

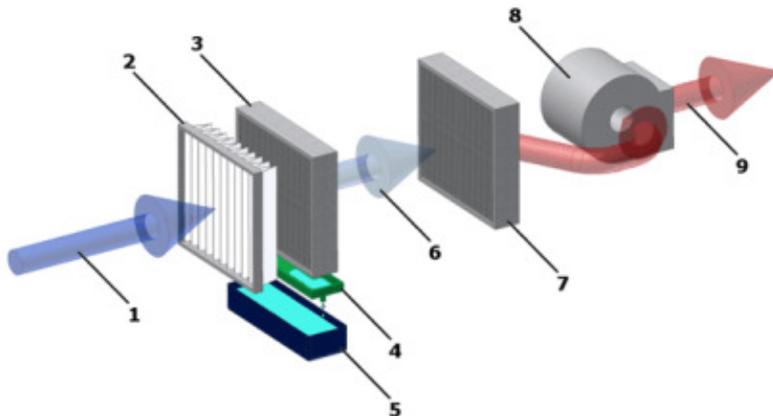
Wissenswertes zu Kondensationsluftentfeuchtern - Funktionsweise und Betreibererfahrungen von 2002

Mit dem in der Überschrift gewählten Begriff wird das Funktionsprinzip beschrieben:

Luftentfeuchtung durch Kondensation (=Verflüssigung) eines Teils des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes und Abscheidung des flüssigen Wassers.

Dieses Prinzip wird gleichermaßen in kleineren - vom Handel meist als Luftentfeuchter bezeichneten und wohnraumtauglich "umhüllten" - Geräten realisiert wie auch in größeren - die man dann als Bautrockner bezeichnet. Letztere verfügen häufig noch über spezielles Zubehör, beispielsweise Luftschläuche für die Durchlüftung von Hohlräumen.

Das nachfolgende (aus dem Internet "geklaute" <http://www.masterheaters.de/Entfeuchtungsverfahren,179.html>) Bild zeigt, was in solchen Geräten mit der Luft geschieht.



Ein Lüfter (8) saugt feuchte Luft (1) aus dem Raum an und erwärmte, getrocknete Luft (9) strömt wieder in den Raum.

Nach dem Filter (2) durchströmt die Luft im Gerät zwei Wärmeübertrager (3 und 7), die ähnlich aussehen wie Autokühler (Rohrregister mit Blechlamellen). Im Wärmeübertrager (3) wird die - um die Rohre und Blechlamellen strömende - Luft so weit abgekühlt, dass ein Teil des Wasserdampfes flüssig wird, die Flüssigkeit in die Abtropfschale (4) fällt und im Behälter (5) gesammelt - bei manchen Geräten per Schlauch auch direkt abgeleitet - wird.

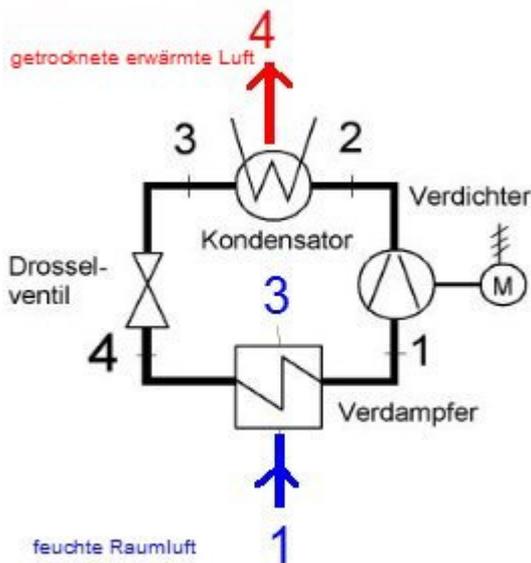
Im Wärmeübertrager (7) wird die trocknere Luft aufgeheizt und danach wieder in den Aufstellungsraum geblasen.

In den beiden Wärmeübertragern strömt in den Rohren - also stofflich von der Luft getrennt - das sogenannte "Arbeitsmittel" einer **Kältemaschine**, die so funktioniert, wie das Aggregat in einem Kühlschrank.

