

(19)



(11)

EP 4 269 683 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
01.11.2023 Patentblatt 2023/44

(21) Anmeldenummer: **23165451.8**

(22) Anmeldetag: **30.03.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
D06F 58/38 ^(2020.01) *D06F 58/20* ^(2006.01)
D06F 103/38 ^(2020.01) *D06F 105/12* ^(2020.01)
D06F 105/62 ^(2020.01) *D06F 103/50* ^(2020.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
D06F 58/38; D06F 58/206; D06F 2103/38;
D06F 2103/50; D06F 2105/12; D06F 2105/62

(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:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **26.04.2022 DE 102022204025**

(71) Anmelder: **BSH Hausgeräte GmbH**
81739 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Harbach, Alvaro**
10555 Berlin (DE)
• **Belitz, Johannes**
13465 Berlin (DE)
• **Eichstädt, Johannes**
14770 Brandenburg an der Havel (DE)

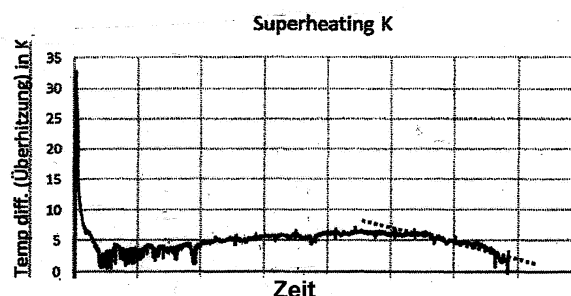
(54) **VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG DER ENDRESTFEUCHTE IN EINEM WÄRMEPUMPENTROCKNER SOWIE HIERFÜR GEEIGNETER WÄRMEPUMPENTROCKNER**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Trockners 1 mit einer Trommel 3 zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor 18 für die Trommel 3, einem Prozessluftkanal 2 zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses 6 bewegt wird, der an einem ersten Ende 8 mit einer Luftauslassöffnung der Trommel 3 und an einem zweiten Ende 12 mit einer Lufterlassöffnung 9 der Trommel 3 verbunden ist, einer Steuerungseinheit 10, einer im Prozessluftkanal 2 angeordneten Wärmepumpe mit einem Verdampfer 4, einem Kondensator 5, einer Expansionseinheit 14 und einem Kompressor 13, wobei am Kältemiteleintritt 19 des Verdampfers 4 ein erstes Thermometer 28 für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt 20 des Verdampfers 4 ein zweites Thermometer 29 für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet ist, wobei die Steuerungseinheit 10 eingerichtet ist, um aus einer Überhitzung SH, die als Differenz T2-T1 berechnet werden kann, eine Restfeuchte H der Wäschestücke zu bestimm-

men, und wobei der Trockner 1 mindestens einen Sensor 26,27 zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft aufweist und die Steuerungseinheit 10 eingerichtet ist, um zur Bestimmung der Restfeuchte die Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen, wobei das Verfahren in einem Trocknungsprozess die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Messung der Eingangstemperatur T1 am Kältemiteleintritt 19 des Verdampfers 4 und der Ausgangstemperatur T2 am Kältemittelaustritt 20 des Verdampfers 4;
- (b) Berechnung der Überhitzung SH als Differenz T2-T1; und
- (c) Bestimmung der Restfeuchte der Wäschestücke aus der Überhitzung SH mittels der Steuerungseinheit 10.

Die Erfindung betrifft außerdem einen zur Durchführung dieses Verfahrens geeigneten Wärmepumpentrockner.

Fig. 3

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Endrestfeuchte in einem Wärmepumpentrockner sowie einen hierfür geeigneten Wärmepumpentrockner. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zum Betrieb eines Trockners mit einer Trommel zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor für die Trommel, einem Prozessluftkanal zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses bewegt wird, wobei der Prozessluftkanal an einem ersten Ende mit einer Luftauslassöffnung der Trommel und an einem zweiten Ende mit einer Lufteinlassöffnung der Trommel verbunden ist, einer Steuerungseinheit, einer im Prozessluftkanal angeordneten Wärmepumpe mit einem Verdampfer, einem Kondensator, einer Expansionseinheit und einem Kompressor, wobei am Kältemittelintritt des Verdampfers ein erstes Thermometer für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt des Verdampfers ein zweites Thermometer für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet ist, sowie einen zur Durchführung dieses Verfahrens geeigneten Wärmepumpentrockner.

[0002] Trocknungsprozesse nach dem Kondensationsverfahren beruhen auf der Verdampfung von Feuchtigkeit aus Wäschestücken mittels warmer Prozessluft und Entfeuchtung der Prozessluft durch Kondensation an einem Wärmetauscher. Im Trocknungsprozess wird dabei im Allgemeinen kühle Prozessluft durch ein Gebläse über eine Heizung geleitet, die beispielsweise der Verflüssiger (Kondensator) einer Wärmepumpe sein kann. Die trockenwarme Prozessluft tritt anschließend in die Trommel als Trocknungskammer ein, welche die zu trocknenden Wäschestücke enthält. Die trocken-warme Prozessluft nimmt dabei die Feuchtigkeit aus den Wäschestücken auf. Anschließend wird die feuchtwarme Prozessluft von der Trommel in einen Wärmetauscher zur Entfeuchtung weitergeleitet, beispielsweise in einen Luft-Luft-Wärmetauscher oder den Verdampfer einer Wärmepumpe. Die feuchtwarme Prozessluft wird darin abgekühlt, wobei das in ihr enthaltene Wasser kondensiert und in einer so genannten Kondensatwanne, die sich im Allgemeinen unterhalb des Wärmetauschers befindet, aufgefangen wird. Bei Erreichen eines bestimmten Füllstands wird das kondensierte Wasser in der Regel durch eine Pumpe (auch "Kondensatpumpe" genannt) in einen Behälter zur Zwischenspeicherung (auch als "Kondensatbehälter" bezeichnet) oder in einen Abwasserkanal gepumpt.

[0003] Der Trocknungsprozess wird im Allgemeinen durchgeführt, bis eine bestimmte Endrestfeuchte der getrockneten Wäschestücke erreicht ist. Dabei wird im Allgemeinen aus der Messung des elektrischen Widerstandes der Wäschestücke auf den Feuchtegrad geschlossen. Dazu ist in der Regel eine unterschiedliche Anzahl von Elektroden an verschiedenen Positionen im Trockner angeordnet. Mittels dieser Elektroden wird der Wäschewiderstand mit Gleich- oder Wechselstromverfah-

ren gemessen. Bei abnehmender Restfeuchte in der Wäsche nimmt der Widerstand der nassen Wäsche ab. Dieser Widerstand wird ermittelt und mit der Restfeuchte in der Wäsche korreliert. Bei einem vorgegebenen Wäschewiderstand als sogenannter Abschaltwert, insbesondere für die Heizung der Prozessluft, wird dann der Trocknungsprozess in der Regel beendet. Diese Abschaltwerte hängen von der Beladungsmenge und der Anfangsfeuchte (auch als "Anfangsrestfeuchte" der aus einer Waschmaschine stammenden feuchten Wäschestücke bezeichnet) der Wäschestücke ab, da beispielsweise bei gleicher Feuchtigkeit die relative Feuchtigkeit der Prozessluft für größere Beladungsmengen größer ist. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass es bei einer großen Anfangsfeuchte länger dauern kann, bis die Trocknung auch im Inneren von Wäschestücken wirksam ist. Zur verbesserten Durchführung eines Trocknungsprozesses werden daher oft Verfahrensschritte zur Ermittlung des Ausgangszustandes, d.h. insbesondere einer Beladung und Anfangsfeuchte der Wäschestücke, durchgeführt. Auf der Basis solcher Informationen kann dann eine Anpassung der Abschaltgrenze vorgenommen werden. Bekannt sind auch Methoden, die mehrere Messgrößen wie z.B. Energie, insbesondere die gesamte bislang zur Trocknung aufgewandte Energie, elektrische Leistung, Temperatur und vergangene Zeit, in Korrelation zueinander bringen, um die Voraussagegenauigkeit zu verbessern.

[0004] Eine Wärmepumpe ist durch zwei Wärmetauscher charakterisiert, nämlich eine Wärmesenke, in welcher Wärme aufgenommen wird, eine Wärmequelle, in welcher Wärme abgegeben wird, und eine Pumpeinrichtung, welche Wärme von der Wärmesenke zur Wärmequelle gegebenenfalls unter Temperaturänderung transferiert. Bei einem mit einer Wärmepumpe vom Kompressor-Typ ausgestatteten Kondensationstrockner erfolgt die Kühlung der warmen, mit Feuchtigkeit beladenen Prozessluft im Wesentlichen in der auch als Verdampfer bezeichneten Wärmesenke der Wärmepumpe, wo die übertragene Wärme zur Verdampfung eines in der als Kreislauf ausgestalteten Pumpeinrichtung zirkulierenden Kältemittels verwendet wird. Das aufgrund der Erwärmung verdampfte Kältemittel wird in der Pumpeinrichtung über einen Kompressor der Wärmequelle, die ein Verflüssiger für das Kältemittel ist, der Wärmepumpe zugeführt, wo aufgrund der Verflüssigung des gasförmigen Kältemittels Wärme freigesetzt wird. Hinter dem Verflüssiger wird das dann flüssige Kältemittel in einer Drossel der Pumpeinrichtung entspannt, wodurch sein Binnendruck herabgesetzt wird, und gelangt schließlich zurück zum Verdampfer.

