

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Heute auf dem Markt befindliche Wäschetrockner mit Abluft- oder Kondensationssystemen und Elektroheizung haben einen hohen spezifischen Energieverbrauch und erreichen nicht die Anforderungen des Energielabel A ($\leq 0.55 \text{ kWh / Kg.}$).

Durch die Entwicklung eines Trockners mit einem Wärmepumpenheizsystem konnte der spezifische Energieverbrauch nahezu halbiert werden. Neben den ökologischen Aspekten können damit die Energiekosten deutlich reduziert und das Raumklima positiv beeinflusst werden. Weitere Gesichtspunkte für die Entwicklung des Wäschetrockners mit einer maximalen Belademenge von 6.5 kg Trockenwäsche waren:

- Kompakte modulare Bauweise; Integration der Wärmepumpe in das Gerätegehäuse
- Lange Betriebsdauer ohne Verflusung der Wärmetauscher
- Stabiler Prozess über den gesamten Trocknungsvorgang bis zu einer Umgebungstemperatur von 35°C

Vor allem die Prozessstabilität über den gesamten Trocknungsvorgang war eine besondere Herausforderung. Gelöst wurde dies durch einen zuschaltbaren Zusatzverflüssiger, der gegen Prozessende, wenn durch die geringe Restfeuchte in der Wäsche nur noch unwesentlich Energie abgeführt wird, eine Überhitzung des Verdichters verhindert. Die spezifische Leistungsaufnahme konnte auf unter 0.4 kWh / Kg gesenkt und die Leckrate auf unter 30 % reduziert werden. Dank dem kompakten, modularen Aufbau, konnte die Wärmepumpe in ein Gehäuse von der Grösse eines herkömmlichen 6.5 kg Trockners integriert werden.

Neben umfänglichen internen Erprobungen wurde ein Feldtest über mehrere Monate in Wohnüberbauungen und in gewerblichen Objekten durchgeführt. Beide zeigten die wesentliche Bedeutung eines umfassenden Schutzes vor Verflusung der Wärmetauscherflächen. Schlussendlich wurde dies durch eine Kaskadenfiltration über mehrere Filterstufen gelöst. Als Nachteil muss jedoch dadurch ein etwas erhöhter Wartungsaufwand in Kauf genommen werden.

Dieser höhere Wartungsaufwand und eine im Vergleich zu herkömmlichen Geräten etwas längere Trockenzeit wurden im Feldtest als eher negativ, das Trocknungsergebnis, die einfache Bedienung sowie die verbesserte Wäscheschonung wurden als positiv empfunden.

Mit diesem Wärmepumpentrockner wurde erstmals ein Gerät in der Klasse bis 6.5 kg zur Sebensreife entwickelt und in den Markt eingeführt, das sowohl die Anforderungen des Energielabel Klasse A erfüllt als auch auf Grund seiner kompakten Bauweise, Betriebssicherheit und einfachen Bedienung eine ernstzunehmende Alternative zu herkömmlichen Wäschetrocknern ist. Potentiale für zukünftige Entwicklungen liegen in der kostengünstigeren Herstellung des Wärmepumpenmoduls, die jedoch vor allem eine Steigerung der Stückzahl voraussetzt, der Verkürzung der Trockenzeit, der Auslegung und Dimensionierung der Wärmepumpen für Umgebungstemperaturen grösser 35°C und einer noch einfacher zu wartenden, jedoch effizienten Flusenfiltration.

Summary

Commonly available tumble dryers with air-vented or condenser systems in combination with electrical heating have a high specific energy consumption and never achieve the requirements of Energy Label A (≤ 0.55 kWh / kg.).

The development of a tumbler with a heat pump system has enabled a reduction of almost 50% in the specific energy consumption. In addition to the ecological aspects, this means that a significant reduction in energy costs is achieved as well as a beneficial effect on room climate. Other considerations taken into account in the development of the 6.5 kg tumble tumbler were:

- Compact modular design; integration of the heat pump in the appliance casing
- Long operating life without clogging-up of the heat exchanger by fluff
- Stable process throughout the drying in ambient temperatures of up to 35°C

Process stability in particular presented a tough challenge. The solution came in the form of an additional booster condenser that prevents overheating of the compressor towards the end of the process when only negligible amounts of energy are being carried away as a result of the low residual moisture in the laundry. It proved possible to reduce the specific power consumption to less than 0.4 kWh / kg and the leak rate to less 30 %. Thanks to the compact, modular design, the heat pump could be integrated in a housing which is the same size as a conventional 6.5 kg dryer.

Clogging-up of the heat exchanger surfaces with fluff was prevented by a multi-stage cascade filtration system.

