



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

- (43)

Veröffentlichungstag:
13.11.2024 Patentblatt 2024/46
- (51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):
D21F 5/20 (2006.01) D21F 5/02 (2006.01)
- (21)

Anmeldenummer: 24171863.4
- (52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
D21F 5/20; D21F 5/027
- (22)

Anmeldetag: 23.04.2024

- (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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
GE KH MA MD TN
- (72)

Erfinder:
• SCHNEIDER, Toma
01219 Dresden (DE)
• ARNDT, Tiemo
01796 Pirna Graupa (DE)
- (74)

Vertreter: Wittmann, Ernst-Ulrich
Withers & Rogers LLP
Kaulbachstrasse 114
80802 München (DE)
- (30)

Priorität: 04.05.2023 DE 102023111611
- (71)

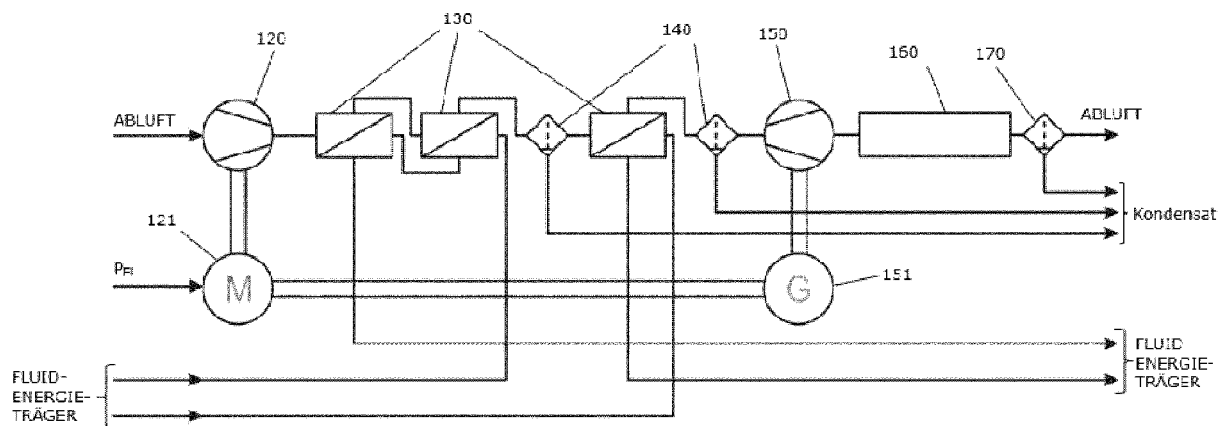
Anmelder: Papiertechnische Stiftung
01809 Heidenau (DE)

(54)

WÄRMERÜCKGEWINNUNGSVORRICHTUNG UND -VERFAHREN

- (57)

Eine Wärmerückgewinnungsvorrichtung für eine Trocknungsanlage wird bereitgestellt. Die Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst eine Abzugseinrichtung zum Abführen von feuchter Abluft, die Feuchtigkeit aus einem zu trocknenden Gegenstand aufgenommen hat, einen Verdichter, der eingerichtet ist, die von der Abzugseinrichtung abgeführte Abluft auf ein bestimmtes Druckniveau adiabatisch zu verdichten, eine Wärmeübertragungseinrichtung, mittels der Wärme von der Abluft auf einen Fluid-Energieträger übertragbar ist, eine erste Fluid-Abscheideeinrichtung, die eingerichtet ist, ein
- von der verdichteten Abluft bei der Wärmeübertragung in der Wärmeübertragungseinrichtung abgeschiedenes Kondensat abzuführen, einen Expander, der eingerichtet ist, die Abluft unter Verrichtung von mechanischer Arbeit adiabatisch zu expandieren und die von der Abluft verrichtete mechanische Arbeit abzugeben, und eine Kondensationseinrichtung sowie eine zweite Fluid-Abscheideeinrichtung, die eingerichtet ist, die Abluft abzugeben und ein beim Expandieren der Abluft abgeschiedenes Kondensat abzuführen.



FIGUR 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmerückgewinnungsvorrichtung und ein Wärmerückgewinnungsverfahren. Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung eine Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung, ein Trocknungsverfahren mit den Schritten des Wärmerückgewinnungsverfahrens, eine Papiermaschine mit der Trocknungsanlage und ein Papierherstellungsverfahren mit den Schritten des Trocknungsverfahrens.

Stand der Technik

[0002] Wärmerückgewinnungsvorrichtungen und Wärmerückgewinnungsverfahren finden im Stand der Technik ein breites Anwendungsspektrum, um den Verbrauch von Energie und damit verbundene CO₂-Emissionen zu reduzieren. Beispielsweise wird bei herkömmlichen Trocknungsanlagen und Trocknungsverfahren für die Papierproduktion eine feuchte Papierbahn über mit Dampf beheizte Walzen geführt. Über den Walzen und der Papierbahn ist eine Abzugshaube angebracht, welche mit Hilfe von aufgeheizter Luft den aus der Papierbahn austretenden Wasserdampf abführt. Die von der Abzugshaube abgeführte Abluft hat beispielsweise eine Temperatur von etwa 85°C und eine Dampfbeladung von circa 15%. Die von der Papierbahn überwiegend stoffgebundene (d.h. in Form von Wasserdampf) abgegebene Wärme wird in der Abluft durch Anstieg der Potentialgröße Temperatur und/oder durch Übergang in einen energetisch höheren Aggregatzustand (z.B. Phasenwechsel von Wasser zu Dampf) gespeichert. Die Rückgewinnung der in der Abluft gespeicherten Wärme auf der Grundlage von Temperaturpotentialen ist bei der Papierproduktion bekannt, wobei das Maß der Rückgewinnung aufgrund der vorgegebenen Potentiale der Temperatursenken in der Papierproduktion und dem vorgegebenen Bauraum begrenzt wird. Bei der Wärmerückgewinnung aus der Verdampfungsenergie sinkt die Temperatur der Abluft unterhalb des Taupunkts, wodurch partiell Wasserdampf rekondensiert und der Taupunkt sinkt. Die Temperaturen der Senken bei der bisherigen Papierherstellung sind jedoch zu hoch, um den Großteil der Verdampfungswärme zurückzugewinnen. Damit gibt es bei der Papierproduktion ein Überangebot an thermischer Energie mit geringer Exergie, die in Ermangelung an prozessintegrierten Senken an die Umwelt abgegeben wird. Beispielsweise wird bei der herkömmlichen Papierproduktion pro kg hergestelltem Papier mehr als 1 kg Wasser verdampft und an die Umgebung abgegeben. Die zum Verdampfen aufgewendete Energie entspricht mehr als der Hälfte der gesamten erforderlichen Prozessaufwendungen. Um den Energieverbrauch und damit die CO₂-Emissionen bei der Papierproduktion und anderen energieintensiven Prozessen zu senken, ist es so-