[0005] Entsprechend der Auslegung im Kältekreislauf eines Wärmepumpentrockners wird auf der Niederdruckseite (im Verdampfer) das Kältemittel nach vollständiger Verdampfung überhitzt. Die Temperaturdifferenz aus der Temperatur des überhitzten Dampfs und der Verdampfungstemperatur wird Überhitzung genannt (Super Heating, SH). Die SH ändert sich bei Änderung der Wärme-

aufnahme im Kältemittel. Dies geschieht bei Änderungen der Energiezufuhr in den Verdampfer, insbesondere bei der Änderung der Energie in der Luft aus der Trommel.

[0006] Das Phänomen der Überhitzung eines Kältemittels in einer Wärmepumpe ist seit langem z.B. aus der EP 2 468 945 B1 und EP 2 745 760 A1 bekannt und auch deren Bedeutung für eine Steuerung einer Wärmepumpe, wobei insbesondere bekannt ist, dass sich die Überhitzung während des Betriebes einer Wärmepumpe aufgrund der Besonderheiten einer Wärmepumpe prinzipiell ändert. So beschreibt die EP 2 468 945 B1, dass die Lufterwärmungsleistung am Verflüssiger immer höher als die Luftkühlungsleistung am Verdampfer ist. Der Verflüssiger muss nämlich auch die von der Kältemittelverdichtungsanlage selbst erzeugte Wärme abführen. Dies führt zu einem kontinuierlichen Anstieg der Temperatur der zur Trommel geleiteten Luft und zu einem kontinuierlichen Anstieg des Kältemitteldrucks und der Temperatur auf der Druckseite des Kältemittelverdichters. Einerseits ist dieses Verhalten zu Beginn des Trocknungszyklus nützlich, da es die Aufrüstphase beschleunigt, andererseits wird es sehr negativ, wenn der Heißlufterzeuger den stationären Betriebszustand mit voller Leistung erreicht. Die EP 2 468 945 B1 beschreibt auch die Aufrechterhaltung der Ausgangstemperatur aus dem Verdampfer in einem vorgegebenen Temperaturbereich, durch Anpassung der Flussrate bzw. einer vorherigen Kühlung des Kältemittels.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es vor diesem Hintergrund, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb eines Wärmepumpentrockners bereitzustellen, mit dem insbesondere dessen Steuerung durch die Bestimmung einer Restfeuchte von darin zu behandelnden Wäschestücken auf verbesserte, insbesondere präzisere Weise möglich ist, so dass auf der Basis dieses Kriteriums die Beendigung eines Trocknungsprozesses bzw. die Abschaltung des Wärmepumpentrockners möglichst präzise erfolgen kann. Aufgabe der Erfindung war es außerdem, einen hierfür geeigneten Wärmepumpentrockner bereitzustellen.

[0008] Die Lösung dieser Aufgabe wird nach dieser Erfindung erreicht durch ein Verfahren zur zum Betrieb eines Wärmepumpentrockners sowie einen zur Durchführung dieses Verfahrens geeigneten Wärmepumpentrockner mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Patentansprüche. Bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie des erfindungsgemäßen Wärmepumpentrockners sind in den jeweiligen abhängigen Patentansprüchen aufgeführt. Bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechen bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wärmepumpentrockners und umgekehrt, auch wenn dies hierin nicht explizit festgestellt ist.

[0009] Gegenstand der Erfindung ist somit ein Verfahren zum Betrieb eines Trockners mit einer Trommel zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor für die Trommel, einem Prozessluftkanal

zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses bewegt wird, wobei der Prozessluftkanal an einem ersten Ende mit einer Luftauslassöffnung der Trommel und an einem zweiten Ende mit einer Lufteinlassöffnung der Trommel verbunden ist, einer Steuerungseinheit, einer im Prozessluftkanal angeordneten Wärmepumpe mit einem Verdampfer, einem Kondensator, einer Expansionseinheit, z.B. einem regelbaren Expansionsventil, und einem Kompressor, wobei am Kältemittelintritt des Verdampfers ein erstes Thermometer für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt des Verdampfers ein zweites Thermometer für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet ist, wobei die Steuerungseinheit eingerichtet ist, um aus einer Überhitzung SH, die als Differenz T2-T1 berechnet werden kann und vorzugsweise wird, eine Restfeuchte H der Wäschestücke zu bestimmen, und wobei der Trockner mindestens einen Sensor zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft aufweist und die Steuerungseinheit eingerichtet ist, um zur Bestimmung der Restfeuchte die gemessenen SH-Werte sowie Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen, wobei das Verfahren in einem Trocknungsprozess die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Messung der Eingangstemperatur T1 am Kältemittelintritt des Verdampfers und der Ausgangstemperatur T2 am Kältemittelaustritt des Verdampfers;
- (b) Berechnung der Überhitzung SH als Differenz T2-T1; und
- (c) Bestimmung der Restfeuchte der Wäschestücke aus der Überhitzung SH mittels der Steuerungseinheit.

Es ist erfindungsgemäß ganz besonders bevorzugt, dass die Bestimmung der Restfeuchte der Wäschestücke aus der Überhitzung SH anhand der Auswertung der mit der Zeit abfallenden Kurve der SH erfolgt.

[0010] Die Trocknungseffizienz eines Trockners wird insbesondere durch die Genauigkeit der Feuchtesensierung bewertet. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die Restfeuchte, vor allem zum Ende der Trocknung, so genau wie nur möglich zu ermitteln.

[0011] Diese Erfindung basiert hierzu auf der Korrelation zwischen der Restfeuchte H in den Wäschestücken und der Überhitzung (SH) des Kältemittels im Verdampfer.

[0012] Die SH ist eine sehr sensible Größe im Kältekreislauf. Sie reagiert z.B. auf Änderungen der Luftfeuchtigkeit der Prozessluft. Zum Ende des Trocknungsprozesses transportiert die Prozessluft immer weniger Wasser von den Wäschestücken zum Verdampfer. Diese Abnahme von latenter Energie in Form von Wasserdampf führt zu einer messbaren Änderung der Überhitzung SH. Diese Änderung korreliert am Ende des Trocknungspro-

zesses unmittelbar mit der Abnahme des Wassertransports in der Trommel von den Wäschestücken zur Prozessluft über die Verdunstung, und so von der Prozessluft zum Verdampfer, wo die Kondensation des Wasserdampfes erfolgt. Die SH nimmt ab, weil die spezifische Enthalpie der Prozessluft wegen der reduzierten Wassermenge abnimmt, was dazu führt, dass dem Verdampfer von der Prozessluft eine geringere Energiemenge pro Zeiteinheit zugeführt wird.

[0013] Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren so durchgeführt, dass die Überhitzung SH während des Trocknungsprozesses zumindest über einen vorgegebenen Zeitraum Δt_{set} kontinuierlich gemessen wird und bei Feststellung, dass die gemessene Überhitzung SH im Zeitraum Δt_{set} im Wesentlichen konstant ist, die gemessene SH als Referenzwert (Schwellenwert) SH_{ref} für die Bestimmung der Restfeuchte verwendet wird. Dabei ist vorzugsweise im Zeitraum Δt_{set} die Drehzahl des Gebläses und/oder die Drehzahl des Kompressors konstant. Bei Unterschreitung von SH_{ref} kann vorteilhaft eine Abschluss-trockenphase gestartet werden, die für ein Ende der Gesamttrocknung geeignet ist, um möglichst genau eine Endrestfeuchte von 0 % zu treffen.

[0014] Eine Ermittlung der Beladung der Trommel mit Wäschestücken sollte in einem Trocknungsprozess vorzugsweise erfolgen, um den Trocknungsprozess an die Beladung anpassen zu können, da sich unterschiedliche Mengen an Wäschestücken unterschiedlich verhalten.

[0015] Der Feuchtegrad der Wäschestücke, d.h. die Feuchte oder Restfeuchte, ändert sich nämlich während eines Trocknungsprozesses, da zunächst Oberflächenwasser und schließlich Poren- und Kapillarwasser aus dem Gewebe der Wäschestücke verdunstet. Abhängig von der Feuchte der Wäschestücke zu Beginn des Trocknungsprozesses und der Gewebeart ist der Verlauf eines Feuchtegrads in einem Trocknungsprozess unterschiedlich und eine kontinuierliche und genaue Ermittlung eines Feuchtegrads daher vorteilhaft für eine wäscheschonende und energieeffiziente Trocknung der Wäschestücke, sowie eine genaue Steuerung der Endrestfeuchte bezüglich eines vorgegebenen Wertes wie beispielsweise "bügeltrocken".

[0016] Ein Trocknungsprozess wird somit durch die Anteile von Oberflächenwasser und im Inneren der Wäschestücke vorhandenem Wasser beeinflusst, wobei letzteres nur relativ langsam aus den Wäschestücken entfernt wird. Ein Trocknungsprozess hängt daher auch von der Beladung mit Wäschestücken ab.

[0017] Für die Vorgabe einer Restfeuchte H^{set} ist es jedenfalls vorteilhaft, wenn die Beladungsmenge der Trommel mit Wäschestücken und/oder die Anfangsfeuchte der Wäschestücke berücksichtigt werden können.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird daher eine Beladung W der Trommel mit Wäschestücken für die Festlegung der vorgegebenen Restfeuchte H^{set} berücksichtigt, wobei ein in der Steuerungseinheit hinterlegter Zusammen-

hang zwischen der Beladung W und der Restfeuchte H^{set} herangezogen wird.

