmte Kammer gesprüht, sodass eine überaus große Oberfläche für die Wärmeübertragung zur Verfügung steht. Das Einsprühen des Kühlmediums erfolgt in der Regel am oberen Ende der Kammer, wobei das Abgas am gegenüberliegenden unteren Ende eingeleitet wird und die Kammer in der Regel von unten nach oben durchströmt. Das im Direktkontaktkondensator entstehende Kondensat wird am Boden der Kammer gesammelt und abgeleitet.

**[0010]** Das Kühlmedium kommt bevorzugt als Wasser mit einer Temperatur unterhalb des Wassertaupunkts des Abgases zum Einsatz. Das sich im Kondensator ansammelnde Kondensat hat aufgrund der Kondensationswärme eine gegenüber dem beim Einsprühen herrschenden Anfangszustand höhere Temperatur.

**[0011]** Erfindungsgemäß wird das im Direktkontaktkondensator entstehende Kondensat als Kühlmedium für den ersten Wärmetauscher verwendet, in dem es unter Abkühlung des Abgases weiter erwärmt wird.

**[0012]** Der Wärmetauscher ist als indirekter Wärmetauscher ausgebildet, um einen direkten Kontakt zwischen dem Kühlmedium und dem Abgasstrom zu vermeiden. Die beiden Stoffströme sind somit räumlich durch wenigstens eine wärmedurchlässige Wand getrennt. Der indirekte Wärmetauscher wird dabei bevorzugt im Gegenstrom vom Abgas und dem Kühlmedium durchströmt. Der indirekte Wärmetauscher kann bevorzugt als Plattenwärmetauscher, Spiralwärmetauscher oder als Rohrwärmetauscher ausgebildet sein.

**[0013]** Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass im Direktkontaktkondensator und im indirekten Wärmetauscher dasselbe Kühlmedium zum Einsatz gelangt, um den fühlbaren bzw. den latenten Wärmeinhalt des Abgases abzuziehen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass der Direktkontaktkondensator gleichzeitig als Abgaswäscher genutzt werden kann.

**[0014]** Insgesamt gelingt es, eine größtmögliche Enthalpie, d.h. die größtmögliche Energie bei einem größtmöglichen Temperaturniveau eines feuchten Abgasstromes zu nutzen.

**[0015]** Bevorzugt wird das Verfahren so durchgeführt, dass das im ersten Wärmetauscher erwärmte Kondensat auf eine unter dem Wassertaupunkt des Abgases liegende Temperatur gekühlt und danach dem Direktkontaktkondensator als Kühlmedium zugeführt, insbesondere in diesen eingesprüht wird. Dadurch kann das Kühlmedium im Kreislauf geführt werden. Das aus dem indirekten Wärmetauscher kommende Kühlmedium, insbesondere Wasser, weist bevorzugt eine Temperatur von 70 bis 95 °C auf. Der Wärmeinhalt des Kühlmediums kann dabei in verschiedenster Art und Weise genutzt werden. Aufgrund des relativ niedrigen Temperaturniveaus des Kühlmediums ist eine unmittelbare Verwendung des Kühlmediums zur Stromerzeugung jedoch nicht ohne weiteres möglich. Eine bevorzugte Weiterbildung sieht daher vor, dass die Kühlung des erwärmten Kondensats in einem zweiten Wärmetauscher erfolgt, in dem ein Arbeitsmedium eines thermodynamischen Kreisprozesses verdampft wird. Bevorzugt ist der thermodynamischen Kreisprozess als Rankine Gasturbinenprozess ausgebildet, sodass in einfacher Art und Weise eine Umwandlung des thermischen Energieinhalts des Kühlmediums in mechanische Energie und in weiterer Folge in elektrische Energie gelingt. Um dem niedrigen Temperaturniveau des Kühlmediums Rechnung zu tragen, ist eine Ausbildung des thermody-

namischen Kreisprozesses als Organic Rankine Cycle besonders bevorzugt. Dieser thermodynamische Kreisprozess zeichnet sich dadurch aus, dass ein anderes Arbeitsmedium als Wasserdampf zum Einsatz gelangt. Das Organic Rankine Cycle (ORC)-Verfahren kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke zu niedrig für den Betrieb einer von Wasserdampf angetriebenen Turbine ist. Mögliche Arbeitsmedien sind beispielsweise Ammoniak, R12, HFC-245fa, HFC-245ca, R11 oder HFC-236fa oder Gemische davon.