Das heißt, das in der Kältemaschine zirkulierende Medium (Arbeitsmittel) steht einmal bei tiefer Temperatur für die "Luftbehandlung" als Kühlmedium (Wärmeübertrager (3) zur Verfügung und ein zweites Mal bei hoher Temperatur als Heizmedium (Wärmeübertrager (7)).

Außer den beiden Wärmeübertragern gehören ein Verdichter und ein Drosselventil zur Kältemaschine. Das Arbeitsmittel "durchläuft" die einzelnen Bauteile so, dass es nach einem Zyklus wieder seinen Ausgangszustand erreicht.

Solange die Kältemaschine arbeitet, stehen gleichzeitig kaltes und warmes Arbeitsmittel in konstanter Menge und Qualität in den Wärmeübertragern für die "Luftbehandlung" zur Verfügung.



Der im nebenstehenden Schaltbild einer einfachen Kältemaschine (schwarze Linien, Ziffern und Begriffe) unten dargestellte Wärmeübertrager - der Verdampfer - ist im Prinzipbild der Wärmeübertrager (3), der Kondensator ist der Wärmeübertrager (7).

Bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur des Arbeitsmittel wird im Verdampfer mit thermischer Energie aus der warmen feuchten Luft das Arbeitsmittel vollständig verdampft (4=>1).

Der Arbeitsmitteldampf wird im Verdichter auf einen höheren Druck p_2 gebracht (1=>2).

Fast die gesamte Verdichterantriebsarbeit wird dabei auf das Arbeitsmittel übertragen und so steigt auch die Arbeitsmitteltemperatur ($p_2 > p_1, t_2 > t_1$).

Bei der Verflüssigung (Kondensation) des Arbeitsmittels im Kondensator (2=>3) freigesetzte thermische Energie dient der Aufheizung der getrockneten Luft.

Im Drosselventil wird das Arbeitsmittel wieder auf den niedrigen Druck p_1 gebracht und so ist der Kreislauf geschlossen. Beim Drosselvorgang (3=>4) bleibt der Energiestrom des Arbeitsmittels (etwa) unverändert.

Fassen wir kurz zusammen:

Die Kältemaschine liefert durch Wandlung von (elektrischer) Antriebsarbeit kontinuierlich einen Arbeitsmittelstrom, der im Wärmeübertrager (3) die angesaugte Raumluft abkühlt und gleichzeitig im Wärmeübertrager (7) die trocknere Luft erwärmt.

Die (vereinfachte) Energiestrombilanz für den Luftentfeuchter lautet:

Der der abgekühlten Luft "entzogene" Wärmestrom und die dem Gerät zugeführten elektrischen Leistungen (für Verdichter und Lüfter) werden der trockneren Luft zugeführt.

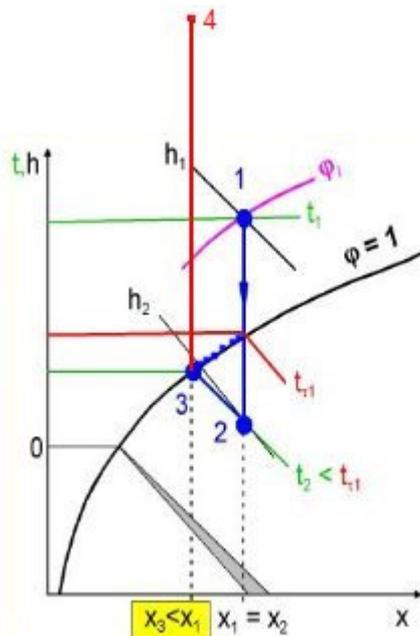
Die im vorstehenden Bild blau bzw. rot eingetragenen Linien, Ziffern und Begriffe symbolisieren den Luftstrom durch das Gerät und dabei auftretende markante Zustände.

Die **Vorgänge in der Luft** kann man anschaulich im **MOLLIER-h,x-Diagramm** verfolgen und dort auch spezielle Werte für Berechnungen gewinnen.