[0019] Die Beladungsmenge und/oder Anfangsfeuchte kann von einem Benutzer eingestellt oder vorzugsweise durch den Trockner ermittelt werden. Hierzu sind verschiedene Verfahren möglich. Dabei bezieht sich eine ermittelte Beladungsmenge auf die Trockenmasse der in die Trommel eingebrachten zu trocknenden Wäschestücke. Wäschestücke besitzen jedoch zu Beginn des Trocknungsprozesses einen Feuchtigkeitsgehalt, bezogen auf die Trockenmasse der Wäschestücke, beispielsweise von etwa 60% nach einem Waschverfahren und einem Schleudern bei 1200 U/min. Zudem verhalten sich unterschiedliche Beladungsmengen in einem Trocknungsprozess unterschiedlich. So kann sich beispielsweise ein Trocknungsprozess bei voller Beladung verlängern gegenüber einem Trocknungsprozess bei halber Beladung. Ebenso kann die Dauer der einzelnen im Trocknungsprozess durchlaufenen Phasen unterschiedlich sein.

[0020] Die Art der Bestimmung der Beladung W der Trommel mit Wäschestücken ist erfindungsgemäß nicht eingeschränkt. So kann die Beladung beispielsweise durch Eingabe durch den Benutzer festgelegt werden. Im Allgemeinen wird die Beladung der Trommel jedoch durch den Trockner ermittelt, beispielsweise durch Auswiegen der Trommel und/oder durch Auswertung eines Motorstromes und/oder einer elektrischen Leistung des elektrischen Antriebsmotors.

[0021] Bevorzugt wird die Beladung durch Auswertung eines Motorstromes und/oder einer elektrischen Leistung des elektrischen Antriebsmotors ermittelt. Wird beispielsweise die an den elektrischen Antriebsmotor abgegebene Leistung konstant gehalten, so kann zur Bestimmung des Beladungszustandes der Trommel die Abhängigkeit des Motorstromes von einer Last des elektrischen Antriebsmotors genutzt werden. Dabei kann insbesondere ein Verlauf des Stromes innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes, beispielsweise bei einem Hochlauf der Trommel, verfolgt werden. Dabei kann über die Abhängigkeit des Drehmoments des elektrischen Antriebsmotors von dem Beladungszustand der Trommel sowie aufgrund der Abhängigkeit des Drehmoments von dem Motorstrom auf die Beladung geschlossen werden.

[0022] Erfindungsgemäß bevorzugt ist daher ein Verfahren, bei dem der Antriebsmotor ein BLDC-Elektromotor ist und seine Antriebsleistung in Hinblick auf eine Beladung der Trommel mit Wäschestücken ausgewertet wird.

[0023] Vorzugsweise enthält das erfindungsgemäße Verfahren zusätzlich zu den darin genannten Verfahrensschritten (a) bis (c) die Verfahrensschritte

- (d) Vergleichen der bestimmten Restfeuchte H mit einer vorgegebenen Restfeuchte H^{set} ; und
- (e) Beenden des Trocknungsprozesses bei Erreichen oder Unterschreiten der vorgegebenen Restfeuchte H^{set} umfasst.

[0024] Durch Prozessregelung kann die Überhitzung SH auf einem konstanten Wert gehalten werden, z.B. mittels eines Expansionsventils, oder indem ein drehzahlregelbarer Kompressor diese Temperaturdifferenz regelt. In solchen Fällen könnte eine Regelabweichung ($e = \text{Istwert} - \text{Sollwert}$) als indirektes Maß bzw. Ersatzgröße für das SH angesehen werden. Die Änderungen von SH bzw. von der Regelabweichung können über einen geeigneten Algorithmus Aufschluss über die Restfeuchte in der Wäsche geben. Das aus dem Algorithmus kommende Signal (Werte) könnte ergänzend zur Messung des Leitwertsignals, oder zur direkten Nutzung der Prozesssteuergröße (Restfeuchte in der Wäsche) verwendet werden.

[0025] Im Allgemeinen ist ein SH von 0 K bzw. knapp darüber besonders energieeffizient. Ein $SH > 0\text{ K}$ ist unter Umständen notwendig, um zu vermeiden, dass flüssige Anteile von Kältemittel auf den Kompressor treffen. Ein $SH > 0\text{ K}$ ist also eine Art Sicherheitsfaktor, um sicherzustellen, dass kein flüssiges Kältemittel auf den Kompressor trifft.

[0026] Zur verbesserten Auswertung der SH können im Trocknungsprozess weitere Messungen durchgeführt werden und im Rahmen einer multivariaten Analyse verwendet werden:

- (a) Messen einer relativen Feuchtigkeit H_{rel} der Prozessluft mit dem Feuchtesensor;
- (b) Messen einer Temperatur T_P der Prozessluft mit einem Temperatursensor;
- (c) Ermitteln einer absoluten Wasserbeladung L_W der Prozessluft aus der relativen Feuchtigkeit H_{rel} unter Berücksichtigung der Temperatur T_P , wobei ein in der Steuerungseinheit vorzugsweise hinterlegter Zusammenhang zwischen einer maximalen Wasserbeladung L_W^{max} und der Temperatur T_P herangezogen wird;
- (d) Verfolgen des zeitlichen Verlaufs der Wasserbeladung L_W ;
- (e) Heranziehen des zeitlichen Verlaufs der Wasserbeladung L_W zur Bestimmung einer Restfeuchte H in den Wäschestücken;
- (f) Vergleichen der Restfeuchte H mit einer vorgegebenen Restfeuchte H^{set} ; und
- (g) Beenden des Trocknungsprozesses bei Erreichen oder Unterschreiten der vorgegebenen Restfeuchte H^{set} .

[0027] Die Wasserbeladung kann wie bereits erwähnt über die Leistungsaufnahme eines regelbaren (BLDC)-Elektromotors bestimmt werden.

[0028] Der Beginn des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt im Allgemeinen zeitgleich mit der Einleitung eines Trocknungsprogrammes. Bei diesem werden im Allgemeinen eine üblicherweise zusätzlich verwendete elektrische Heizung sowie das Gebläse eingeschaltet, um erhitzte Prozessluft zur Trocknung von feuchten Wäschestücken in die Trommel zu leiten.

[0029] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sind im Prozessluftkanal jeweils vor und nach der Trommel jeweils ein Temperatursensor und ein Feuchtesensor angeordnet, wobei dann zur multivariaten Analyse in Verbindung mit der gemessenen SH die relative Feuchtigkeit H_{rel} als relative Feuchtigkeit $H_{\text{rel}}^{\text{vor}}$ vor und als relative Feuchtigkeit $H_{\text{rel}}^{\text{nach}}$ nach der Trommel gemessen wird; die Temperatur T_P der Prozessluft als Temperatur T_P^{vor} der Prozessluft vor und als Temperatur T_P^{nach} der Prozessluft nach der Trommel gemessen wird; und aus den relativen Feuchtigkeiten $H_{\text{rel}}^{\text{nach}}$ und $H_{\text{rel}}^{\text{vor}}$ unter Berücksichtigung der Temperaturen T_P^{nach} und T_P^{vor} eine absolute Wasserbeladung L_W^{nach} der Prozessluft nach der Trommel und eine absolute Wasserbeladung L_W^{vor} vor der Trommel berechnet wird, und daraus eine Differenz $\Delta L_W = L_W^{\text{nach}} - L_W^{\text{vor}}$ berechnet wird. Dabei kann der zeitliche Verlauf der Differenz ΔL_W der Wasserbeladung L_W verfolgt werden; und der zeitliche Verlauf der Differenz ΔL_W der Wasserbeladung L_W der Prozessluft zur Bestimmung der Restfeuchte R_W in den Wäschestücken durch Auswertung der SH zusätzlich herangezogen werden.

[0030] Die eingesetzten Temperatursensoren und Feuchtigkeitssensoren sind nicht eingeschränkt, solange mit ihnen eine Temperatur bzw. eine relative Feuchtigkeit der Prozessluft gemessen werden können. Vorteilhaft werden jedoch Sensoren eingesetzt, mit denen Temperatur und relative Feuchtigkeit der Prozessluft gleichzeitig gemessen werden können. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird als Temperatursensor und als Feuchtigkeitssensor ein Dualsensor verwendet, mit dem gleichzeitig die Temperatur T_P und die relative Feuchtigkeit H_{rel} der Prozessluft gemessen werden kann. Noch mehr bevorzugt ist die Verwendung eines Tripelsensors, mit dem zusätzlich auch der Druck P_P der Prozessluft bestimmt werden kann.

[0031] Bei der erfindungsgemäß vorgesehenen Ermittlung der Restfeuchte über die absolute Beladung der Prozessluft mit Wasser wird vorteilhaft nämlich der Einfluss des Luftdruckes berücksichtigt.

[0032] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist daher im Prozessluftkanal mindestens ein Drucksensor vorhanden, welcher den Druck P_P der Prozessluft misst, welcher dann für die Bestimmung der Wasserbeladung L_W herangezogen wird, wobei ein in der Steuerungseinheit hinterlegter Zusammenhang zwischen dem Druck P_P , einer maximalen Wasserbeladung L_W^{max} und der Temperatur T_P herangezogen wird.

[0033] Bevorzugt wird als Drucksensor ein Tripelsensor herangezogen, mit dem gleichzeitig auch die relative Feuchtigkeit H_{rel} und die Temperatur T_P gemessen werden kann.

[0034] Ein Trocknungsprozess im erfindungsgemäßen Trockner wird insbesondere auch durch einen Luftstrom der Prozessluft beeinflusst, da die Größe des Luftstroms bestimmt, wie lange eine bestimmte Luftmenge

in Kontakt mit feuchten Wäschestücken sein kann.