**[0016]** Wie bereits erwähnt, eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren besonders zur Rückgewinnung von Energie aus dem Abgas aus einer Rohmehlmühle einer Zementherstellungsanlage oder von Abluft aus einem Schlackentrocknungsaggregat einer Zementherstellungsanlage.

**[0017]** Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen, umfassend einen indirekten, ersten Wärmetauscher, dem Abgas über eine Zuleitung zuführbar und von dem gekühltes Abgas über eine Ableitung abführbar ist, und einen Direktkontaktkondensator, dem das gekühlte Abgas aus dem ersten Wärmetauscher zuführbar ist und der eine Sprüheinrichtung zum Versprühen von Kühlmedium und eine Kondensatleitung zum Abführen des entstehenden Kondensats aufweist, wobei das Kondensat dem ersten Wärmetauscher über die Kondensatleitung als Kühlmedium zum Abkühlen des Abgases zuführbar ist.

**[0018]** Bevorzugt ist vorgesehen, dass eine Rückführungsleitung zum Rückführen des Kondensats aus dem ersten Wärmetauscher zur Sprüheinrichtung des Direktkontaktkondensators vorgesehen ist. Insbesondere kann die Rückführungsleitung durch einen zweiten Wärmetauscher führen, wobei der zweite Wärmetauscher zum Kühlen des im ersten Wärmetauscher erwärmten Kondensats auf eine unter dem Wassertaupunkt des Abgases liegende Temperatur vorgesehen ist.

**[0019]** Bevorzugt ist weiters vorgesehen, dass eine Anlage zur Durchführung eines thermodynamischen Kreisprozesses vorgesehen ist, die den zweiten Wärmetauscher zum Verdampfen eines Arbeitsmediums des thermodynamischen Kreisprozesses umfasst.

**[0020]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In dieser ist mit 1 ein Wasserkreislauf als Kühlmittelkreislauf für den Direktkontaktkondensator 2 und den indirekten Wärmetauscher 3 bezeichnet. Das im Kühlkreislauf befindliche Kühlwasser wird mittels einer Pumpe 4 dem Direktkontaktkondensator 2 zugeleitet und im Inneren des Direktkontaktkondensators 2 mittels einer Sprüheinrichtung 5 versprüht. Das sich am Boden des Direktkontaktkondensators 2 ansammelnde Kondensat 6 wird mittels einer Pumpe 7 dem indirekten Wärmetauscher 3, der bevorzugt als Röhrenwärmetauscher ausgebildet ist, als Kühlmedium zugeleitet. Das feuchte Abgas wird entsprechend dem Pfeil 8 bei einer Temperatur zwischen 90 und 130 °C zugeführt und durchläuft zuerst den indirekten Wärmetauscher 3, in dem die Temperatur im Gegenstrom zum Kühlwasser durchströmt und auf eine Temperatur von beispielsweise 70 °C, jedoch oberhalb des Wassertaupunkts des Abgases unter Erwärmung des Kühlwassers erwärmt wird. Das erwärmte Abgas wird danach in den Direktkontaktkondensator 2 geleitet und durchläuft diesen von unten nach oben, wobei es den Direktkontaktkondensator 2 über die Austragsleitung 9 verlässt. Im Direktkontaktkondensator 2 tritt das erwärmte Abgas mit dem versprühten Kühlwasser in Kontakt, wobei der im Abgas enthaltene Wasserdampf unter Erwärmung des Kühlwassers kondensiert. Gegebenenfalls können im Direktkontaktkondensator 2 Schwefel, Chlor, Staub und andere Feststoffe vom Abgas abgetrennt werden.

**[0021]** Der Kühlmittelkreislauf 1 umfasst weiters einen Wärmetauscher 10, der in einen thermodynamischen Kreisprozess 11 integriert ist. Der Wärmetauscher 10 dient dabei dazu, das im thermodynamischen Kreisprozess 11 enthaltene Arbeitsmedium zu verdampfen, wobei dem Kühlwasser soviel Wärme entzogen wird, dass es dem Direktkontaktkondensator 2 mit einer unterhalb des Taupunkts des Abgases liegenden Temperatur zugeführt wird.