mit unumgänglich, die zum Verdampfen aufgewendete Energie über eine geeignete Wärmerückgewinnungsvorrichtung und ein geeignetes Wärmerückgewinnungsverfahren zurückzugewinnen und wiederzuverwenden.

Von der Erfindung zu lösende technische Aufgabe

[0003] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Wärmerückgewinnungsvorrichtung und ein entsprechendes Wärmerückgewinnungsverfahren bereitzustellen, die eine effiziente Wärmerückgewinnung aus mit Wasserdampf beladener Luft bieten.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Wärmerückgewinnungsvorrichtung mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Ein entsprechendes Wärmerückgewinnungsverfahren ist im Anspruch 16 definiert. Eine erfindungsgemäße Trocknungsanlage ist Gegenstand des Anspruchs 6. Ein entsprechendes Trocknungsverfahren ist im Anspruch 21 definiert. Eine erfindungsgemäße Papiermaschine ist Gegenstand des Anspruchs 14. Ein entsprechendes Papierherstellungsverfahren ist im Anspruch 22 definiert.

[0005] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

[0006] Die erfindungsgemäße Wärmerückgewinnungsvorrichtung umfasst einen Verdichter, der die von einer Abzugseinrichtung abgeführte feuchte Abluft adiabatisch verdichtet und damit den Taupunkt des enthaltenen Wasserdampfes zu höheren Temperaturen verschiebt. Durch das adiabatische Verdichten wird das Temperaturniveau der feuchten Abluft derart angehoben, dass eine direkte Wärmeübertragung mittels einer Wärmeübertragungseinrichtung an einen Fluid-Energieträger möglich ist. Des Weiteren wird bei der Abkühlung der Abluft in der Wärmeübertragungseinrichtung der Taupunkt der verdichteten Abluft unterschritten, wodurch Verdampfungswärme zurückgewonnen werden kann und Kondensat in Form von heißem Prozesswasser gebildet wird, das von einer ersten Fluid-Abscheideeinrichtung abgeführt wird. Des Weiteren ist ein Expander vorgesehen, der unter Verrichtung von mechanischer Arbeit die abgekühlte verdichtete Abluft adiabatisch expandiert. Durch die adiabatische Expansion sinkt die Temperatur der Abluft weiter, wodurch weiterer Dampf rekondensiert. Durch die Kondensation kann die Temperatur auf etwa die Umgebungstemperatur stabilisiert werden. Mittels einer Kondensationseinrichtung und einer zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung wird das abgeschiedene Kondensat abgeführt und die Abluft abgegeben. Das abgeschiedene Kondensat kann als Prozesswasser wieder zur Verfügung gestellt werden.

[0007] Durch die erfindungsgemäße Wärmerückgewinnungsvorrichtung erfolgt eine effiziente Wärmerückgewinnung aus mit Wasserdampf beladener Luft. Dadurch kann die Abgabe von dampfförmigem Wasser und

warmer Luft an die Umgebung weitestgehend verhindert werden.

[0008] Vorzugsweise wird die Abluft nach der Kondensationseinrichtung und der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung an die Umgebung abgegeben. Durch die Abgabe der Abluft mit vergleichbarem thermischem Energiegehalt zur Frischluft an die Umgebung, kann die Problematik der Anreicherung mit Fremd- und Störstoffen umgangen werden.

[0009] Alternativ kann vorzugsweise die von der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung abgegebene Abluft der Wärmeübertragungseinrichtung als Fluid-Energieträger zugeführt werden. Dadurch kann die Abluft in der Wärmeübertragungseinrichtung erwärmt werden und als Heißluft wieder als Prozessgas verwendet werden. Somit kann die Abluft im Kreislauf geführt werden und Wärmeverluste können weiter reduziert werden.

[0010] Vorzugsweise wird die von dem Expander abgegebene Arbeit an den Verdichter übertragen. Somit kann die von dem Verdichter für die adiabate Kompression benötigte mechanische Arbeit anteilig während der Expansion in dem Expander zurückgewonnen werden. Dadurch kann der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsvorrichtung verbessert werden.

[0011] Vorzugsweise wird die Abluft von dem Verdichter auf ein Druckniveau im Bereich von 1 bar bis 10 bar Absolut-Druck, bevorzugt im Bereich von 3 bar bis 8 bar Absolut-Druck und noch bevorzugter im Bereich von 4 bar bis 6 bar Absolut-Druck adiabatisch verdichtet. Durch die adiabatische Verdichtung der Abluft auf einen Absolut-Druck, der in den oben angegebenen Bereichen liegt, wird eine direkte Wärmeübertragung von der Abluft an einen Fluid-Energieträger ermöglicht.