[0035] In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird daher der Luftstrom A_p der Prozessluft eingestellt oder gemessen und für die Festlegung der vorgegebenen Restfeuchte H^{set} berücksichtigt, wobei ein in der Steuerungseinheit hinterlegter Zusammenhang zwischen dem Luftstrom A_p und der Restfeuchte H^{set} herangezogen wird. Als Maß für den Luftstrom A_p der Prozessluft kann dabei eine Drehzahl oder Leistungsaufnahme des Gebläses angesehen werden. Allerdings kann durch ein Durchflussmessgerät auch ein tatsächlicher Luftstrom der Prozessluft gemessen und dann als Luftstrom A_p der Prozessluft angesehen werden.

[0036] Die gemessenen SH-Werte sowie die Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen werden erfindungsgemäß mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern verknüpft, wobei vorzugsweise für verschiedene Feuchtigkeitsbereiche unterschiedliche Gruppen von Modellparametern verwendet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Gruppen von Modellparametern kann eine Genauigkeit bei der Bestimmung des Feuchtigkeitsgrads flexibel an verschiedene Abschnitte eines Trocknungsprozesses - und insbesondere sich während eines Trocknungsprozesses änderbare - Zielwerte angepasst werden.

[0037] Dass die Messwerte und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit vorgegebenen Modellparametern verknüpft werden, kann umfassen, dass nur Messwerte, nur Berechnungsgrößen oder eine beliebige Kombination aus mindestens einer Messgröße und mindestens einer Berechnungsgröße mit vorgegebenen Modellparametern verknüpft werden. Eine Berechnungsgröße kann eine aus einer Messgröße oder aus mehreren Messgrößen eines Sensors oder mehrerer Sensoren abgeleitete bzw. berechnete Größe sein. Eine Berechnungsgröße kann beispielsweise ein mathematisches Produkt oder ein Quotient mindestens eines "direkt" gemessenen Messwerts und/oder eine durch Anwendung mindestens einer mathematischen Funktion (Wurzel, Potenz, Exponent, Logarithmus usw.) auf mindestens einen Messwert berechnete Größe sein. Zudem kann eine Berechnungsgröße durch Differenzbildung und/oder Mittelwertbildung von mehreren Messwerten (eines oder mehrerer Sensoren) gebildet werden.

[0038] Unter einem Feuchtigkeitsbereich wird insbesondere ein Bereich eines Feuchtigkeitsgrads der Wäsche verstanden.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird jeder Eingangsparameter (d.h., ein Messwert oder eine Berechnungsgröße) mit einem jeweiligen Modellparameter verknüpft. Überdies ist es bevorzugt, dass die Messwerte kontinuierlich mit einer insbesondere konstanten Akquisitionsrate erfasst werden.

[0040] Unter einem "Modellparameter" kann insbesondere ein - z.B. experimentell und/oder numerisch bestimmter - Wert verstanden werden, der zur Verknüpfung

mit mindestens einem Messwert verwendet wird, um den Feuchtigkeitsgrad der Wäsche zu bestimmen. Mehrere Modellparameter können in einem Vektor ("Parametervektor") oder in einer Matrix ("Parametermatrix") gruppiert sein. Ein einzelner Modellparameter kann eine Konstante, eine Variable oder eine Formel sein. Der mindestens eine in dem Verfahren verwendete Modellparameter kann sich beispielsweise aus einem zuvor - z.B. werkseitig - durchgeführten "Anlernen" des zugehörigen - insbesondere multivariaten - Vorhersagemodells ergeben. Es werden also insbesondere diejenigen Modellparameter(werte) verwendet, die zuvor eine beste Übereinstimmung des berechneten Feuchtigkeitswerts mit einem z.B. direkt gemessenen Feuchtigkeitswert ergeben haben.

[0041] Es ist erfindungsgemäß bevorzugt, dass der Feuchtigkeitsgrad mittels einer Vektormultiplikation eines Vektors der Messwerte bzw. Berechnungsgrößen ("Messvektor") mit einem Parametervektor berechnet wird. Die Parametervektoren können in dem Wäschetrocknungsgerät abgespeichert sein.

[0042] Überdies ist eine Ausführungsform bevorzugt, bei der die unterschiedlichen Gruppen sukzessiv engeren Feuchtigkeitsbereichen zugeordnet sind und eine Genauigkeit des Bestimmens des Feuchtigkeitsgrads umso höher ist, je enger der verwendete Feuchtigkeitsbereich ist. Mit anderen Worten können die Modellparameter einer ersten Gruppe für einen ersten Feuchtigkeitsbereich verwendet werden, die Modellparameter einer zweiten Gruppe für einen zweiten Feuchtigkeitsbereich usw. Da ein in Bezug auf einen Trocknungsfortschritt sukzessiv folgender Feuchtigkeitsbereich enger ist, kann er dort den Feuchtigkeitsgrad der Wäsche genauer bestimmen oder vorhersagen als der vorhergehende Feuchtigkeitsbereich. Unter sukzessiv engeren Feuchtigkeitsbereichen können insbesondere Feuchtigkeitsbereiche verstanden werden, die nacheinander angewandt für immer engere oder schmalere Feuchtigkeitsbereiche verwendet werden.

[0043] Es ist also auch eine Ausgestaltung, dass der Feuchtigkeitsgrad mittels einer "hierarchischen" Nutzung der Gruppen von Modellparametern berechnet wird. D.h., dass zu Beginn eines Trocknungsvorgangs die erste Gruppe von Modellparametern verwendet wird, die für ihren ersten Feuchtigkeitsbereich eine ausreichende Genauigkeit besitzt, dann ab einem vorgegebenen ersten Übergangswert die zweite Gruppe von Modellparametern verwendet wird, die für ihren zweiten Feuchtigkeitsbereich eine höhere Genauigkeit besitzt.

[0044] Erfindungsgemäß ist es ganz besonders bevorzugt, dass die Vorhersagemodelle mittels multivariater Algorithmen erzeugt werden oder erzeugt worden sind. Diese Algorithmen können insbesondere eine maximale Varianz in den Messwerten bzw. Berechnungsgrößen während eines Trocknungsablaufs ermitteln (z.B. mittels PCA und/oder PLS). Die Vorhersagemodelle können in Form von Matrizen vorliegen, die mit Messvektoren multipliziert werden. Die Vorhersagemodelle bzw. die Algo-

rithmen können anhand experimenteller Trocknungsabläufe angepasst oder angelernt worden sein. Ein Modell kann insbesondere ein dynamisches Verhalten der Messwerte bzw. Berechnungsgrößen, das durch die physikalische Trocknung und durch den Trocknungsablauf bestimmt wird, erkennen.

[0045] Vorzugsweise werden die Modellparameter aller Gruppen mittels eines gleichen Grundmodells berechnet und für unterschiedliche Gruppen Eingangsparameter (d.h. Messwerte und/oder Berechnungsgrößen) der jeweiligen Feuchtigkeitsbereiche zum Anpassen des Grundmodells verwendet werden. Dies ermöglicht einen besonders geringen Aufwand zur Bestimmung der Modellparameter. Insbesondere können die Eingangsparameter Temperatur, Wasserbeladung, spezifische Enthalpie, relative Feuchte und die Differenzen aus Druck, Feuchte, Temperatur, Wasserbeladung und spezieller Enthalpie alleine oder in beliebiger Kombination zum Anpassen des Grundmodells zur Verfügung gestellt werden.

[0046] Dass für unterschiedliche Gruppen Eingangsparameter der jeweiligen Feuchtigkeitsbereiche zum Anpassen des Grundmodells verwendet werden, kann umfassen, dass nur Eingangsparameter aus den jeweiligen Feuchtigkeitsbereichen verwendet werden. Alternativ können Eingangsparameter aus größeren Bereichen als dem jeweiligen Feuchtigkeitsbereich verwendet werden. Insbesondere können Eingangsparameter verwendet werden, die sich über den jeweiligen Feuchtigkeitsbereich hinaus bis auf 0 % erstrecken.

[0047] Das Anpassen oder Anlernen des Modells und damit das Berechnen der Modellparameter für einen bestimmten Feuchtigkeitsbereich kann vorteilhafterweise so durchgeführt werden, dass ein (noch nicht angepasstes) Grundmodell bzw. dessen Algorithmen anhand experimentell ermittelter, für diesen Feuchtigkeitsbereich geeigneter Eingangsparameter angelernt oder angepasst wird. Das Anpassen kann ein Festlegen von Parametern der Algorithmen umfassen. Grundsätzlich können die Modellparameter einer Gruppe auf der Grundlage eines angepassten Modells oder auf der Grundlage einer Verknüpfung mehrerer angepasster Modelle bestimmt werden.

[0048] Allgemein können für zumindest zwei unterschiedliche Feuchtigkeitsbereiche unterschiedliche Grundmodelle verwendet werden, die z.B. unterschiedliche Arten von Algorithmen verwenden.

[0049] Bevorzugt ist auch, dass die Messwerte neben der Überhitzung SH mindestens eine relative Feuchte, eine Temperatur und/oder einen Druck umfassen. Eine Messung dieser Messwerte ermöglicht eine besonders präzise Vorhersage des Feuchtigkeitsgrads der Wäsche. Speziell kann die Berechnung des Feuchtigkeitsgrads auch nur mittels der relativen Feuchte und der Temperatur, ggf. auch nur anhand der Temperatur durchgeführt werden.

[0050] In einer Ausführungsform umfasst die Berechnungsgröße eine Feuchtedifferenz, eine Temperaturdif-

ferenz, eine Wasserbeladung und/oder eine Enthalpie. Diese Berechnungsgrößen ermöglichen eine besonders präzise Vorhersage des Feuchtigkeitsgrads der Wäsche. Die Differenzen können beispielsweise von Messwerten abgeleitet werden, die vor und hinter der Trommel aufgenommen worden sind.