Weil sich bei der Wärmeabgabe an das Arbeitsmittel (1=>2) an der Masserelation von Wasser zu trockener Luft nichts ändert, bleibt der Wassergehalt konstant $x_1 = x_2$. Die

Zustandsänderung verläuft senkrecht nach unten und erreicht - solange kein flüssiges Wasser "abgeschieden" wurde - den im folgenden Bild mit 2 bezeichneten Zustand - übersättigte feuchte Luft.

Die Verdampfungstemperatur des Arbeitsmittels ist kleiner als die Lufttemperatur t_2 .



Die Darstellung der Zustandsänderungen entspricht der Modellvorstellung, dass die Abkühlung der Luft (1=>2) und die Flüssigkeitsabscheidung (2=>3) nacheinander ablaufende Teilprozesse und klar gegeneinander abgrenzbar sind. In der Realität beginnt mit dem Erreichen der Taupunkttemperatur auch die Flüssigkeitsabscheidung und man kann deshalb den blau eingetragenen Zustandsverlauf dahingehend ändern, dass Zustand 2 entfällt, beim Erreichen der Sättigungslinie der Zustandsverlauf - realitätsnäher - mit dem Verlauf der Sättigungslinie (bei entsprechender Abnahme der Temperatur und des Wassergehaltes) übereinstimmt (blaue Punkte) und schließlich auch der Zustand 3 erreicht wird.

Das bedeutet, im Idealfall wird das gesamte flüssige Wasser abgeschieden, in einem Behälter gesammelt oder per Schlauch abgeleitet. Der weiter fließende, nur gasförmige Luftstrom ist - unter diesen Voraussetzungen - gesättigte feuchte Luft im Zustand 3. Im Prinzipbild (s.oben) ist dieser Luftzustand mit 6 bezeichnet.

An der äußeren Oberfläche des Kondensators der Kältemaschine wird die trocknere Luft erwärmt (3=>4) - wieder ohne Änderung ihres Wassergehaltes $x_3 = x_4$. Sie erreicht dabei eine Temperatur $t_4 > t_1$.

Im MOLLIER-h,x-Diagramm ist dieser Vorgang durch die senkrecht nach oben verlaufende rote Linie dargestellt. Der Luftaustrittszustand aus dem Gerät ist mit 4 bezeichnet. Im Prinzipbild (s. oben) ist dieser Luftzustand mit 9 bezeichnet.

Was kann man aus Messdaten und Daten aus dem MOLLIER-h,x-Diagramm berechnen?

Wir gehen davon aus, dass die Hersteller von Kondensationsluftentfeuchtern den Luftvolumenstrom \dot{V} angeben und sich diese Angabe auf den Ansaugzustand 1 bezieht ($\dot{V} = \dot{V}_1$).

Mit Messwerten der Temperatur und der relativen Luftfeuchte t_1, ϕ_1 vor dem Ansauggitter kann dann der Ansaugzustand 1 in das MOLLIER-h,x-Diagramm eingetragen werden. Die im verfügbaren [MOLLIER-h,x-Diagramm](#) blau eingetragenen Linien konstanter feuchtluftmassespezifischer Volumina ermöglichen die Abschätzung des Wertes für v_1 . Auf der waagerechten Diagrammachse (Abszisse) liest man den Wassergehalt x_1 ab.

Damit ist zunächst der Trockenluftmassstrom \dot{m}_L berechenbar:

$$\dot{m}_L = \frac{\dot{V}_1}{v_1 \cdot (1 + x_1)}$$

Mit Messwerten t_4, φ_4 verfährt man analog und bestimmt beispielsweise mit $x_4 = x_3$ den abgeschiedenen Wassermassestrom \dot{m}_W aus:

$$\dot{m}_W = \dot{m}_L \cdot (x_1 - x_4)$$

Auch Wärmeströme \dot{Q} können mit den ebenfalls aus dem MOLLIER-h,x-Diagramm ablesbaren spezifischen Enthalpien h berechnet werden.

Ausreichend genau ist: $|\dot{Q}| = \dot{m}_L \cdot |\Delta h|$.