[0012] Die erfindungsgemäße Trocknungsanlage umfasst die erfindungsgemäße Wärmerückgewinnungsvorrichtung und eine Trocknungseinrichtung, die den zu trocknenden Gegenstand mittels Wärmeübertragung von dem Fluid-Energieträger auf den zu trocknenden Gegenstand trocknet. Somit erfolgt eine Trocknung durch den Fluid-Energieträger, auf den in der Wärmerückgewinnungsvorrichtung Wärme von der adiabatisch verdichteten Abluft übertragen wird. Folglich kann die in der Wärmerückgewinnungsvorrichtung zurückgewonnene Wärme für den Trocknungsvorgang in der Trocknungseinrichtung wiederverwendet werden. Dadurch kann ein erheblicher Anteil von benötigter Primärenergie für das Trocknungsverfahren in der Trocknungsanlage eingespart werden.

[0013] Vorzugsweise umfasst die Abzugseinrichtung der Wärmerückgewinnungsvorrichtung mehrere Düsen zum Abführen der feuchten Abluft und umfasst die Trocknungseinrichtung mehrere Düsen zum Zuführen des Fluid-Energieträgers. Die Düsen der Abzugseinrichtung und die Düsen der Trocknungseinrichtung sind nebeneinander angeordnet. Durch diese Anordnung der Düsen kann der Fluid-Energieträger weit in die, den zu trocknenden Gegenstand überdeckende, laminare Grenzschicht eindringen und eine effiziente Trocknung erreicht werden.

Des Weiteren können so Leckage-Strömungen und ein erforderlicher Bauraum reduziert werden.

[0014] Weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung sind aus der nachfolgenden ausführlichen Beschreibung einer Ausführungsform und den angefügten Zeichnungen ersichtlich.

[0015] Die oben angeführten und im weiteren Text beschriebenen adiabaten Zustandsänderungen (z.B. "adiabate Verdichtung" und "adiabate Expansion") umfassen und betreffen auch im Wesentlichen adiabate Zustandsänderung, die für den Fachmann technisch ausführbar sind.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016]

Figur 1 ist ein schematisches Funktionsdiagramm einer Ausführungsform der Wärmerückgewinnungsvorrichtung für eine Trocknungsanlage gemäß der vorliegenden Erfindung.

Figur 2 ist ein schematisches Funktionsdiagramm einer Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung von Figur 1 gemäß einer ersten Ausführungsform.

Figur 3 ist ein schematisches Funktionsdiagramm einer Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung von Figur 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform.

Beschreibung von mindestens einer beispielhaften Ausführungsform der Erfindung

Wärmerückgewinnungsvorrichtung

[0017] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf Figur 1 eine beispielhafte Ausführungsform der Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 für eine Trocknungsanlage gemäß der vorliegenden Erfindung beschrieben.

[0018] Figur 1 zeigt ein schematisches Funktionsdiagramm der Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 für eine Trocknungsanlage. Die Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 umfasst eine Abzugseinrichtung 110 (in Figur 1 nicht gezeigt), die feuchte Abluft von einer Trocknungseinrichtung 200 der Trocknungsanlage abführt. Die feuchte Abluft enthält Feuchtigkeit (in Form von Wasserdampf), die in der Trocknungseinrichtung 200 von einem zu trocknenden Gegenstand aufgenommen wird.

[0019] Die feuchte Abluft wird einem Verdichter 120 zugeführt. Der Verdichter 120 wird von einem Motor 121 angetrieben, der beispielsweise mit elektrischer Energie betrieben wird. In dem Verdichter 120 wird die feuchte Abluft adiabatisch verdichtet. Beispielsweise wird die feuchte Abluft auf ein Druckniveau im Bereich von 2 bis 5 bar Überdruck (d.h. 3 bis 6 bar Absolut-Druck) adiabatisch verdichtet. Dadurch wird die adiabatisch verdichtete Abluft auf

mindestens 250°C erhitzt. Bedarfsweise kann dem Verdichter 120 ein Partikelfilter vorgeschaltet werden, der in der Abluft enthaltene, maschinenschädigende Fremd- und Störstoffe herausfiltert.

[0020] Die adiabat verdichtete Abluft wird anschließend einer Wärmeübertragungseinrichtung 130 zugeführt. Die Wärmeübertragungseinrichtung 130 umfasst beispielsweise eine Plattenwärmetauscher-Kaskade, die einen mehrteiligen Gas-Gas-Wärmetauscher oder Wärmetauscher für unterschiedliche Gas-Fluid-Gemische aufweist. In der Wärmeübertragungseinrichtung 130 wird von der Abluft Wärme an einen oder mehrere Fluid-Energieträger mit Wärmebedarf übertragen. Beispielsweise können in einer ersten Hochtemperatur-Wärmetauscher-Kaskade durch die Wärmeübertragung von der Abluft an einen entsprechenden Fluid-Energieträger Sattedampf (z.B. für Trocknungswalzen bei der Papierherstellung), Heißdampf (z.B. für Yankee-Hauben bei der Papierherstellung) und Heißluft erzeugt werden.

[0021] Dadurch wird die verdichtete Abluft beispielsweise auf etwa 95°C abgekühlt. Nach der Nutzung der Hochtemperaturwärme kann in einer Niedertemperatur-Wärmetauscher-Kaskade eine weitere Abkühlung der Abluft durch Wärmeübertragung an einen weiteren Fluid-Energieträger wie beispielsweise Prozesswasser erfolgen.