[0051] Zur Berechnung oder Vorhersage des Feuchtigkeitsgrads der Wäschestücke können auch voneinander abgeleitete Kombinationen von Messwerten und Berechnungsgrößen verwendet werden. So kann der Feuchtigkeitsgrad in einer Variante anhand der Eingangsparameter: Überhitzung SH; Temperatur oder Temperaturdifferenz; relative Feuchte oder Feuchtedifferenz; und Wasserbeladung oder Differenz der Wasserbeladung berechnet werden, wobei die Wasserbeladung aus der Temperatur und der relativen Feuchte berechnet werden kann. Anstelle oder zusätzlich zu der Wasserbeladung kann die Enthalpie verwendet werden, die sich ebenfalls aus Temperatur, relativer Feuchte, ggf. Druck oder Differenzen davon berechnen lässt.

[0052] In einer weiteren Ausführungsform wird der bestimmte Feuchtigkeitsgrad der Wäsche mit einem Sollwert verglichen, wobei der Sollwert einem Punkt auf einer Verlaufskurve eines Feuchtigkeitsgrads eines charakteristischen Trocknungsprozesses entspricht. Wenn die von den Modellen ermittelte Gutsfeuchte sich innerhalb eines dem Sollwert zugehörigen Toleranzbereichs befindet, wird der Trocknungsprozess angehalten. Dies hat den Vorteil, dass sich ein Einfluss von Störungen wie Wickler weiter reduzieren lässt. Alternativ kann der Trocknungsprozess angehalten werden, wenn der bestimmte Feuchtigkeitsgrad einen zugehörigen Ziel- oder Sollwert erreicht hat.

[0053] Gegenstand der Erfindung ist außerdem ein Trockner mit einer Trommel zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor für die Trommel, einem Prozessluftkanal zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses bewegt wird, wobei der Prozessluftkanal an einem ersten Ende mit einer Luftauslassöffnung der Trommel und an einem zweiten Ende mit einer Lufteinlassöffnung der Trommel verbunden ist, einer Steuerungseinheit, einer Wärmepumpe mit einem Verdampfer, einem Kondensator, einer Expansionseinheit und einem Kompressor, wobei am Kältemittelintritt des Verdampfers ein erstes Thermometer für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt des Verdampfers ein zweites Thermometer für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet sind, und die Steuerungseinheit eingerichtet ist, um aus einer Überhitzung SH, die als Differenz T2-T1 berechnet werden kann und vorzugsweise daraus berechnet wird, eine Restfeuchte H der Wäschestücke zu bestimmen, und wobei der Trockner mindestens einen Sensor zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft aufweist und die Steuerungseinheit eingerichtet ist, um zur Bestimmung der Restfeuchte die gemessenen SH-Werte sowie Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit

aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen.

[0054] Vorzugsweise umfasst der mindestens eine Sensor zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft einen Temperatursensor und/oder einen Feuchtesensor. Als Temperatursensor und als Feuchtigkeitssensor wird vorzugsweise ein Dualsensor oder Tripelsensor verwendet, der gleichzeitig die Temperatur T_p und die relative Feuchtigkeit H_{rel} der Prozessluft messen kann. Vorzugsweise wird als Temperatursensor und als Feuchtesensor ein Tripelsensor verwendet, mit welchem neben der Temperatur T_p und der relativen Feuchtigkeit H_{rel} auch ein Luftdruck P_p der Prozessluft gemessen werden kann.

[0055] Erfindungsgemäß ist schließlich auch ein Trockner bevorzugt, der in der Trommel einen Leitfähigkeitssensor aufweist und bei dem die Steuerungseinheit zur Bestimmung der Restfeuchte eingerichtet ist, um den mit dem Feuchtesensor in der Trommel gemessenen Feuchtigkeitsswert mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen.

[0056] Wie bereits erwähnt, ist es vorteilhaft, Strom- und/oder Leistungsaufnahme eines optional verwendeten BLDC-Elektromotors auszuwerten, beispielsweise in Hinblick auf eine Beladung der Trommel. Überdies lässt sich die Veränderung der Restfeuchte der Wäschestücke während des Trocknungsprozesses beobachten. In einer bevorzugten Ausführungsform des Trockners ist daher die Steuerungseinheit eingerichtet, um aus dem gemessenen Strom des Antriebsmotors auf einen Feuchtegehalt H der Wäschestücke in der Trommel zu schließen.

[0057] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Trockners weist er in der Wärmepumpe ein regelbares Expansionsventil auf und ist die Steuerungseinheit eingerichtet ist, um durch die Regelung des Expansionsventils die Überhitzung SH in einem vorgegebenen Temperaturbereich ΔT_{SH} zu halten.

[0058] Erfindungsgemäß ist ein Kondensationstrockner bevorzugt, bei dem ein Temperatursensor und ein Feuchtesensor im Prozessluftkanal vor und/oder nach der Trommel angeordnet sind.

[0059] Im Allgemeinen ist beim erfindungsgemäßen Kondensationstrockner eine Kondensatpumpe in einer Kondensatwanne oder einem mit der Kondensatwanne verbundenen Kondensatkanal angeordnet. Die Kondensatwanne ist im Allgemeinen über einen sogenannten Kondensatkanal mit einem Behälter zur Zwischenspeicherung des Kondensats, d.h. einem Kondensatbehälter, oder mit einer Abwasserleitung zur Entsorgung des Kondensats verbunden.

[0060] Der erfindungsgemäße Trockner verfügt vorzugsweise über eine elektrische Heizung oder eine Gasheizung, wobei eine elektrische Heizung bevorzugt verwendet wird. Die Heizung dient zur Erwärmung der Prozessluft vor dem Einleiten in die Trommel des Wärmepumpentrockners, vor allem zu Beginn eines Trock-

nungsprozesses.

[0061] Der erfindungsgemäße Trockner ist insbesondere ein Wäschetrockner an sich oder ein Waschtrockner. Ein Waschtrockner ist hierbei ein Kombinationsgerät, das über eine Waschfunktion zum Waschen von Wäsche und über eine Trocknungsfunktion zum Trocknen von feuchter Wäsche verfügt.

[0062] Der erfindungsgemäße Trockner weist vorteilhaft vorzugsweise eine optische und/oder akustische Anzeigevorrichtung für unterschiedliche Zustände des Wärmepumpentrockners auf. Es wird vorzugsweise eine optische Anzeigevorrichtung verwendet. Die Anzeigevorrichtung kann beispielsweise durch Ausgabe eines Textes oder durch Aufleuchten verschiedenfarbiger Leuchtdioden Informationen über den Betrieb des Trockners geben, beispielsweise über den Verlauf der absoluten Wasserbeladung L_w und/oder der Restfeuchte H der Wäschestücke, über die Überhitzung SH , über die Beladungsmenge, die Phase des Trocknungsprozesses, beispielsweise Aufheizphase, stationäre Phase, instationäre Phase, oder die verbleibende Restlaufzeit eines Trocknungsprozesses.

[0063] Verfahren und Wärmepumpentrockner der Erfindung haben mehrere Vorteile. Vorteile der Erfindung sind insbesondere, dass in einem Trocknungsprozess eine gewünschte Restfeuchte von Wäschestücken verbessert eingestellt werden kann, so dass auch die Beendigung eines Trocknungsprozesses optimiert erfolgen kann. Dabei können in Ausführungsformen der Erfindung Wäscheigenschaften wie Beladung und Feuchtegrad auf genaue Weise durch eine Auswertung der Überhitzung SF bestimmt werden. Eine Verbesserung der Feuchtesensierung in den Wäschestücken ist durch Nutzung von einfach zu bestimmenden Temperatursignalen möglich. Die Erfindung bietet die Möglichkeit der Nutzung der gemessenen Überhitzung in Kombination mit bestehender Leitwerttechnik, oder auch mit alternativen Methoden zur Ermittlung der Restfeuchte in der Wäsche, z.B. durch Algorithmen aus der Multivariaten Datenanalyse wie hierin erwähnt, in der das Signal der SH mit den Signalen der Leitwerttechnik kombiniert zu nutzen. In Ausführungsformen der Erfindung können auch vorteilhaft Messwerte der Prozessluft, wie Temperatur, relative Feuchte und Druck genutzt werden. Das Durchlaufen der einzelnen Phasen eines Trocknungsprozesses und insbesondere die Steuerung eines Trocknungsprozesses zum Erreichen eines vorgegebenen Restfeuchtegehaltes der Wäschestücke sind in Ausführungsformen der Erfindung für jede individuelle Beladung der Trommel mit Wäschestücken möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren und der erfindungsgemäße Trockner erlauben somit eine an die Anforderungen des Benutzers angepasste individuelle, energieeffiziente und wäscheschonende Durchführung eines Trocknungsprozesses.

[0064] Der Zusammenhang zwischen Trockengrad der Wäsche, d.h. Restfeuchte, und der Differenz der Wasserbeladung kann aufgrund der vorliegenden Erfindung als ein verbessertes Abschaltkriterium für die Hei-

zung der Prozessluft und damit die Beendigung des Trocknungsprozesses dienen. Dieses Abschaltkriterium ist im Allgemeinen von der Beladung und dem Prozessluftvolumenstrom abhängig, aber nahezu von der Anfangsrestfeuchte unabhängig, wobei diese Einflussfaktoren in Ausführungsformen der Erfindung berücksichtigt werden.

[0065] Darüber hinaus ist dieses Verfahren robust und preiswert umsetzbar. Es ist weitgehend unabhängig von einer Lage oder Verwicklung der Wäschestücke in der Trommel. Zudem ist das Verfahren schnell und kann berechnete Feuchtigkeitsgrade praktisch in Echtzeit liefern. Entsprechendes gilt für die zur Durchführung des Verfahrens geeignete, hierin beschriebenen Trockner.