With this heat pump dryer it has been possible for the very first time to develop to series production and launch an appliance in the up to 6.5 kg category that not only fulfils the requirements of Energy Label Class A but also offers a serious alternative to conventional tumble dryers thanks to its compact design, operating safety and ease of operation. Future development opportunities lie in more cost-effective production of the heat pump module, shortening of the drying time, the layout and dimensioning of the heat pump for ambient temperatures $> 35^{\circ}\text{C}$ and an even simpler-to-maintain, yet efficient fluff filtration system.

Synthèse

Les sèche-linge traditionnels équipés de systèmes d'évacuation de l'air ou de condensation et d'un chauffage électrique ont une consommation d'énergie spécifique élevée et n'atteignent pas les exigences requises par le label d'énergie A ($\leq 0,55$ kWh / Kg.).

Le développement d'un sèche-linge doté d'un système de chauffage comprenant une pompe thermique a permis de réduire la consommation d'énergie spécifique de près de la moitié. Outre les aspects écologiques, ce développement permet également de réduire considérablement les frais d'énergie et d'obtenir des effets positifs sur le climat ambiant. Les autres aspects relatifs au développement de ce sèche-linge de 6,5 kg étaient les suivants:

- Construction modulaire compacte; intégration de la pompe thermique dans le corps de l'appareil
- Longue durée d'exploitation sans obstructions dues aux peluches dans l'échangeur thermique
- Processus stable durant tout le cycle de séchage jusqu'à une température ambiante de 35°C

La stabilité du processus en particulier représentait un véritable défi. Ce point délicat a pu être résolu à l'aide d'un échangeur supplémentaire en option, qui vers la fin du processus, lorsque l'énergie superflue due à l'humidité résiduelle réduite dans le linge est éliminée, prévient une surchauffe du condenseur. La puissance absorbée spécifique a pu être réduite à moins de 0,4 kWh / Kg et le taux de déperdition en dessous de 30%. La construction compacte modulaire a permis d'intégrer la pompe thermique dans un corps équivalent - en taille - à un sèche-linge traditionnel de 6,5 kg.

La protection des surfaces de l'échangeur thermique contre l'obstruction du filtre par des peluches a été assurée par une filtration en cascade. Avec ce sèche-linge doté d'une pompe thermique, c'est la première fois qu'un appareil conçu dans la classe 6,5 kg bénéficie d'un intérêt particulier et qui, introduit sur le marché, est non seulement en mesure de répondre aux exigences de la catégorie A du «label énergie» mais représente une alternative de taille face au sèche-linge traditionnel de par sa construction compacte, sa sécurité de fonctionnement et son utilisation simple. Potentiels pour les développements à venir: une production relativement bon marché du module des pompes thermiques, un temps de séchage plus court, une conception et un dimensionnement des pompes thermiques pour des températures ambiantes $> 35^{\circ}\text{C}$ et un filtre à peluches encore plus simple d'utilisation et cependant plus efficace.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung (deutsch, englisch, französisch)

1.	<u>Ausgangslage</u>	7
2.	<u>Ziel der Arbeit</u>	8
3.	<u>Lösungsweg</u>	9
4.	<u>Hauptergebnisse</u>	13
5.	<u>Messkonzept zur Prüfung des Wärmepumpentumblers</u>	13
6.	<u>Darstellung der Lösung der einzelnen Teilaufgaben</u>	15
	6.1 <u>Stabilität des Kältekreises</u>	15
	6.2 <u>Verflusung des Wärmetauschertraktes</u>	16
7.	<u>Ausblick und offene Punkte</u>	17
8.	<u>Anhang</u>	19
	<u>Aufbau- und Prinzipschema Wärmepumpentrockner</u>	

1. Ausgangslage

Das Waschen von Kleidungsstücken bzw. Stoffen ist eine alltägliche Tätigkeit. Um die notwendige Trocknung zu beschleunigen, existieren neben der normalen Variante der „Passiven Trocknung“ im Freien oder in Heizungsräumen verschiedenste Prozesse.

Neben den Ablufttrocknern, die die nötige Verdunstungsleistung durch den Einsatz eines Heizelementes zur Erwärmung der Prozessluft aufbringen und diese nach einmaligem Durchlaufen des Prozesses nach aussen abführen, befinden sich ebenso luft- oder wassergekühlte Kondensationstrockner auf dem Markt. Die die Trommel verlassende feuchte Luft wird in einem Wärmetauscher unter den Taupunkt abgekühlt und durch Kondensation von einem großen Teil ihres Wassergehaltes befreit. Anschließend kann der Luftstrom erneut erhitzt werden und den Prozess durchlaufen. Dieses Prinzip hat gegenüber der Abluftvariante einen etwas höheren Energieverbrauch.

Eine weitere Optimierung im energetischen Sinne verspricht hier der Einsatz einer Wärmepumpe als Ersatz für das Heizregister zum Erhitzen bzw. des Wärmetauschers zum Auskondensieren der Feuchte.