[0022] Durch eine kontinuierliche Betriebsweise erfolgt die Abkühlung der Abluft in der Wärmeübertragungseinrichtung 130 nahezu isobar. Dabei rekondensiert gegen Ende des Abkühlungsprozesses ein Teil des in der Abluft enthaltenden Dampfes und wird als Kondensat mittels einer ersten Fluid-Abscheideeinrichtung 140 ausgeschleust. Die erste Fluid-Abscheideeinrichtung kann mehrere Einheiten umfassen, die zweckmäßig je nach Anfall von Kondensat vorgesehen werden können und so unterschiedliche Kondensat-Temperaturniveaus nutzbar machen. Die Kondensattemperatur entspricht etwa der Temperatur des zuvor zugeführten, zu erwärmenden Fluid-Energieträgers und kann als Prozesswasser (beispielsweise bei der Papierherstellung) wiederverwendet werden.

[0023] Nachfolgend wird die in der Wärmeübertragungseinrichtung 130 vorgekühlte Abluft über einen mechanischen Expander 150 auf Umgebungsdruck entspannt. Dabei wird die im Expander 150 verrichtete Volumenarbeit anteilig in mechanische Energie gewandelt und treibt einen Generator 151 an, der elektrische Energie erzeugt. Die erzeugte elektrische Energie wird dem Motor 121 zugeführt, der den Verdichter 120 antreibt. Somit kann mindestens ein Teil der zum Antrieb des Verdichters 120 benötigten Energie durch die im Expander 150 verrichtete Volumenarbeit aus der Abluft zurückgewonnen werden.

[0024] Alternativ kann eine Rotationswelle bzw. Abtriebswelle des Expanders 150 auch direkt mit einer Rotationswelle bzw. Antriebswelle des Verdichters 120 gekoppelt werden und so die von der Abluft verrichtete Volumenarbeit anteilig als mechanische Energie zum An-

trieb des Verdichters 120 verwendet werden. Der Motor 121 muss dann eine entsprechend geringere Antriebsleistung für den Verdichter 120 bereitstellen.

[0025] Beim anteilig adiabaten Entspannen der Abluft im Expander 150 kühlt diese theoretisch unter den Gefrierpunkt ab. Durch die Abkühlung rekondensiert jedoch weiterer Dampf, was die Temperatur der Abluft auf etwa Umgebungstemperatur stabilisiert.

[0026] Das Kondensat wird von einer geeigneten Kondensationseinrichtung 160 zum Bilden von Mikrotröpfchen veranlasst und mit einer zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung 170 ausgeschleust.

[0027] Bedarfsweise kann im Falle einer Nebelbildung in der Kondensationseinrichtung 160, unterstützt durch die Partikelbeladung der Abluft, ein Abtrennen von Fremd- und Störstoffen mit der flüssigen dispersen Phase durch Einsatz der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung 170 erfolgen.

[0028] Die Abluft wird nach der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung 170 bei etwa Umgebungstemperatur und 100% relativer Feuchte abgegeben. Wird jedoch am Ende der Wärmeübertragungseinrichtung 130 ein aufzuwärmender Fluidenergieträger mit Umgebungstemperatur zugeführt, so kann die Ablufttemperatur am Prozessausgang unterhalb des Gefrierpunktes absinken.

Erste Ausführungsform einer Trocknungsanlage

[0029] Unter Bezugnahme auf Figur 2 wird eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Trocknungsanlage mit der oben erläuterten Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 beschrieben.

[0030] Figur 2 zeigt ein schematisches Funktionsdiagramm einer Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 von Figur 1 gemäß der ersten Ausführungsform. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Trocknungsanlage am Beispiel einer Trocknungsanlage für die Papierherstellung beschrieben. Die Trocknung der feuchten Papierbahn (zu trocknender Gegenstand) erfolgt über mit Sattedampf beheizte Walzen.

[0031] Wie in Figur 2 gezeigt ist, umfasst die Trocknungsanlage eine Trocknungseinrichtung 200 und die Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100. Die Trocknungseinrichtung 200 umfasst eine Trockenpartie 210 mit mehreren Trockenwalzen. Eine feuchte Papierbahn wird über die Außenumfangsflächen der Trockenwalzen mäanderförmig geführt. Die Trockenwalzen werden von Innen mit Sattedampf beheizt. Das durch das Abkühlen des Sattedampfes im Inneren der Trockenwalzen entstehende Kondensat wird abgeführt.

[0032] Über der Trockenpartie 210 ist die Abzugseinrichtung 110 der Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 angeordnet. Der Trockenpartie 210 wird erwärmte Luft zugeführt, die Feuchtigkeit aus der feuchten Papierbahn aufnimmt. Die Abzugseinrichtung 110 führt die Luft, die Feuchtigkeit aus der feuchten Papierbahn aufgenommen hat, als die Abluft ab.

[0033] Frischluft wird der Wärmeübertragungseinrich-

tung 130 bzw. einem zweiten Plattenwärmetauscher der Wärmeübertragungseinrichtung 130 als ein erster Fluid-Energieträger zugeführt. Die Frischluft nimmt Wärme von der adiabat verdichteten Abluft auf und wird der Trockenpartie 210 als die erwärmte Luft zugeführt, die Feuchtigkeit aus der feuchten Papierbahn aufnimmt.

[0034] Des Weiteren wird der Wärmeübertragungseinrichtung 130 bzw. einem ersten Plattenwärmetauscher der Wärmeübertragungseinrichtung 130 das aus den Trockenwalzen abgeführte Kondensat als ein zweiter Fluid-Energieträger zugeführt. Das Kondensat nimmt in der Wärmeübertragungseinrichtung 130 Wärme von der adiabat verdichteten Abluft auf und verdampft wieder. Das dampfförmige Kondensat wird den Trockenwalzen wieder als Sattdampf zugeführt.