[0066] Weitere Einzelheiten der Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren 1 bis 5 erläutert, von denen

Fig. 1 einen Trockner gemäß einer nicht eingeschränkten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Trockners;

Fig. 2 einen den Bereich des Verdampfers der im erfindungsgemäßen Trockner eingesetzten Wärmepumpe;

Fig. 3 den Verlauf der Überhitzung SH (Superheating) während eines Trocknungsprozesses;

Fig. 4 den Verlauf der gemessenen Wasserbeladung (Evap in) der Prozessluft am Eingang des Prozessluftkanals in den Verdampfer während eines Trocknungsprozesses; und

Fig. 5 den berechneten Verlauf der spezifischen Enthalpie der Prozessluft während eines Trocknungsprozesses

zeigen.

[0067] Die Figur 1 zeigt einen senkrechten Schnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Trockners 1, der als Kondensationstrockner mit einer Wärmepumpe, umfassend einen Verflüssiger und einen Verdampfer, ausgestaltet ist. In Fig. 1 zeigen die langen Pfeile die Fließrichtung der Prozessluft an. Die kurzen Pfeile mit nicht ausgefüllter Pfeilspitze zeigen die Fließrichtung des Kältemittels der Wärmepumpe an.

[0068] Der in Fig. 1 dargestellte Trockner 1 enthält eine um eine horizontale Achse 12 drehbare Trommel 3 als Trocknungskammer zur Aufnahme von hier nicht gezeigten feuchten Wäschestücken, sowie eine Wärmepumpe 4,5,13,14, aufweisend einen Verdampfer 4, einen Verflüssiger 5, einen Kompressor 13 und ein Drosselventil 14. Innerhalb der Trommel 3 sind Wäschemitnehmer 25 zur Bewegung von Wäschestücken während einer Trommeldrehung befestigt.

[0069] Die Prozessluft wird im Prozessluftkanal 2 mittels eines Gebläses 6 durch die Trommel 3 geführt. Bei

der hier gezeigten Ausführungsform ist zusätzlich zu einer Heizung der Prozessluft durch die Wärmepumpe auch die Erwärmung der Prozessluft durch eine elektrische Heizvorrichtung 21 möglich, welche beispielsweise für eine besonders schnelle Erhitzung der Prozessluft zugeschaltet werden kann. Die erwärmte Luft wird von hinten, d.h. von der einer die Befüllöffnung verschließenden Tür 22 gegenüber liegenden Seite der Trommel 3, durch deren gelochten Boden in die Trommel 3 geleitet. Die erwärmte Prozessluft gelangt somit in die Trommel 3, wo den in der Fig. nicht gezeigten feuchten Wäschestücken Feuchtigkeit entzogen wird.

[0070] Die feuchtwarme Prozessluft verlässt die Trommel 3 über ein Flusensieb 16 innerhalb der Tür 22, wird nach unten umgelenkt und strömt im Prozessluftkanal 2 zum Verdampfer 4 der Wärmepumpe, wo sie abgekühlt wird. Im Verdampfer 4 wird ein im Wärmepumpenkreis 4,5,13,14 zirkulierendes Kältemittel verdampft und über einen Kompressor 13 dem Verflüssiger 5 zugeführt, wo das Kältemittel unter Wärmeabgabe an die im Prozessluftkanal 2 fließende abgekühlte und entfeuchtete Prozessluft wieder in den flüssigen Zustand übergeht. Das in flüssiger Form vorliegende Kältemittel wird über ein Drosselventil 14 wiederum zum Verdampfer 4 geleitet, wodurch der Kältemittelkreis geschlossen ist. Im Verdampfer 4 kondensiert infolge Abkühlung die von der Prozessluft aus den Wäschestücken aufgenommene Feuchtigkeit und wird in einer Kondensatwanne 7 aufgefangen, von der aus es zur Aufbewahrung oder Entsorgung (hier nicht gezeigt) abgepumpt werden kann. 23 bedeutet Kondenswasser.

[0071] Die Steuerung von Trockner 1 erfolgt über eine Steuerungseinheit 10, die vom Benutzer über eine Bedieneinheit 24 geregelt werden kann. Der Trockner 1 weist zudem eine Auswerteeinheit 11 in der Steuerungseinheit 10 auf, welche die von den Sensoren gemessenen Messwerte auswertet.

[0072] Der Wärmepumpentrockner 1 eignet sich zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei insbesondere die Steuerungseinheit 10 eingerichtet ist zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0073] Eine optische und/oder akustische Anzeigevorrichtung 17 ermöglicht die Anzeige einer Restlaufzeit des Trocknungsprozesses im Hinblick auf einen vom Benutzer gewählten Restfeuchtwert, beispielsweise bügeltrocken, oder die Anzeige der ermittelten Beladung oder sonstiger Zustände des Trockners oder die Anzeige des Status des Trocknungsprozesses, beispielsweise in farblich differenzierter Form.

[0074] Bei der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform werden das Gebläse 6 und die Trommel 3 durch einen gemeinsamen Antriebsmotor 18 angetrieben, der bei dieser Ausführungsform ein bürstenloser Gleichstrommotor (BLDC) ist.

[0075] Zwei Tripelsensoren 26, 27, nämlich ein Tripelsensor 27 am ersten Ende 8 von Prozessluftkanal 2 und ein Tripelsensor 26 am zweites Ende 9 von Prozessluft-

kanal 2 sind mit der Steuerungseinheit 8, insbesondere der darin enthaltenden Auswerteeinheit 11, verbunden. Die Tripelsensoren 27, 28 können jeweils eine relative Luftfeuchtigkeit, eine Temperatur und den Luftdruck der Prozessluft messen und damit die Messwerte liefern, die für das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft sind, so dass die Restfeuchte H der Wäschestücke und insbesondere auch eine Beladung der Trommel 3 mit Wäschestücken ermittelt werden kann.

[0076] In der Trommel 3 befindet sich zur ergänzenden Bestimmung der Wäscheuchte ein Leitfähigkeitssensor 15, der auf einem Wäschemitnehmer 25 angeordnet ist.

[0077] Fig. 2 zeigt den Bereich des Verdampfers 4 der in einem erfindungsgemäßen Trockner eingesetzten Wärmepumpe. Am Kältemiteleintritt 19 ist ein erstes Thermometer 28 zur Messung der Kältemitteltemperatur T1 und am Kältemittelaustritt 20 ein zweites Thermometer 29 zur Messung der Kältemitteltemperatur T2 angeordnet. Der Verdampfer 2 steht im Kontakt mit dem Prozessluftkanal 2, um darin enthaltene feuchtwarme Prozessluft zu entfeuchten. Die dicken ausgefüllten Pfeile zeigen die Fließrichtung der Prozessluft an und die dünnen gestrichelten Pfeile die Fließrichtung des Kältemittels.

[0078] Fig. 3 zeigt den Verlauf der Überhitzung SH (Superheating) während eines Trocknungsprozesses. Man erkennt deutlich, dass SH zunächst ansteigt, um gegen Ende des Trocknungsprozesses, also mit zunehmender Zeit, abzufallen. Es ist dieser abfallende Teil der SH-Kurve, der besonders vorteilhaft für die Bestimmung der Restfeuchte herangezogen werden kann. Dieser Teil ist durch eine punktiert gezeichnete Tangente hervorgehoben.

[0079] Fig. 4 zeigt den Verlauf der gemessenen Wasserbeladung (Evap in) der Prozessluft am Eingang des Prozessluftkanals in den Verdampfer während eines Trocknungsprozesses.

[0080] Entsprechend der Änderung des in Fig. 3 gezeigten Kurvenverlaufes, fällt auch hier die Kurve der Wasserbeladung ab, was durch eine punktiert gezeichnete Gerade hervorgehoben ist.

[0081] Fig. 5 zeigt den berechneten Verlauf der spezifischen Enthalpie der Prozessluft während eines Trocknungsprozesses und entspricht somit insbesondere dem Verlauf der SH-Kurve in Fig. 3.

BEZUGSZEICHENLISTE

[0082]

- 1 Wärmepumpentrockner
- 2 Prozessluftkanal
- 3 Trommel
- 4 Verdampfer (der Wärmepumpe)
- 5 Kondensator (Verflüssiger) (der Wärmepumpe)
- 6 Gebläse
- 7 Kondensatwanne
- 8 Erstes Ende des Prozessluftkanals

- 9 Zweites Ende des Prozessluftkanals
- 10 Steuerungseinheit
- 11 Auswerteeinheit in der Steuerungseinheit
- 12 Horizontale (Dreh)Achse
- 13 Kompressor (der Wärmepumpe)
- 14 Expansionseinheit, Expansions(Drossel)ventil
- 15 Leitfähigkeitssensor in der Trommel
- 16 Flusensieb
- 17 Anzeigevorrichtung, optische und/oder akustische Auswerteeinheit
- 18 Antriebsmotor für Gebläse und Trommel, BLDC-Motor
- 19 Kältemiteleintritt am Verdampfer
- 20 Kältemittelaustritt am Verdampfer
- 21 (elektrische) Heizvorrichtung
- 22 Tür
- 23 Kondenswasser
- 24 Bedieneinheit
- 25 Wäschemitnehmer
- 26 Erster Tripelsensor (Temperatur, rel.Feuchte, Druck)
- 27 Zweiter Tripelsensor (Temperatur, rel.Feuchte, Druck)
- 28 Erstes Thermometer (im Kältemittelkreis vor dem Verdampfer)
- 29 Zweites Thermometer (im Kältemittelkreis nach dem Verdampfer)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Trockners (1) mit einer Trommel (3) zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor (18) für die Trommel (3), einem Prozessluftkanal (2) zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses (6) bewegt wird, der an einem ersten Ende (8) mit einer Luftauslassöffnung der Trommel (3) und an einem zweiten Ende (12) mit einer Lufteinlassöffnung (9) der Trommel (3) verbunden ist, einer Steuerungseinheit (10), einer im Prozessluftkanal (2) angeordneten Wärmepumpe mit einem Verdampfer (4), einem Kondensator (5), einer Expansionseinheit (14) und einem Kompressor (13), wobei am Kältemiteleintritt (19) des Verdampfers (4) ein erstes Thermometer (28) für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt (20) des Verdampfers (4) ein zweites Thermometer (29) für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist, um aus einer Überhitzung SH, die als Differenz T2-T1 berechnet werden kann, eine Restfeuchte H der Wäschestücke zu bestimmen, und wobei der Trockner (1) mindestens einen Sensor (26,27) zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft aufweist und die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist, um zur Bestimmung der Restfeuchte die gemessenen SH-Werte sowie die

Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen, wobei das Verfahren in einem Trocknungsprozess die folgenden Schritte umfasst:

- (a) Messung der Eingangstemperatur T1 am Kältemiteleintritt (19) des Verdampfers (4) und der Ausgangstemperatur T2 am Kältemittelaustritt (20) des Verdampfers (4);
 - (b) Berechnung der Überhitzung SH als Differenz T2-T1; und
 - (c) Bestimmung der Restfeuchte der Wäschestücke aus der Überhitzung SH mittels der Steuerungseinheit (10).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Überhitzung SH während des Trocknungsprozesses zumindest über einen vorgegebenen Zeitraum Δt_{set} kontinuierlich gemessen wird und bei Feststellung, dass die gemessene Überhitzung SH im Zeitraum Δt_{set} im Wesentlichen konstant ist, die gemessene SH als Referenzwert SH_{ref} für die Bestimmung der Restfeuchte verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Zeitraum Δt_{set} die Drehzahl des Gebläses (6) und/oder die Drehzahl des Kompressors (13) konstant ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Antriebsmotor (18) ein BLDC-Elektromotor ist und seine Antriebsleistung in Hinblick auf eine Beladung der Trommel (3) mit Wäschestücken ausgewertet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Sensor (26,27) einen Temperatursensor und einen Feuchtigkeitssensor umfasst und als Temperatursensor und als Feuchtigkeitssensor ein Dualsensor (26,27) verwendet wird, der gleichzeitig die Temperatur T_p und die relative Feuchtigkeit H_{rel} der Prozessluft messen kann.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zusätzlich die Verfahrensschritte
- (d) Vergleich der bestimmten Restfeuchte H mit einem oberen Grenzwert der Restfeuchte H^{set} ; und
 - (e) Beenden des Trocknungsprozesses bei Erreichen oder Unterschreiten der vorgegebenen Restfeuchte H^{set}

umfasst.

7. Trockner (1) mit einer Trommel (3) zur Aufnahme von zu behandelnden Wäschestücken, einem Antriebsmotor (18) für die Trommel (3), einem Prozessluftkanal (2) zum Führen von Prozessluft, in welchem Prozessluft mittels eines Gebläses (6) bewegt wird, wobei der Prozessluftkanal (2) an einem ersten Ende (8) mit einer Luftauslassöffnung der Trommel (3) und an einem zweiten Ende (12) mit einer Lufterlassöffnung (9) der Trommel (3) verbunden ist, einer Steuerungseinheit (10), und einer im Prozessluftkanal (2) angeordneten Wärmepumpe mit einem Verdampfer (3), einem Kondensator (5), einer Expansionseinheit (14) und einem Kompressor (13), wobei am Kältemiteleintritt (19) des Verdampfers (3) ein erstes Thermometer (28) für die Messung der Eingangstemperatur T1 und am Kältemittelaustritt (20) des Verdampfers (3) ein zweites Thermometer (29) für die Messung der Ausgangstemperatur T2 angeordnet sind, und die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist, um aus einer Überhitzung SH, die als Differenz T2-T1 berechnet werden kann, eine Restfeuchte der Wäschestücke zu bestimmen, und wobei der Trockner (1) mindestens einen Sensor (26,27) zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft aufweist und die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist, um zur Bestimmung der Restfeuchte die gemessenen SH-Werte sowie die Messwerte der Prozessluft und/oder daraus berechnete Berechnungsgrößen mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen.
8. Trockner (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der mindestens eine Sensor (26,27) zur Ermittlung von Messwerten der Prozessluft einen Temperatursensor und/oder einen Feuchtesensor umfasst.
9. Trockner (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Temperatursensor und als Feuchtigkeitssensor (26,27) ein Dualsensor oder Tripelsensor verwendet wird, der gleichzeitig die Temperatur T_p und die relative Feuchtigkeit H_{rel} der Prozessluft messen kann.
10. Trockner (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** er in der Trommel (3) einen Leitfähigkeitssensor (15) aufweist und die Steuerungseinheit (10) zur Bestimmung der Restfeuchte eingerichtet ist, um den mit dem Feuchtesensor in der Trommel gemessenen Feuchtigkeitsswert mit aus einem Vorhersagemodell bestimmten Modellparametern zu verknüpfen.
11. Trockner (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist, um aus dem gemessenen Strom des Antriebsmotors (18) auf einen Feuchtegehalt H der Wäschestücke in der Trommel (3) zu

schließen.

12. Trockner (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass er in der Wärme-
pumpe ein regelbares Expansionsventil (14) auf- 5
weist und die Steuerungseinheit (10) eingerichtet ist,
um durch die Regelung des Expansionsventils (14)
die Überhitzung SH in einem vorgegebenen Tem-
peraturbereich ΔT_{SH} zu halten. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