2. Ziel der Arbeit

Durch den Bau eines Trockners auf der Basis eines Wärmepumpen-Heizsystems soll der notwendige Energieeinsatz eines Wäschetrockners im Vergleich zu bereits auf dem Markt befindlichen Abluft- und Kondensationssystemen (mit Elektro-Heizungen) erheblich gesenkt werden, ohne andere Systemparameter wie Laufzeiten und Feuchtigkeitsverluste über Leckagen negativ zu beeinflussen. Ebenfalls soll das Energielabel A (spezifischer Energieverbrauch von $\leq 0,55$ kWh/kg) für einen Wäschetrockner mit einer maximalen Belademenge von 6,5 kg Trockenwäsche erworben werden. Als Verbrauchswerte nach EN 61121 sollten nach den Projektanforderungen ein spezifischer Energieverbrauch von $\leq 0,4$ kWh /kg Wäsche, eine Trocknungszeit von ≤ 95 min und eine Leckrate von max. 35% erreicht werden. Mit diesen Vorgaben soll sich eine Halbierung des Energieverbrauchs ergeben. Der Wärmepumpen-Prozess soll bis zu einer Umgebungstemperatur von 30°C stabil und eigensicher laufen. Im Laufe des Projektes wurden die Anforderungsschwerpunkte neu gewichtet. Das Umgebungstemperaturmaximum wurde auf 35°C heraufgesetzt. Hierfür wurde eine Trocknungszeit von ≤ 100 min akzeptiert.

Die Auswahl der Prozessvariante soll anhand einer Auswertung bereits früher durchgeführter Projekte und einer Analyse eventuell patentrechtlich geschützter Alternativen erfolgen.

Die Umsetzung der gewählten Variante muß sowohl kostengünstig als auch von den geometrischen Abmaßen kompakt erfolgen und vollständig in eine bereits vorhandene Ablufttrocknerserie der Schulthess Maschinen AG integriert werden. Das Filtersystem soll optimiert werden, indem neben dem Standardflusenfilter zusätzliche, leicht zu wartende Filter eingebaut werden. So sitzt eine 2. Filterstufe kurz vor dem Eintritt in den Wärmetauschertrakt der Wärmepumpe. Und direkt vor dem Verdampfer eine 3. Filterstufe. Damit soll die Verflutung der systemwichtigen Wärmetauscher auf ein absolutes Minimum reduziert und damit dauerhaft die Leistungsfähigkeit der Wärmepumpe sichergestellt werden.

3. Lösungsweg

Trocknungsprozess im Wärmepumpentrockner:

Ähnlich einem Kondensationstrockner wird auch bei dem auf einer Wärmepumpe basierenden Trockner ein Ausblasen angefeuchteter Luft in die Umgebung durch Kreisführung vermieden. Warme Luft mit geringer relativer Feuchte (im Bereich von ca. 30- 40%) durchströmt die mit Wäsche gefüllte Trommel, entzieht dieser die Feuchte und verlässt die Trommel. Anschließend wird der Luftstrom über den Verdampfer der Wärmepumpe geführt. Hier wird ihr die für den Wärmepumpenprozess benötigte Verdampfungsenergie entzogen, welche hauptsächlich aus dem Phasenübergang des Wassers vom dampfförmigen in den flüssigen Zustand stammt. Das auskondensierte Wasser wird aus dem Trockner herausgeführt. Die abgekühlte Luft wird vom hinter den Verdampfer geschalteten Verflüssiger wiederum auf eine Temperatur von 60-70°C erhitzt und in die Trommel von Neuem eingeleitet (siehe Anhang I)

Angewandte Prozessvariante:

Zum Aufbau eines Wäschetrockners auf Wärmepumpenbasis gilt es, Verschiedenes zu beachten. Bedingt durch geltende physikalische Grundlagen nimmt die Stabilität des Wärmepumpentrocknungsprozesses zum Ende hin stetig ab. Ein gleich bleibender Energieeintrag über den gesamten Prozess hin steht einer abnehmenden Verdampfungswärme, verursacht durch den sich verringernden Wassergehalt in der zu trocknenden Wäsche, gegenüber. Dieser Situation muss durch die bewusste Einbringung eines energieabführenden Bauteiles, welches zum Ende des Prozesses hin in Betrieb genommen werden kann, Rechnung getragen werden. Diese Maßnahme soll weder dem Ziel, eine Energieverbrauchsreduzierung zu erreichen, entgegenwirken, noch soll hierdurch ein Feuchteaustrag von mehr als 35% in die Umgebung verursacht werden.