[0035] Vorzugsweise erfolgt die Wärmeübertragung von der adiabat verdichteten Abluft auf das aus den Trockenwalzen abgeführte Kondensat in der Wärmeübertragungseinrichtung 130 bei Unterdruck. Dies wird beispielsweise durch eine Drossel 230 oder eine Expansionsdüse im Verbindungspfad von der Trockenpartie 210 zu der Wärmeübertragungseinrichtung 130 und einen Verdichter 220 im Verbindungspfad von der Wärmeübertragungseinrichtung 130 zu der Trockenpartie 210 erreicht.

[0036] Des Weiteren erfolgt die Wärmeübertragung im Inneren der Trockenwalze von dem Sattdampf auf die Trockenwalze (bzw. auf die feuchte Papierbahn) bei Überdruck im Bereich von 4 bis 7 bar Absolut-Druck. Dies wird beispielsweise durch den Verdichter 220 im Verbindungspfad von der Wärmeübertragungseinrichtung 130 zu der Trockenpartie 210 erreicht.

[0037] Über einen weiteren Plattenwärmetauscher der Wärmeübertragungseinrichtung 130 kann bei Bedarf noch ein weiteres Medium mit Energiebedarf, das bei der Papierherstellung benötigt wird, erwärmt werden.

[0038] Das von der ersten Fluid-Abscheideeinrichtung 140 ausgeschleuste Kondensat kann als heißes Prozesswasser bei der Papierherstellung (beispielsweise zur Siebrekonditionierung oder zum Auflösen des Faserrohstoffes) verwendet werden.

Zweite Ausführungsform einer Trocknungsanlage

[0039] Unter Bezugnahme auf Figur 3 wird eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Trocknungsanlage mit der oben erläuterten Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 beschrieben. Nachfolgend werden nur die Unterschiede zur oben beschriebenen ersten Ausführungsform ausführlich erläutert.

[0040] Figur 3 zeigt ein schematisches Funktionsdiagramm der Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100 von Figur 1 gemäß der zweiten Ausführungsform. In der vorliegenden Ausführungsform wird die Trocknungsanlage am Beispiel einer Trocknungsanlage für die Papierherstellung beschrieben. Die Trocknung der feuchten Papierbahn (zu trocknender Gegenstand) erfolgt jedoch nicht in herkömmlicher Weise,

d.h. mit durch Sattdampf beheizte Walzen, sondern über eine Heißlufttrocknung.

[0041] Wie in Figur 3 gezeigt ist, umfasst die Trocknungsanlage eine Trocknungseinrichtung 200 und die Wärmerückgewinnungsvorrichtung 100. Die Trocknungseinrichtung 200 umfasst eine Trockenpartie 210 mit Walzen, über die die feuchte Papierbahn mäanderförmig geführt wird. Des Weiteren umfasst die Trocknungseinrichtung 200 mehrere Düsen zum Zuführen von Heißluft. Die Düsen sind derart angeordnet, dass ein weites Eindringen der Heißluft in die laminaren Grenzschichten über der Papierbahn durch Prallströmung ermöglicht wird. Die Heißluft nimmt Feuchtigkeit aus der feuchten Papierbahn auf.

[0042] Die Abzugseinrichtung 110 umfasst mehrere Düsen zum Abführen der feuchten Abluft. Vorzugsweise sind die Düsen zum Abführen abwechselnd mit den Düsen zum Zuführen der Heißluft angeordnet. Das heißt, die Düsen der Trocknungseinrichtung 200 zum Zuführen der Heißluft und die Düsen der Abzugseinrichtung 110 zum Abführen der feuchten Abluft sind abwechselnd nebeneinander angeordnet.

[0043] Wie in Figur 3 gezeigt ist, wird die von der Kondensationseinrichtung 160 und nachfolgenden zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung 170 abgegebene Abluft nicht an die Umgebung abgegeben, sondern der Wärmeübertragungseinrichtung 130 bzw. einem ersten und zweiten Plattenwärmetauscher der Wärmeübertragungseinrichtung 130 nacheinander zugeführt. Die adiabat verdichtete Abluft überträgt Wärme an die von der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung 170 abgegebene Abluft, wodurch die Abluft derart erwärmt wird, dass diese der Trocknungseinrichtung 200 als Heißluft wieder zugeführt werden kann. Somit kann die Abluft im Kreislauf geführt werden und dient als Transport- und Arbeitsmittel (kombinierter Stoff- und Wärmetransport). Vorteilhaft dabei ist, dass das Arbeitsmittel etwa der Umgebungsluft entspricht und damit Leckagen nur energetisch von Bedeutung sind.

Weitere Abwandlungen der Ausführungsformen

[0044] Die obige Beschreibung ist nicht erschöpfend und die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben genannte(n) Ausführungsform(en) beschränkt. Der Fachmann wird erkennen, dass innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung verschiedene Abwandlungen und Kombinationen der in der/den obigen Ausführungsform(en) enthaltenen Merkmale möglich sind. Daher sollte der Umfang der vorliegenden Erfindung durch die beigefügten Ansprüche bestimmt werden.