Wollen Sie beispielsweise den im Verdampfer übertragenen Wärmestrom berechnen, und kennen nur die Luftzustände am Ein- und Austritt, dann könnten Sie mit der Annahme vollständiger Flüssigkeitsabscheidung unter Zuhilfenahme des MOLLIER-h,x-Diagramms bequem auch die dafür benötigte spezifische Enthalpie h_2 bestimmen.

Den Betrag des von der Luft im Verdampfer abgegebenen Wärmestromes erhält man dann aus $|\dot{Q}| = \dot{m}_L \cdot (h_1 - h_2)$.

Auf weitere Berechnungsmöglichkeiten - auch in Verbindung mit einem vereinfachten (eindimensionalen, stationären) Bilanzmodell für den Aufstellungsraum - wird in einem geplanten Beitrag später eingegangen.

Einige praktische Hinweise und Erfahrungswerte

Energetisch betrachtet wird - wie oben schon erwähnt - die von den Elektromotoren des Lüfters und des Kältemittelverdichters aufgenommene Energie letztlich vollständig an die Raumluft übertragen.

Aus dieser Sicht wirkt der Kondensationsluftentfeuchter wie eine Elektroheizung mit dem gewünschten, nützlichen Effekt, dass der aus den zu trocknenden Bauteilen austretende Wasserdampf als Flüssigkeit weggetragen oder mittels Schlauch abgeleitet werden kann.

Damit beim Betrieb eines Kondensationsluftentfeuchters keine Energie "verloren" geht und auch nur Wasser aus den Bauteilen und nicht aus "Fremdluft" entfernt wird, sind Türen und Fenster geschlossen zu halten.

Unter Umständen ist es sinnvoll, mit weiteren Heizenergiequellen zusätzliche, kostengünstigere Energie -beispielsweise mit vorhandenen oder "ad interim" installierten Raumheizflächen - in den Raum zu bringen, weil aus warmer, feuchter Luft mehr Wasser im Kondensationstrockner abgeschieden wird.

Aus einem Firmenkatalog (von 2002) sind exemplarisch für 3 Kondensationsluftentfeuchter (unterschiedlicher Leistungsklassen) die folgenden Werte entnommen und zeigen diesen Sachverhalt quantitativ:

Temperatur in °C und rel. Luftfeuchte in % der dem Gerät zugeführten Luft		Wasservolumina in Liter je 24 Stunden für 3 "Leistungsklassen"		
10	80	10	18	36
20	80	18	39	78
30	80	23	48	98
20	75	16	36	73
20	60	12	24	48

Falls es nicht schon der Gerätehersteller in der Betriebsanleitung geschrieben hat, sei hier noch auf einen Aspekt für "gute Wärmeübertragungsbedingungen" und "volle Luftleistung" hingewiesen:

Um die gravierend großen Unterschiede der Wärmeübergangswiderstände luft- und arbeitsmittelseitig wenigstens etwas zu "kompensieren", sind zur Oberflächenvergrößerung luftseitig Lamellenbleche in geringem Abstand auf den vom Kältemittel durchströmten Rohren angebracht.

Staub könnte sich auf den Lamellenblechen festsetzen. Deshalb ist ein Luftfilter vorgeschaltet, den man unbedingt im Auge behalten und ersetzen oder reinigen sollte, ehe Leistungsminderungen deutlich werden.

Welche praktischen Erfahrungen gibt es mit Kondensationsluftentfeuchtern ?

In einigen Gebäuden sind im Jahr 2002 die Elektroenergieverbräuche solcher Geräte und die gewonnenen Wassermengen von den Betreibern aufgeschrieben und von uns ausgewertet worden.

Die damals vorgenommenen Auswertungen werden nachfolgend zitiert.

Beispiel 1 Gerät mit einer elektrischen Nennleistung von 760 W,
33 Liter in 24 Stunden bei 30°C und 80 % relativer Luftfeuchte,
in einem Keller mit 8,5 m² Grundfläche

Merkmale des Einsatzraumes und seine "Vorgeschichte"

Der Luftentfeuchter wurde in einem Keller mit 8,5 m² Grundfläche und einer lichten Höhe von 1.96 m eingesetzt.