Eine Energieabfuhr aus dem Luftkreis des Trockners ist theoretisch vor bzw. nach der Trommel erreichbar. Praktisch jedoch besitzt dieser Ansatz Nachteile. Nach der Trommel befindet sich die Temperatur der Prozessluft auf einem vergleichsweise geringem Niveau, der Feuchtegehalt ist aber sehr hoch. Würde der Prozess hier nach außen geöffnet werden, wäre ein geforderter maximaler Feuchteaustrag von 35% in die Umgebung nicht einzuhalten. Ein Energieaustrag vor der Trommel würde einen übermäßigen Feuchteaustrag verhindern. Diese Option ist jedoch patentrechtlich geschützt.

Der Prozess besitzt in Verbindung mit einer Wärmepumpe aber noch weitere Möglichkeiten einer Energieabfuhr zum Ende des Prozesses hin.

Der Wärmepumpenprozess des Trockners kann hier auf mehrere Weisen beeinflusst werden. Am effektivsten wird überschüssige Energie durch das Einbringen eines zusätzlichen Wärmetauschers auf der Hochdruckseite des Wärmepumpenprozesses abgeführt. Dieser zusätzliche Wärmetauscher kann sowohl als Enthitzer vor dem regulären Verflüssiger als auch danach als Unterkühler in das System eingebunden werden. Nachteil eines Enthitzers ist es, dass die am Trommeleintritt erreichbare Lufttemperatur durch dieses Bauteil nachteilig begrenzt wird. Daher fiel die Entscheidung zugunsten eines Unterkühlerprozesses aus. Der Unterkühler wird bedarfsabhängig zwangsbelüftet. Der hierbei eingesetzte Axial-Ventilator und damit der Prozess der Wärmeabfuhr gegen Trocknungsende wird von einem Thermostat geregelt. Der Thermostat sitzt am Heißgasrohr des Kältemittelkreislaufes.

Prinzipschema WP-Tumbler mit geschlossenem Luftkreis und Zusatzverflüssiger

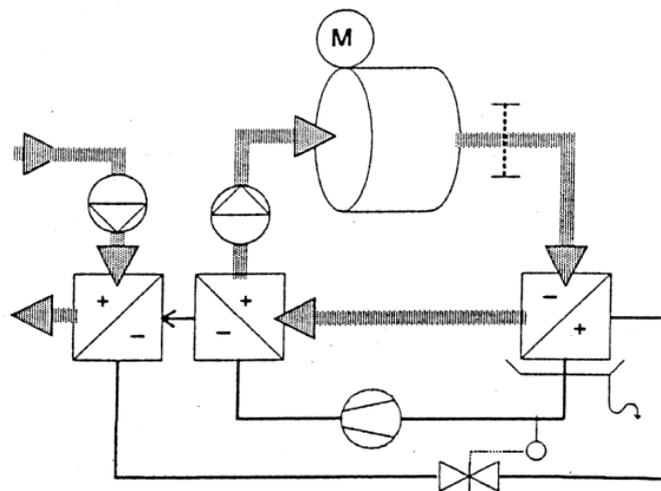


Bild 1 „Prinzip Unterkühler = Zusatzverflüssiger“

Das abgeschlossene Luftführungssystem über beide Wärmetauscher, durch Trommel und das Filtersystem und die Zuhilfenahme eines Prozessluftgebläses mit im Schnitt $420 \text{ m}^3/\text{h}$ Volumenstrom gewährleisten die Funktion des Gerätes.

Die bei hohen Lufteintrittstemperaturen entstehenden Kältemitteltemperaturen erfordern eine sehr hohe thermische Belastbarkeit des Verdichters. Das gewählte Model (Rollkolbenverdichter Mitsubishi RB231YFY) ist für den Einsatz mit R134a bis zu Verdampfungstemperaturen von 31°C und Verflüssigungstemperaturen von 81°C freigegeben.

Aufbau:

Zum Aufbau des Wärmepumpentrockners wurde als Ausgangsbasis ein Ablufttrockner Spirit T6250 der Firma Schulthess Maschinen AG verwendet. Nach Entfernung der in der Bodengruppe untergebrachten Luftkanäle, beginnend vom Türeinsatz bis hin zur Ausblasöffnung an der Rückseite des Gerätes, inklusive des verbauten 160mm Gebläses, konnten im beengten Bodenraum des Trockners die Bauteile des Wärmepumpenmoduls eingebracht werden. Die in einem aus ABS gefertigten Luftkanal untergebrachten Hauptwärmetauscher des kältetechnischen Prozesses, der Verdichter und das Expansionsventil füllen den freien Raum unter der Trommel fast vollständig aus, wie die folgenden Bilder zeigen. Der Unterkühler wurde an der Front der Bodengruppe hinter einer ausreichend großen Luftöffnung angebracht, um die Durchströmung mit Umgebungsluft zu sichern. Die im Verdampfer anfallende Kondenswassermenge wird über ein Schlauch- oder Rohrsystem durch das Gerät an die Rückseite des Trockners in einen Sammelbehälter geführt und von dort durch eine getaktete Kondensatpumpe abgeführt.