**[0022]** Der thermodynamische Kreisprozess 11 ist beispielsweise als Organic Rankine Cycle

(ORC) ausgebildet, wobei als Arbeitsmedium beispielsweise HFC-245fa gewählt ist. Das Arbeitsmedium wird im Wärmetauscher 10 verdampft und in der Dampfturbine 12 entspannt, wobei die entstehende mechanische Energie in einem elektrischen Generator 13 in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Der Kondensator des Kreisprozesses 11 ist mit 14 bezeichnet.

**[0023]** Das im Kondensator 14 verflüssigte Arbeitsmedium wird danach im Verdichter 15 komprimiert.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen, bei dem Abgas mit einer Temperatur von 90-130°C und einem Wassertaupunkt von 50-75°C zuerst in einem indirekten, ersten Wärmetauscher (3) auf eine über dem Taupunkt liegende Temperatur abgekühlt und das abgekühlte Abgas danach durch einen Direktkontaktkondensator (2) geleitet wird, wobei das im Direktkontaktkondensator (2) entstehende Kondensat (6) gesammelt und im ersten Wärmetauscher (3) durch Wärmeaustausch mit dem Abgas erwärmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das im ersten Wärmetauscher (3) erwärmte Kondensat (6) auf eine unter dem Wassertaupunkt des Abgases liegende Temperatur gekühlt und danach dem Direktkontaktkondensator (2) als Kühlmedium zugeführt, insbesondere in diesen eingesprüht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kühlung des erwärmten Kondensats (6) in einem zweiten Wärmetauscher (10) erfolgt, in dem ein Arbeitsmedium eines thermodynamischen Kreisprozesses (11) verdampft wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermodynamische Kreisprozess (11) als Gasturbinenprozess ausgebildet ist.
5. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermodynamische Kreisprozess (11) als Organic Rankine Cycle ausgebildet ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abgas einer Zementherstellungsanlage als feuchtes Abgas eingesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abgas aus einer Rohmehlmühle einer Zementherstellungsanlage als feuchtes Abgas eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Abluft aus einem Schlackentrocknungsaggregat einer Zementherstellungsanlage als feuchtes Abgas eingesetzt wird.
9. Vorrichtung zur Rückgewinnung von Energie aus feuchten Abgasen, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, umfassend einen indirekten, ersten Wärmetauscher (3), dem Abgas über eine Zuleitung zuführbar und von dem gekühltes Abgas über eine Ableitung abführbar ist, und einen Direktkontaktkondensator (2), dem das gekühlte Abgas aus dem ersten Wärmetauscher (3) zuführbar ist und der eine Sprüheinrichtung (5) zum Versprühen von Kühlmedium und eine Kondensatleitung zum Abführen des entstehenden Kondensats (6) aufweist, wobei das Kondensat (6) dem ersten Wärmetauscher (3) über die Kondensatleitung als Kühlmedium zum Abkühlen des Abgases zuführbar ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Rückführungsleitung zum Rückführen des Kondensats (6) aus dem ersten Wärmetauscher (3) zur Sprüheinrichtung (5) des Direktkontaktkondensators (2) vorgesehen ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rückführungsleitung durch einen zweiten Wärmetauscher (10) führt, wobei der zweite Wärmetauscher zum Kühlen des im ersten Wärmetauscher (3) erwärmten Kondensats (6) auf eine unter dem Wassertaupunkt des Abgases liegende Temperatur vorgesehen ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Anlage zur Durchführung eines thermodynamischen Kreisprozesses (11) vorgesehen ist, die den zweiten Wärmetauscher (10) zum Verdampfen eines Arbeitsmediums des thermodynamischen Kreisprozesses (11) umfasst.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermodynamische Kreisprozess (11) als Gasturbinenprozess ausgebildet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermodynamische Kreisprozess (11) als Organic Rankine Cycle ausgebildet ist.

**Hierzu 1 Blatt Zeichnungen**