Bezugszeichenliste

[0045]

- | | |
|-----|--------------------------------|
| 100 | Wärmerückgewinnungsvorrichtung |
| 110 | Abzugseinrichtung |

120 Verdichter
 121 Motor
 130 Wärmeübertragungseinrichtung
 140 erste Fluid-Abscheideeinrichtung
 150 Expander
 151 Generator
 160 Kondensationseinrichtung
 170 zweite Fluid-Abscheideeinrichtung
 200 Trocknungseinrichtung
 210 Trockenpartie
 220 Verdichter
 230 Drossel

Patentansprüche

1. Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) für eine Trocknungsanlage, mit

einer Abzugseinrichtung (110) zum Abführen von feuchter Abluft, die Feuchtigkeit aus einem zu trocknenden Gegenstand aufgenommen hat, einem Verdichter (120), der eingerichtet ist, die von der Abzugseinrichtung (110) abgeführte Abluft auf ein bestimmtes Druckniveau adiabatisch zu verdichten, einer Wärmeübertragungseinrichtung (130), mittels der Wärme von der Abluft auf einen Fluid-Energieträger übertragbar ist, einer ersten Fluid-Abscheideeinrichtung (140), die eingerichtet ist, ein von der verdichteten Abluft bei der Wärmeübertragung in der Wärmeübertragungseinrichtung (130) abgeschiedenes Kondensat abzuführen, einem Expander (150), der eingerichtet ist, die Abluft unter Verrichtung von mechanischer Arbeit adiabatisch zu expandieren und die von der Abluft verrichtete mechanische Arbeit abzugeben, und einer Kondensationseinrichtung (160) sowie einer zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung (170), die eingerichtet ist, die Abluft abzugeben und ein beim Expandieren der Abluft in der Kondensationseinrichtung (160) gebildetes Kondensat abzuführen.

2. Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei die Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) eingerichtet ist, die von der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung (170) abgegebene Abluft an die Umgebungsluft abzugeben.
3. Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) gemäß Anspruch 1, wobei die Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) eingerichtet ist, die von der zweiten Fluid-Abscheideeinrichtung (170) abgegebene Abluft der Wärmeüber-

tragungseinrichtung (130) als Fluid-Energieträger zuzuführen.

4. Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) eingerichtet ist, die von dem Expander (150) abgegebene Arbeit an den Verdichter (120) zu übertragen.
5. Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Verdichter (120) eingerichtet ist, die von der Abzugseinrichtung (110) abgeführte Abluft auf ein Druckniveau im Bereich von 1 bar bis 10 bar Absolut-Druck, vorzugsweise 3 bar bis 8 bar Absolut-Druck und noch bevorzugter 4 bar bis 6 bar Absolut-Druck adiabatisch zu verdichten.
6. Trocknungsanlage mit der Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche und einer Trocknungseinrichtung (200), die eingerichtet ist, den zu trocknenden Gegenstand mittels Wärmeübertragung von dem Fluid-Energieträger auf den zu trocknenden Gegenstand zu trocknen.
7. Trocknungsanlage gemäß Anspruch 6, wobei die Trocknungsanlage derart eingerichtet ist, dass die Wärmeübertragung in der Wärmeübertragungseinrichtung (130) der Wärmerückgewinnungsvorrichtung (100) an den Fluid-Energieträger bei Unterdruck des Fluid-Energieträgers, vorzugsweise bei 0,6 bis 0,9 bar Absolut-Druck, unter Phasenwechsel des Fluid-Energieträgers erfolgt.
8. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 7, wobei die Trocknungsanlage derart eingerichtet ist, dass die Wärmeübertragung von dem Fluid-Energieträger auf den zu trocknenden Gegenstand bei Überdruck des Fluid-Energieträgers, vorzugsweise bei 4 bis 7 bar Absolut-Druck, erfolgt.
9. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 7 und 8, wobei die Trocknungsanlage einen Verdichter (220) und eine Expansions-Düse/-Drossel (230) umfasst, die eingerichtet sind, um die verschiedenen Druckniveaus des Fluid-Energieträgers einzurichten.
10. Papiermaschine mit der Trocknungsanlage gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zu trocknende Gegenstand eine von der Papiermaschine herzustellende Papierbahn ist.

11. Wärmerückgewinnungsverfahren mit den folgenden Schritten:

Abführen von feuchter Abluft, die Feuchtigkeit aus einem zu trocknenden Gegenstand aufgenommen hat, 5
 adiabates Verdichten der abgeführten Abluft auf ein bestimmtes Druckniveau,
 Übertragen von Wärme von der Abluft auf einen Fluid-Energieträger, 10
 Abführen eines von der verdichteten Abluft bei der Wärmeübertragung abgeschiedenen Kondensats,
 adiabates Expandieren der Abluft unter Verrichtung von mechanischer Arbeit und Abgabe der von der Abluft verrichteten mechanischen Arbeit, 15
 Abführen eines durch das Expandieren der Abluft abgeschiedenen Kondensats, und
 Abgeben der Abluft. 20

12. Wärmerückgewinnungsverfahren gemäß Anspruch 11, wobei
 beim Übertragen von Wärme von der Abluft auf den Fluid-Energieträger die beim Abgeben der Abluft abgegebene Abluft als der Fluid-Energieträger zugeführt wird. 25