Bild 3 „Wärmepumpenbodengruppe“

4. Hauptergebnisse

Durch den Einsatz einer Wärmepumpe im Trocknungsprozess konnte eine maximale Aufnahmeleistung von 0,4 kWh/kg Wäsche bei einer Kapazität von 6,5kg pro Trocknungsvorgang erreicht werden. Die geforderte Stabilität des Prozesses bei Umgebungstemperaturen bis zu 35°C ist gegeben. Dies wird durch den Einsatz eines genügend groß dimensionierten Unterkühlers, angeströmt durch Umgebungsluft, ermöglicht. Durch Abführung der überschüssigen Energie über einen Unterkühler kann die Leckrate des Trockners auf 30% begrenzt werden.

5. Messkonzept zur Prüfung des Wärmepumpentumblers

Das Gerät wurde entsprechend der gültigen Norm IEC 61121 eingemessen. Die Norm schreibt die Verwendung einer standardisierten Normwäsche definierter Zusammensetzung vor. Eine Normalisierung der Wäsche wurde nach Anhang B „Knochentrocken-Methode“ durchgeführt und eine Prozessladung von 6,5kg ermittelt. Vor Prozessbeginn wurde die Prozesswäsche in einem handelsüblichen Waschautomaten gewaschen und mit 800 U/min geschleudert. Anschließend wurde das Gewicht der Prozessladung manuell auf 11,05kg (\cong 170% Normgewicht) angepasst. Das Prozessende wird durch den in den Trockner integrierten Restfeuchtefühler definiert. Die gültigen Messungen (Wäschegewicht nach Trocknungsprozess $6,5 \pm 0,195\text{kg}$) wurden bezüglich Energieverbrauch und Trockenzeit anhand der in der Norm IEC 61121 angegebenen Formeln korrigiert.

Um Messungen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen zu realisieren, wurde der Wärmepumpentrockner in einer Klimakammer bei Temperaturen von 5°C (untere Einsatzgrenze), 20°C(Normpunkt) und 35°C (obere Einsatzgrenze) vermessen.

Die Prozessdatenerfassung wurde durch eine computergestützte Lösung realisiert. Die erfassten Parameter können dem folgenden Messstellenplan entnommen werden.