Der Kellerraum liegt an der nordwestlichen Gebäudeseite eines teilunterkellerten, eingeschossigen Reihenwohnhauses (Baujahr 1974), besitzt ein gut schließendes Fenster und keine Tür, glatten Estrichfußboden (mit Dämmschicht), eine Spannbetondecke und eine 2,5 m lange, 30 cm dicke, beidseitig verputzte Außenwand aus Betonhohlblockstein. Etwa bis zu 1,5m über Fußboden grenzt sie an Erdreich. Die eine längsseitige Kellerwand ist ebenso beschaffen und grenzt an das Nachbarhaus. Die anderen Innenwände grenzen an frei belüftete Kellerräume und bestehen aus verputztem Kalksandstein (12 und 25cm dick). Die Türöffnung war nur mit einer Baufolie provisorisch und nicht ganz dicht verschlossen. Das Entfeuchtungsgerät stand etwa in Raummitte auf dem Fußboden. Der Keller wurde bis über die Decke - am 16.8.2002 1 Uhr beginnend - geflutet. Am 23.8. wurde der Keller leer gepumpt und danach beräumt und gereinigt. Hohlblocksteine der Kelleraußenwand wurden nur teilweise durch Anbohren entwässert.

Bis zum Beginn des Geräteeinsatzes wurde das Haus durch offene Fenster und Türen gelüftet. Der Fußboden im Erdgeschoss wurde bis auf die Rohdecke - am 1.9. beginnend - ausgebaut.

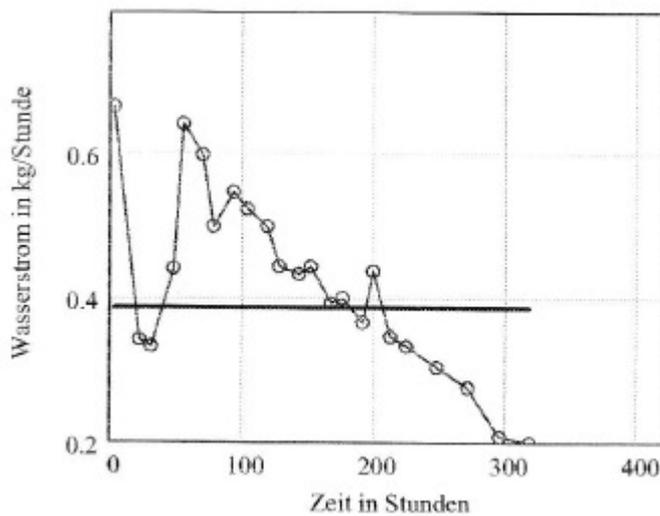
Vom 31.8. 12 Uhr bis zum 13.9. 17 Uhr wurde nur der Luftentfeuchter betrieben.

Raumluftzustände sind leider nicht bekannt, ebenso auch nicht der vom Betreiber eingestellte Sollwert des Raumluftzustands.

Dabei angefallene Wassermengen und Elektroenergieverbräuche sind vom Betreiber gemessen und aufgeschrieben worden.

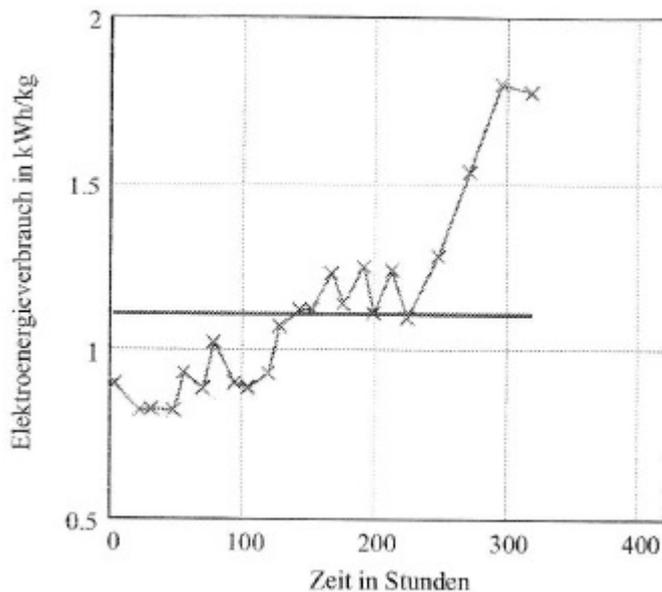
Alle Einzelwerte sind Mittelwerte für die insgesamt 22 Messintervalle, deren Dauer zwischen 3 und 24 Stunden betrug.