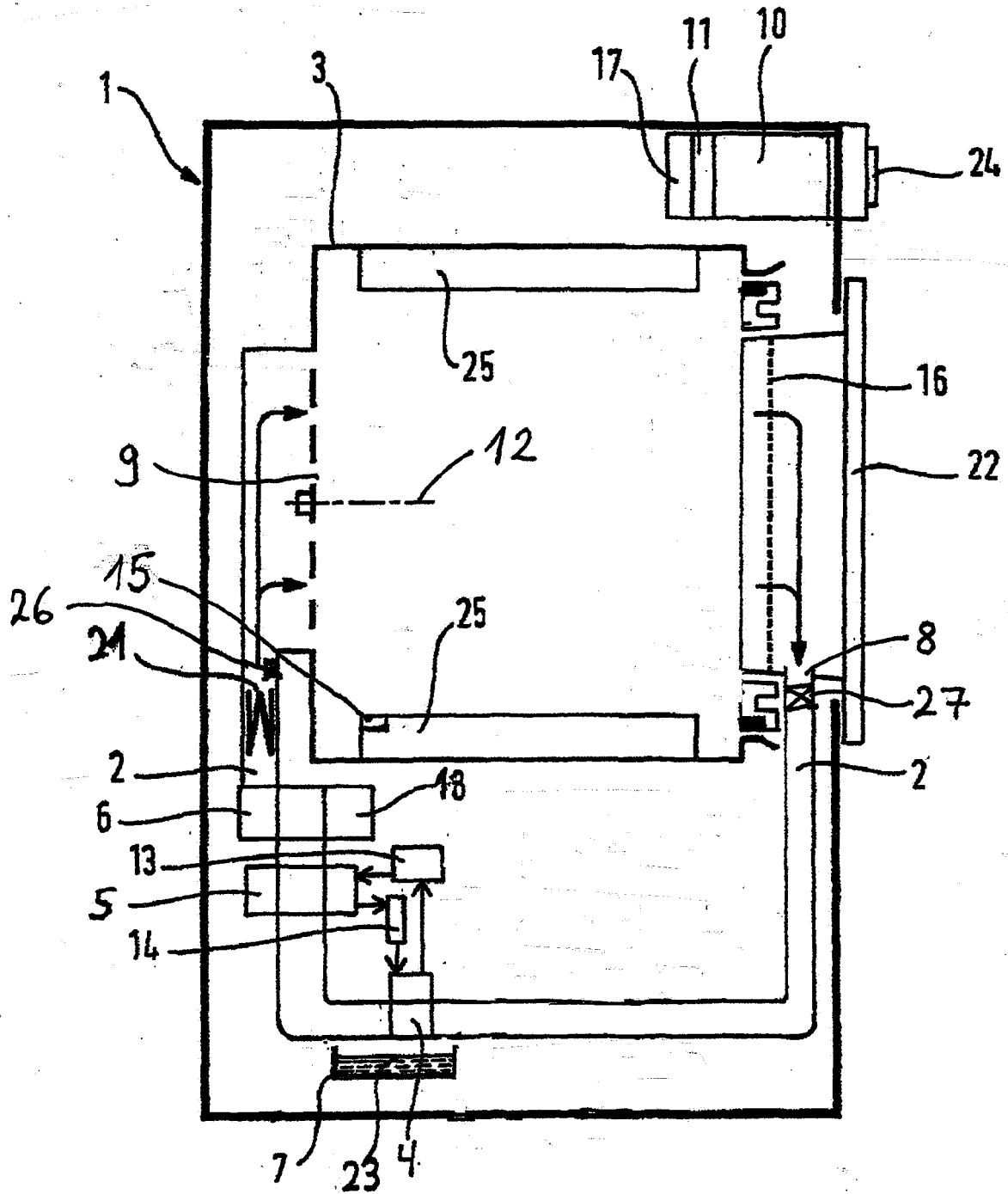


Fig. 2

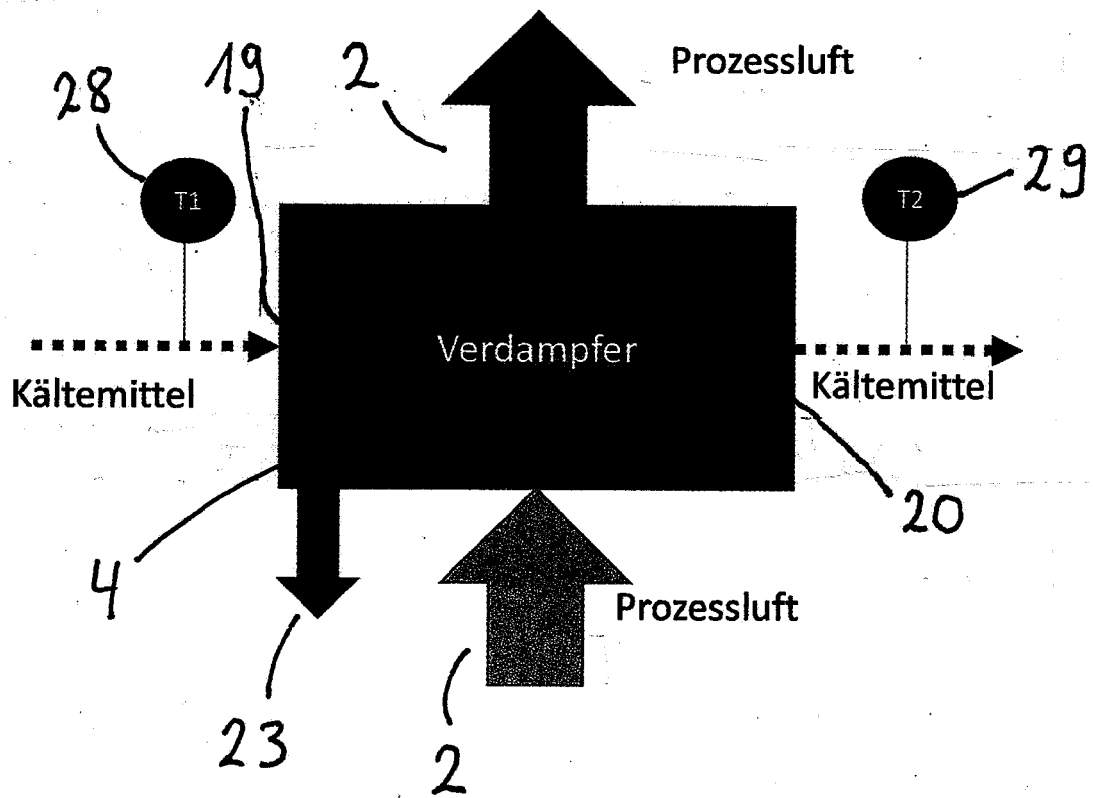


Fig. 3

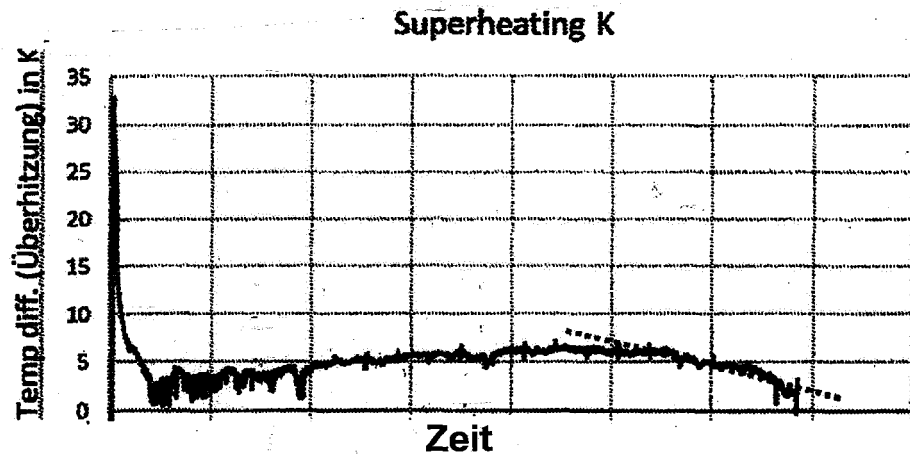


Fig. 4

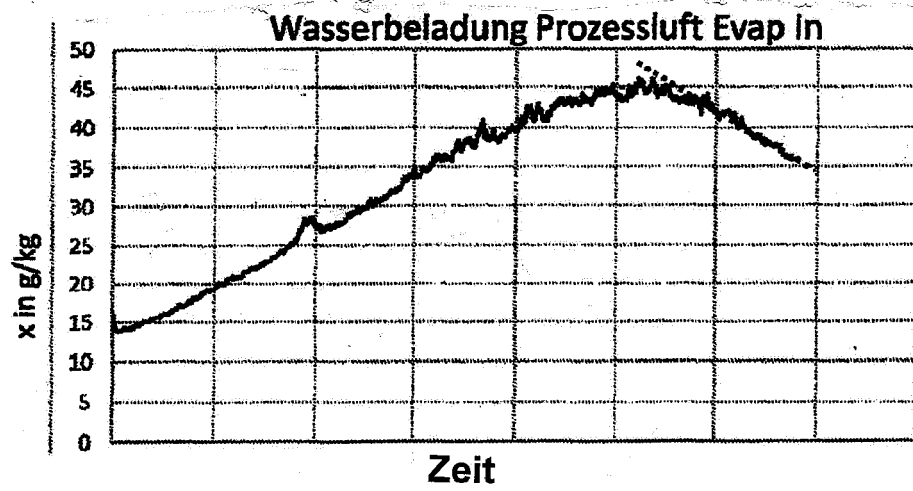
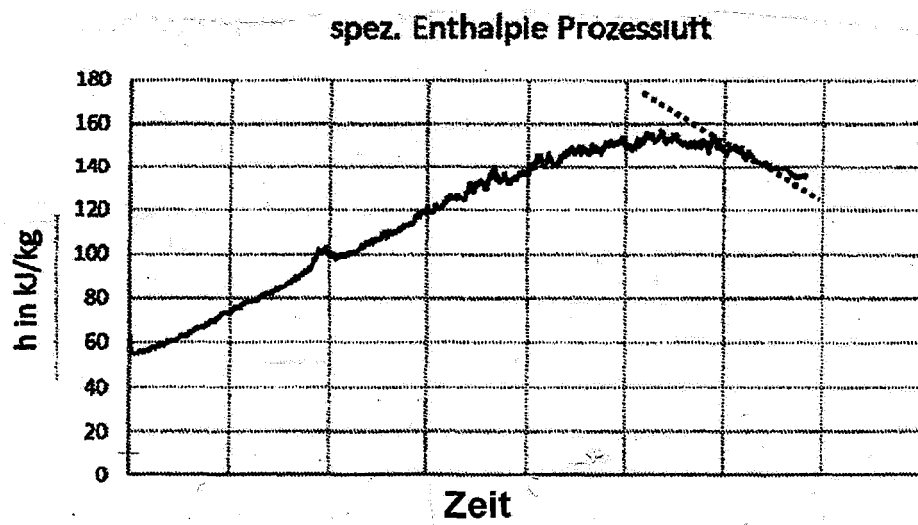


Fig. 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 5451

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	DE 10 2017 207601 A1 (BSH HAUSGERÄTE GMBH [DE]) 8. November 2018 (2018-11-08) * Zusammenfassung * * das ganze Dokument *	1-12	INV. D06F58/38
A	WO 2005/031231 A1 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL [JP]; TAMURA TOMOICHIRO [JP] ET AL.) 7. April 2005 (2005-04-07) * das ganze Dokument *	1-12	ADD. D06F58/20 D06F103/38 D06F105/12 D06F105/62 D06F103/50
A,D	EP 2 468 945 B1 (ELECTROLUX HOME PRODUCTS CORP NV [BE]) 17. April 2019 (2019-04-17)	1-12	
A,D	EP 2 745 760 A1 (ELECTROLUX HOME PROD CORP [BE]) 25. Juni 2014 (2014-06-25) * das ganze Dokument *	1-12	
A	WO 2014/133247 A1 (LG ELECTRONICS INC [KR]) 4. September 2014 (2014-09-04) * Abbildungen * * Ansprüche *	1-12	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			D06F
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. September 2023	Prüfer Stroppa, Giovanni
KATEGORIE DER GENANNTE 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 23 16 5451

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

15-09-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102017207601 A1	08-11-2018	KEINE	
WO 2005031231 A1	07-04-2005	CN 1759288 A	12-04-2006
		EP 1664647 A1	07-06-2006
		JP 4629670 B2	09-02-2011
		JP 2007528975 A	18-10-2007
		US 2006179681 A1	17-08-2006
		WO 2005031231 A1	07-04-2005
EP 2468945 B1	17-04-2019	AU 2011351628 A1	18-04-2013
		BR 112013016441 A2	20-09-2016
		CN 103403247 A	20-11-2013
		EP 2468945 A1	27-06-2012
		RU 2013135233 A	10-02-2015
		US 2014033561 A1	06-02-2014
		WO 2012089586 A1	05-07-2012
EP 2745760 A1	25-06-2014	KEINE	
WO 2014133247 A1	04-09-2014	AU 2013379892 A1	20-08-2015
		BR 112015020799 A2	18-07-2017
		CN 105051281 A	11-11-2015
		EP 2961877 A1	06-01-2016
		KR 20140107984 A	05-09-2014
		US 2016002843 A1	07-01-2016
		WO 2014133247 A1	04-09-2014

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2468945 B1 [0006]
- EP 2745760 A1 [0006]