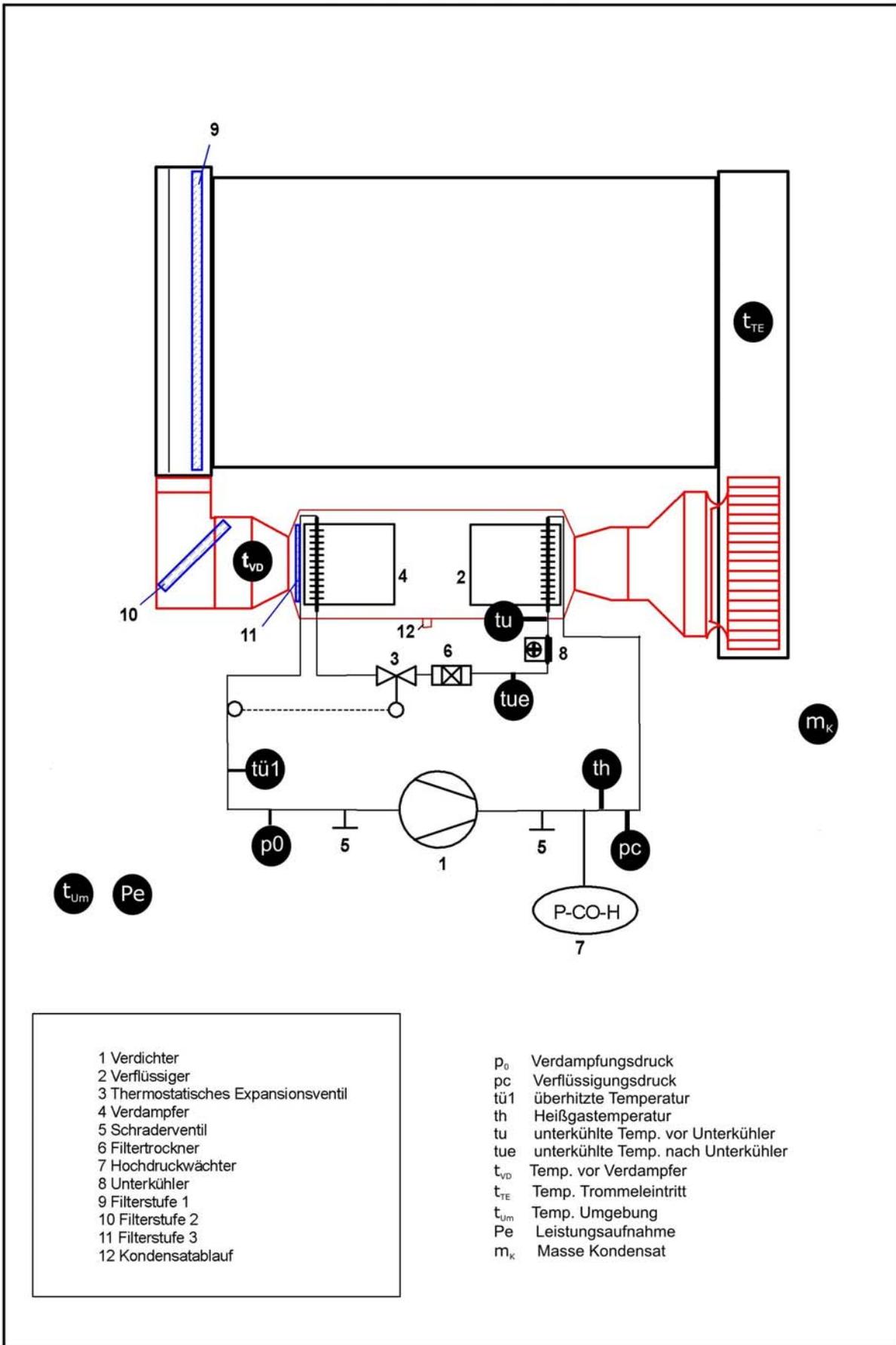


Abb. Messstellenplan

6. Darstellung der Lösung der einzelnen Teilaufgaben

6.1 Stabilität des Kältekreises

Beim Einsatz einer Wärmepumpe in einem Trockner gilt es, verschiedene Besonderheiten des Wärmepumpenprozesses in die Auslegung des Gerätes mit einfließen zu lassen, um eine ausreichende Stabilität des Prozesses zu erreichen.

Haupteinflussgrößen sind hier die Umgebungstemperatur beim Start des Gerätes als auch der Verlauf des Trockenprozesses. Zu Beginn muss das gesamte System von Umgebungs- auf Betriebstemperatur gebracht werden. Dies erfordert möglichst große Heizleistung, da eine übermäßig lange Aufheizzeit die energetische Effizienz und Dauer eines Trockenganges negativ beeinflusst.

Prozessbedingt nimmt der Wärmebedarf zum Ende eines Trockenganges hin aufgrund des sinkenden Wassergehaltes des Trockenguts ab. Da es nicht möglich ist, eine Wärmepumpe ähnlich wie ein Heizregister zu takten, um den Energieeintrag in den Trocknungsprozess zu vermindern, bedarf es einer geeigneten Energieabfuhr, die bedarfsgeregelt in den Prozess eingreift.

Wie bereits genannt, wird im Wärmepumpentrockner der Firma Schulthess Maschinen AG ein zusätzlicher Wärmetauscher als Unterkühler betrieben. Dieser wird durch einen Axiallüfter bedarfsgeregelt zwangsbelüftet. Um die notwendige Energieabfuhr am Ende des Prozesses zu ermitteln, wurde der verbaute Wärmetauscher durch einen Lüfter mit sehr hoher Volumenstromleistung mit Luft beaufschlagt. Nach Erreichen eines stabilen Betriebes auch im Bereich der erhöhten Einsatzgrenzen von 35°C konnte die notwendig abzuführende Energiemenge ermittelt werden. Der Einsatz eines geeigneten Axiallüfters und eines im Vergleich zu vorher vergrößertem Unterkühlers stellt den stabilen Betrieb unter Berücksichtigung der auftretenden Druckverluste im Bereich der Gerätefrontblende sicher.

6.2 Verflusung des Wärmetauschertraktes

Ein bedeutender Systemkennwert für den stabilen Betrieb eines Wärmepumpentrockners ist der zirkulierende Luftvolumenstrom bzw. der Wärmeübergang der Wärmetauscher an diesen. Beides wird durch die freie im System befindliche Flusenmenge beeinflusst. Ein zu großer Flusenanteil bewirkt eine Deckschichtbildung auf der Oberfläche der Lamellenwärmetauscher. Dies führt mittelfristig zu vermindertem Wärmeübergang als auch im Extremfall zu einer Querschnittsverengung im Bereich des Wärmetauschertraktes, was eine Verminderung des Luftvolumenstromes bewirkt. Es gilt hier durch den Einbau eines erweiterten Filtrationssystems den komplikationslosen Betrieb des Gerätes zu gewährleisten.