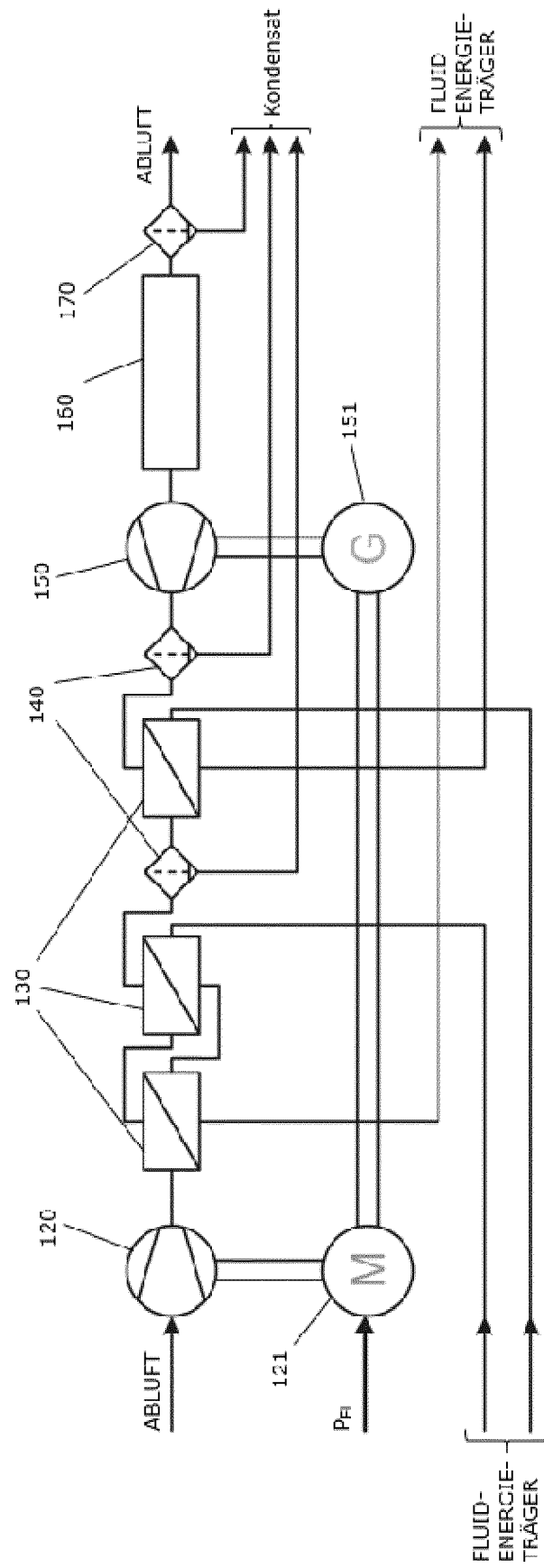
13. Wärmerückgewinnungsverfahren gemäß einem der Ansprüche 11 und 12, wobei 30
 die Abluft beim adiabaten Verdichten auf ein Druckniveau im Bereich von 1 bar bis 10 bar Absolut-Druck, vorzugsweise 3 bar bis 8 bar Absolut-Druck und noch bevorzugter 4 bar bis 6 bar Absolut-Druck adiabatisch verdichtet wird. 35

14. Trocknungsverfahren zum Trocknen eines zu trocknenden Gegenstands mit den Schritten des Wärmerückgewinnungsverfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, und 40
 Trocknen des zu trocknenden Gegenstands mittels Wärmeübertragung von dem Fluid-Energieträger auf den zu trocknenden Gegenstand.

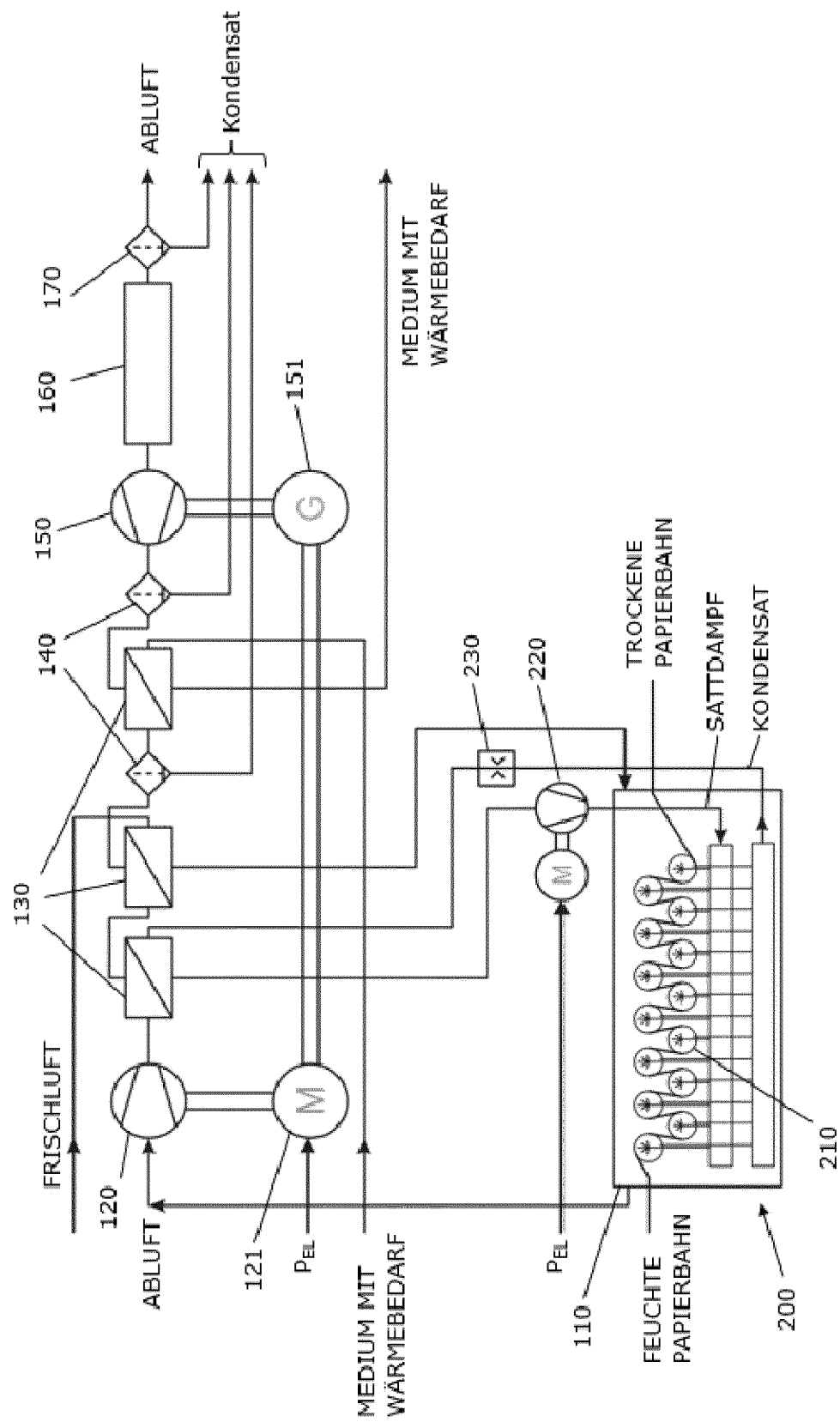
15. Papierherstellungsverfahren mit den Schritten des Trocknungsverfahrens gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zu trocknende Gegenstand eine durch das Papierherstellungsverfahren herzustellende Papierbahn ist. 45