Wassermassestrom



Der gewonnene Wassermassestrom nimmt mit der Zeit deutlich ab. Das zwischenzeitliche Absinken ist ohne Kenntnisse weiterer Umstände nicht eindeutig zu klären. Vermutet wird, dass zu diesen Zeiten ein starker Fensterlüfter im Nachbarraum in Betrieb war, der den Raumluftzustand infolge der nur provisorisch verschlossenen Türöffnung merklich beeinflusst haben könnte. Aus der generellen Tendenz wird klar, dass die Gewinnung von 1 kg Wasser zunehmend länger dauert.

Elektroenergieverbrauch bezogen auf die gewonnene Wasserflüssigkeitsmasse



Neben einer gewissen Streuung der Einzelwerte wird ein Anstieg über der Zeit deutlich. Der Mittelwert für die gesamte Messzeit von 317 Stunden ergab sich zu 1,11kWh / kg Wasser.

FAZIT

Die Energieverbrauchswerte für einen Liter "gewonnenes Wasser" haben sich in den ersten 300 Stunden mehr als verdoppelt. Gleichzeitig ist die mittlere Inanspruchnahme der Geräteleistung von anfänglich fast 80% auf rund 50% der Nennleistung abgesunken. Die je Stunde gewinnbare Wassermasse ist in der gleichen Zeit auf weniger als ein Drittel des Ausgangswerkes abgefallen. Die in 2 Wochen gewonnene Wassermasse von 122,5 kg ist mit Sicherheit nur ein kleiner Bruchteil der insgesamt durch Trocknung aus dem Bauwerk zu entfernenden Wassermasse. Durch Feuchtemessungen an der Außenwand am 22.9. ist dies klar belegt worden. Mit der inzwischen wieder funktionsfähigen und ohnehin betriebenen Gebäudeheizungsanlage wird nun die Trocknung durch "alternierendes Heizen und Lüften" realisiert. Die Raumluftfeuchte wird weiterhin kontrolliert und Baufeuchtemessungen werden in Abständen durchgeführt.

Beispiel 2 Gerät mit einer elektrischen Nennleistung von 460 W,
17,5 Liter in 24 Stunden bei 30°C und 80 % relativer Luftfeuchte,
10,5 Liter in 24 Stunden bei 27°C und 60 % relativer Luftfeuchte
in einem Keller mit etwa 15 m² Grundfläche

Merkmale des Einsatzraumes und seine "Vorgeschichte"

Der Luftentfeuchter wurde in einem Keller mit Kappengewölbe (Ziegel) von ca. 15 m² Grundfläche und einer mittleren Höhe von etwas mehr als 2 m eingesetzt. Der Keller liegt an der nordöstlichen Gebäudeecke eines zweigeschossigen Wohnhauses (Baujahr etwa 1900), besitzt 2 neue Fenster und eine gut schließende Tür, Fliesenboden (ohne Dämmschicht) und 60 cm dicke verputzte Sandsteinaußenwände, die bis etwa 1,5m über Fußboden an Erdreich grenzen. Die kurze Innenwand grenzt an den "Vorkeller", die lange an einen Nachbarkeller. Die Innenwände sind ebenfalls verputzt und vermutlich aus Ziegel.

Der Keller wurde bis max. 1,75 m über Fußboden vom 16.8.2002 1 Uhr beginnend bis 19.8. 2002 nachmittags geflutet. Das Wasser trat vorwiegend durch die Außenwand im Bereich der Hausanschlussleitungen ein. Bis zum Beginn des Geräteeinsatzes wurde der Raum durch offene Fenster und die Tür gelüftet.