Im Wärmepumpentrockner wurde neben dem Standardflusenfilter (Filtrationsstufe 1) ein Zusatzfilter vorgesehen, welcher im Luftkanal des Frontwandeinsatzes eingebracht werden konnte. Dieser Zusatzfilter (Filtrationsstufe 2) wurde leicht entnehmbar konzipiert. Eine Filtrationsstufe 3 wurde mittels eines direkt an den Verdampfer-Lamellen anliegenden Filtervlieses realisiert.

Um eine maximale Filtrationsleistung zu erreichen, wurde untersucht, ob ein zweiteiliger Aufbau der Filtrationsstufe 2 im Vergleich zu einem einteiligen Aufbau zusätzliche Vorteile bietet.

Am Gerät des WPT Schulthess MaschinenAG wurden 2 Versuchszyklen betreffend der Filtrationsleistung mit einteiligem bzw. zweiteiligem Zusatzfilter durchgeführt:

Zyklus 1: Filtrationsstufe1, zweiteilige Filtrationsstufe 2, Filtrationsstufe 3

Zyklus 2: Filtrationsstufe1, einteilige Filtrationsstufe 2, Filtrationsstufe 3

Pro Zyklus wurden je 16 Trockengänge, in Anlehnung an EN 61121, durchgeführt unter Verwendung eines Satzes Normwäsche. Die Wäsche wurde normgerecht auf 11,05kg angefeuchtet. Sämtliche Filterstufen wurden vor Beginn des Zyklus vollständig gereinigt (mit Druckluft ausgeblasen). Als Trocknungsprogramm wurde „Schranktrocken“ verwendet. Alle Filterstufen wurden zwischen den 16 Trocknungsgängen nicht gereinigt.

Nach Abschluss der Messreihen wurden die einzelnen Filtrationsstufen aus dem Testgerät ausgebaut und optisch bewertet. Hier zeigte sich, dass die erreichte Filtrationsleistung unter Einsatz des einteiligen Zusatzfilters im Luftkanal in Verbindung mit dem Standardfilter und dem Filtervlies ausreichend ist, um eine mittelfristig bis langfristige Verflutung des Verdampfers der Wärmepumpe zu verhindern.

7. Ausblick und offenen Punkte

Das Projekt hat gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist einen Wäschetrockner mit integrierter Wärmepumpe zu entwickeln und in den Markt einzuführen. Die Projektziele wurden im wesentlichen erreicht. Der Energieverbrauch kann durch den Einsatz eines Wärmepumpentumblers gegenüber den herkömmlichen Trockner um bis zu 50 % gesenkt werden.

Der ökologische und ökonomische Erfolg wird jedoch massgeblich davon abhängen, in wie weit mit den innovativen Wärmepumpentrockner eine deutliche Marktdurchdringung erreicht werden kann.

Wesentliche Einflussfaktoren dafür sind:

- die Entwicklung der Energiepreise
- Das ökologische Bewusstsein und die Bereitschaft dafür Geld auszugeben
- Die weitere Senkung der Herstellkosten
- Die Kundenakzeptanz

Ein mehrmonatiger Feldtest in der Schweiz (Mehrfamilienhäuser und Gewerbe) zeigte unterschiedliche Ergebnisse. Die einfache Bedienung und das Trocknungsergebnis wurden als sehr positiv bewertet. Kritisiert wurde die um bis zu 30 % längere Trocknungszeit (Schranktrocknen) sowie der zusätzliche Aufwand für die Reinigung der Kaskadenfilter. Als idealer Problemlöser erwies sich der Wärmepumpentrockner für Aufstellorte, bei denen herkömmliche Trockner aufgrund der hohen Abgabe von Wärme und Feuchte an den Aufstellort bzw. der fehlenden Anschlussmöglichkeit für einen Ablufttrockner nicht eingesetzt werden konnten.

Potential für die Zukunft bieten vor allem:

Senkung der Herstellkosten

Durch weitere Modularisierung und Automatisierung in der Produktion können hier zusätzliche Kostensenkungspotenziale erschlossen werden. Massgeblich werden hierzu jedoch die Erhöhung der Stückzahl sein um von der „Economy of Scale „ zu profitieren. Insbesondere der spezielle Verdichter mit seiner hohen Leistung und noch verhältnismässig geringen Stückzahl sind ein grosser Kostenfaktor.

Erweiterung des Einsatzbereichs:

Auch wenn das Gerät mit einem Einsatzbereich für Umgebungstemperatur von + 5°C bis + 35°C bereits einen grossen Bereich abdeckt, gibt es dennoch Aufstellorte an denen eine Erhöhung des Einsatzbereichs nach oben wünschenswert wäre. Um für den Bereich > 35°C noch einen stabilen Prozess garantieren zu können, müssen neben einer entsprechenden Auslegung und Dimensionierung der Wärmepumpe noch zusätzliche Massnahmen getroffen werden. Andere Potentiale liegen in der Prozesssteuerung und im Einsatz von anderen Kältemitteln entsprechend der neuen Stoffverordnung.