50

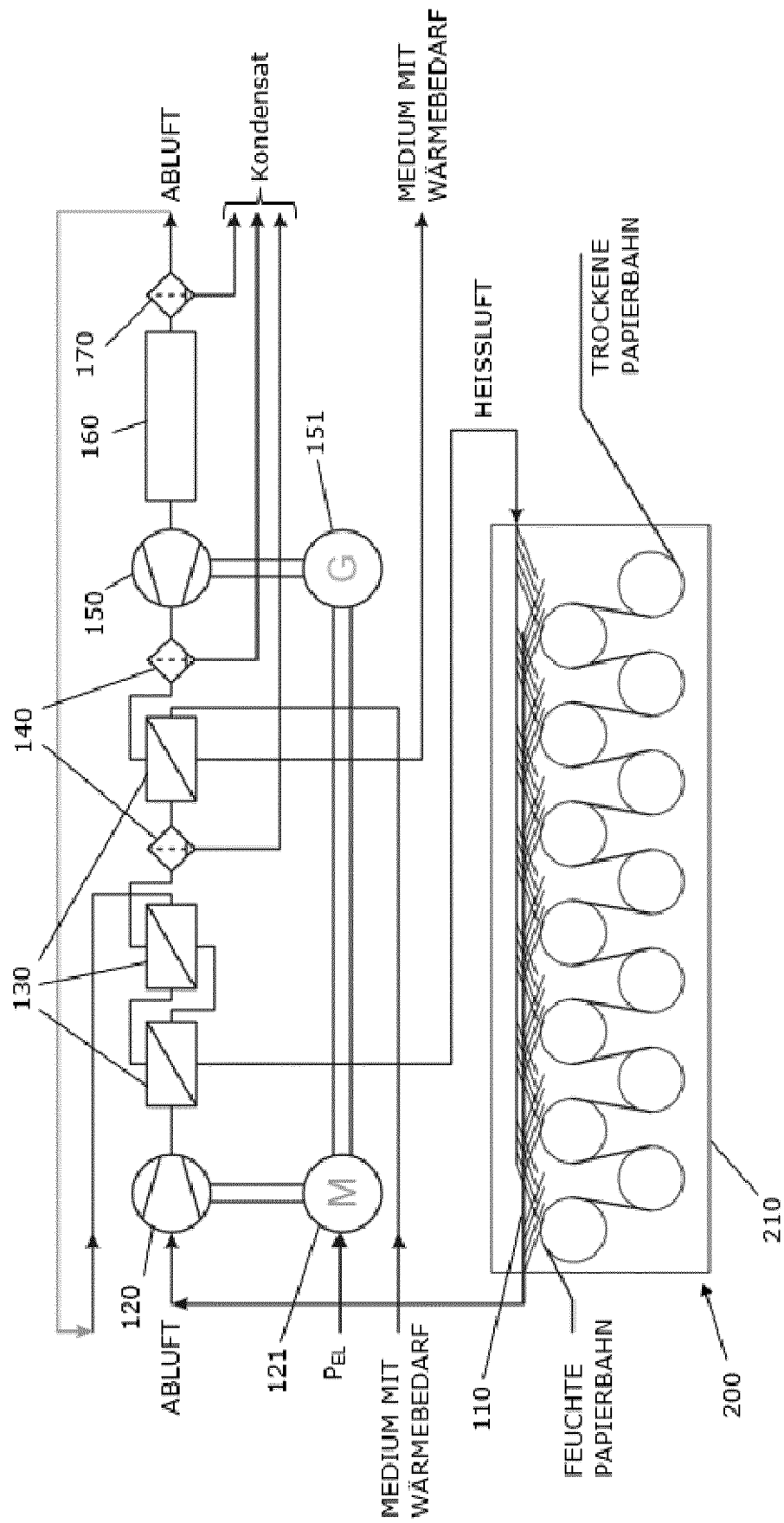
55



FIGUR 1



FIGUR 2



FIGUR 3



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 24 17 1863

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	EP 1 079 189 A1 (WEBER REINHARD [CH]) 28. Februar 2001 (2001-02-28) * Absätze [0001] - [0003], [0020] - [0027]; Abbildung * -----	1-15	INV. D21F5/20 D21F5/02
A	US 8 650 770 B1 (LEVY GEORGE SAMUEL [US]) 18. Februar 2014 (2014-02-18) * Spalten 1,3; Abbildung 3 * -----	1-15	
A	US 2014/109428 A1 (KIM SEONGHWAN [KR] ET AL) 24. April 2014 (2014-04-24) * das ganze Dokument * -----	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) D21F D21J
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 25. September 2024	Prüfer von Mittelstaedt, A
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 24 17 1863

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-09-2024

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	EP 1079189	A1	28-02-2001	KEINE	

15	US 8650770	B1	18-02-2014	KEINE	

	US 2014109428	A1	24-04-2014	AU 2013245540 A1	08-05-2014
				BR 102013026927 A2	28-04-2015
				CN 103774402 A	07-05-2014
				DE 202013104695 U1	22-01-2014
20				EP 2725133 A2	30-04-2014
				KR 20140050980 A	30-04-2014
				US 2014109428 A1	24-04-2014

25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82