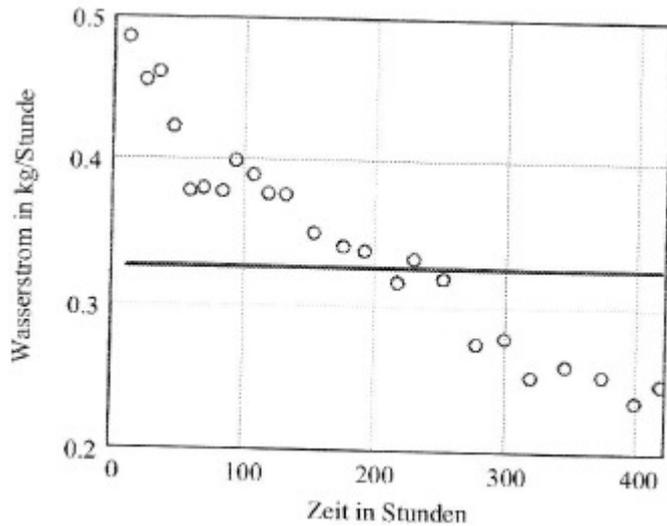
Trocknung mit Geräten

Vom 31.8. 10 Uhr bis zum 17.9. 19.30 Uhr wurde mit einstündiger Unterbrechung nur der Luftentfeuchter im geschlossenen Raum betrieben. Dabei angefallene Wassermengen und Elektroenergieverbräuche sind vom Betreiber gemessen und aufgeschrieben worden. Der Raumluftzustand ist mit einem Thermo-Hygrograph dokumentiert aber *jetzt leider nicht mehr verfügbar* (zwei punktuelle Angaben liegen für Temperatur und relative Luftfeuchte für den 8.9. mit 22°C / 60 % und den 21.9. mit 20°C / 50% vor).

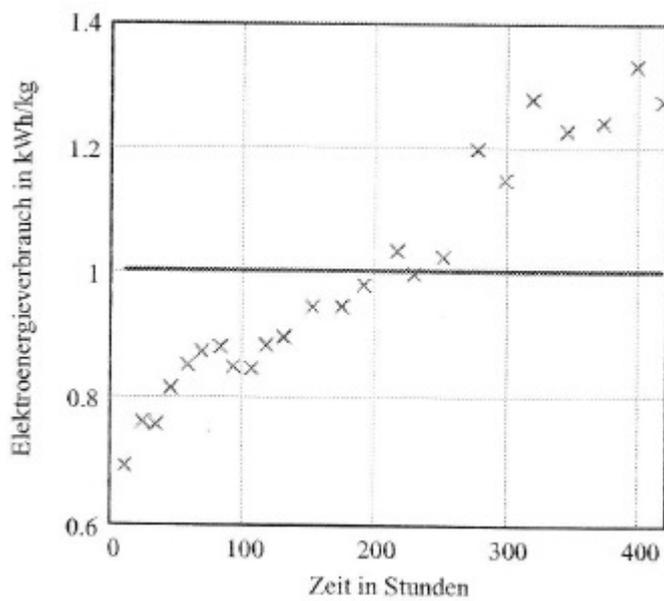
Ab dem 17.9. 19.30 Uhr wurde mit zwei Radialgebläsen (300 und 155 Watt Motor-Nennleistung) versucht, die Luftbewegung und damit den Wärme- und Stoffübergang an den Oberflächen zu verbessern. Die Anordnung der Gebläse erfolgte so, dass die Luft schräg auf die Wände (etwa 0,5m über Fußboden) geblasen wurde und zusammen mit dem Lüfter im Kondensationsluftentfeuchter die Raumluft vor den Wänden - um die Raummitte zirkulierend - bewegen soll. Die Zufuhr der Luft zu den Wänden erfolgt durch flexible Schläuche (mit ca. 50 mm Durchmesser und 1,5 m Länge), so dass der Luftvolumenstrom gegenüber dem freien Ausblasen gedrosselt ist. Der Effekt der Luftbewegungsverbesserung ist durch das "nur punktförmige" Anblasen der Wände lokal sehr unterschiedlich.