Steigerung des Kundennutzen:

Die Entfernung der Flusen mittels Kaskadenfiltration brachte den Durchbruch beim Sichern einer hohen Funktionssicherheit und Lebenserwartung. Im Bereich des Handlings und der Reinigung dieser Filterstufen gibt es jedoch noch durchaus Verbesserungspotenzial. Auch die Verkürzung der Trockenzeit wird ein wesentlicher Weg zur Steigerung der Kundenzufriedenheit sein.

Erhöhung der Wirtschaftlichkeit

Bereits bei den heutigen Stromkosten ergeben sich gegenüber Abluft- und Luftkondensationsstrocknern Einsparungen von bis zu 4'800.00 CHF in 10 Jahren (bei 1200 Programmen p.a.) Wärmepumpentrockner sind somit – bei längerfristiger Betrachtungsweise- bereits heute eine wirtschaftliche Alternative.

In der Zukunft dürfte dieser Vorteil durch steigende Energiepreise und bei weiterer Senkung der Herstellkosten und Verkaufspreis noch weiter an Attraktivität gewinnen.

Aufbau - und Prinzipschema

8. Anhang Wärmepumpentrockner Spirit topline TWP 6700

Funktionsprinzip

Der Luftkondensator mit Wärmepumpe bildet einen geschlossenen Kreislauf. Die feuchtwarme Luft wird im Verdampfer (Wärmetauscher A) abgekühlt und kondensiert. Die so getrocknete Luft wird im Verflüssiger (Wärmetauscher B) wieder erwärmt und in die Trommel geleitet. Die Wäsche wird getrocknet.

Trommel

- Wäsche wird erwärmt (max. 65°C) und entfeuchtet

Luftrückführung

- direkt in die Trommel

Kompressor

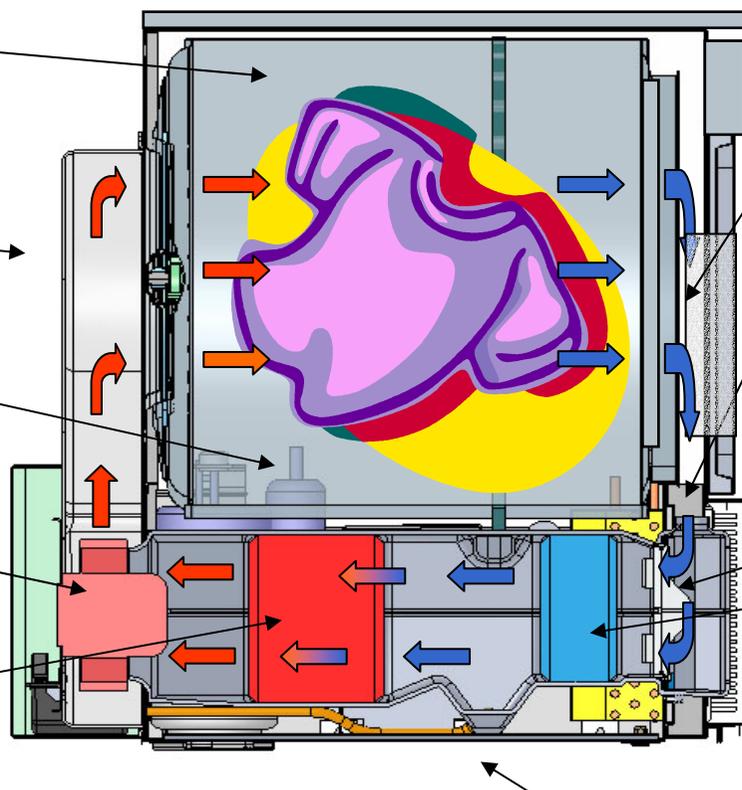
- Kältemittel wird verdichtet
- Druck und Temperatur steigen

Luftgebläse

- Prozessluft wird umgewälzt

Verflüssiger-Wärmetauscher B

- Prozessluft wird erwärmt



Flusenfilter

- beim Trommelaustritt

Abluftleitung

- zum Wärmepumpen-Modul

Flusenfilter

- 2-fach Filtrierung
vor Verdampfereintritt

Verdampfer-Wärmetauscher A

- Prozessluft wird abgekühlt
und entfeuchtet

Kondensatablauf

- Direktablauf mittels Pumpe

Vorteile

Bei guter Trocknungsleistung bis zu 50% weniger Stromverbrauch und Energiekosten. Dank niedriger Prozesstemperatur können Textilien nicht einlaufen und unterschiedliche Wäschearten schonendst getrocknet werden. Das Sortieren von temperaturempfindlichen Textilien entfällt.