Aus Messdaten berechnet wurden:

Wassermassestrom



Elektroenergieverbrauch bezogen auf die gewonnene Wasserflüssigkeitsmasse



FAZIT:

Die vom 1. Beispiel bekannten Tendenzen wurden auch beim 2. Beispiel bestätigt.

Die im zweiten Beispiel bessere "Passfähigkeit" der Geräteleistung zur Raumgröße äußert sich kaum im auf die gewonnene Wassermasse bezogenen Elektroenergieverbrauch. Im zweiten Beispiel wurde mit 1,004 kWh je kg gewonnenes Wasser der Wert aus dem ersten Beispiel nur knapp unterboten. Das automatische Ein- und Ausschalten des Gerätes ist dafür der Grund.

Interessant waren im 2. Beispiel die mehrtägigen Versuche nach dem 17.9. mit zusätzlichen Gebläsen für die Intensivierung der Luftbewegung:

Der spezifische Elektroenergieverbrauch stieg von etwa 1,3 kWh/kg (ohne Gebläse am 17.9.) auf einen Durchschnittswert von 2,1 kWh/kg.

Die Zunahme des Wassermassstromes betrug etwa 5%. Die Reduzierung der Übergangswiderstände hatte in dieser Trocknungsphase praktisch keine Bedeutung mehr.

Was ist aus diesen Beispielen zu folgern?

Wenn es die Nutzungsbedingungen der Räume zulassen, wird man die Trocknung mit solchen Geräten bei geschlossenen Fenstern und Türen (mit durch das Gerät etwa konstant gehaltenem Raumluftzustand) durch die weniger komfortable Alternative "Heizen + Lüften" ersetzen, was im Winter bei niedrigen absoluten Feuchten der Außenluft gut funktioniert. Der dabei auftretende energetische Nachteil, die zur Wasserverdampfung und zur Frischluftaufheizung eingesetzte Energie wird in die Umgebung abgeführt, wird finanziell kaum merkbar sein, auch wenn man nur die Energiekosten vergleicht, weil eine Kilowattstunde als Elektroenergie viel teuer ist als die aus Gas oder Öl gewonnene Heizenergie.

Der wesentliche Kostenanteil - die Gerätemiete - fällt dann ganz weg.

Die in den Beispielfällen gewonnenen Wassermassen zeigten, dass sich die Gleichgewichtsfeuchte der Bauteile auch mit Einsatz von Kondensationsluftentfeuchtern erst nach sehr langer Zeit wieder erreichen lässt.

Ein eigener Raumluftentfeuchter - bedarfsweise eingesetzt - könnte sich lohnen, wenn man das Lüften nicht "planvoll" durchführen kann.

Insbesondere bei **erdangrenzenden Bauteilen** ((Keller)Fußböden, Kelleraußenwände) - bei Altbauten üblich ohne Wärmedämmschichten - sind die Wärmeabfuhr ins Erdreich und wasserdichte Feuchtesperrschichten Umstände, die die Trocknung erheblich behindern. Die gesamte Wassermasse muss - wasserdichte Feuchtesperren vorausgesetzt - über die Innenseite entfernt werden.

So wird die Trocknungszeit für solche Bauteile besonders lang und der Energieaufwand überdurchschnittlich hoch.

Wenn Feuchtesperrschichten fehlen oder defekt sind, werden in den meisten Fällen Trocknungsbemühungen weitgehend ergebnislos bleiben.

Bewohner solcher Häuser haben sich - auch ohne Hochwasser - auf feuchte Keller eingestellt.

Langfristig besteht dann jedoch in vielen Baumaterialien (wie z.B. Ziegel), die bei wassergefüllten Poren im Winter "einfrieren", die Gefahr reduzierter Tragfähigkeit durch mechanische Zerstörung.

[zurück zur Startseite](#)

Haftungsausschluss