Fachverband
Gebäude-Klima e.V.

Status Report | 8

Fragen und Antworten zur Raumluftfeuchte

Eine Informationsschrift des
Fachverbandes Gebäude-Klima e. V.

Inhaltsverzeichnis

1. Grundlagen – Was ist Luftfeuchtigkeit? 4

2. Wie empfindet der Mensch die Luftfeuchte? 4

3. Bei welchen Feuchtewerten fühlt sich der Mensch am wohlsten? 5

4. Wodurch wird die Raumluftfeuchte in Gebäuden beeinflusst? 5

5. Welche gesundheitlichen Probleme kann es im Zusammenhang mit der Raumluftfeuchte geben? 6

6. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Raumluftfeuchte und Übertragung von Influenza-Viren? 7

7. Wann ist eine Befeuchtung notwendig? 7

8. Welche Befeuchterarten werden für Wohnhäuser angeboten? 7

9. Welche Befeuchtungssysteme werden in RLT-Anlagen eingebaut? 8

9.1. Hochdruckzerstäuber / Hybridbefeuchter 9

9.2. Dampfluftbefeuchter 9

9.3. Ultraschallbefeuchter 11

9.4. Umlaufsprühbefeuchter bzw. Luftwäscher 12

10. Indirekte und direkte Luftbefeuchtung 13

11. Was ist bei der Hygiene von Befeuchtungsgeräten zu beachten? 14

12. Wie hoch ist der Energieverbrauch für die Befeuchtung? 15

13. Was sagen Normen zur Raumluftfeuchte? 15

14. Was sagt die Energieeinsparverordnung EnEV zur Raumluft-feuchte? 15

15. Für welchen Zeitraum herrscht in typischen RLT-Anlagen ein Befeuchtungsbedarf? 16

16. Beispiele 18

16.1. Operationssaal für Knochenmarktransplantationen im Klinikum Marburg 18

16.2. BHS Bad Homburger Servicegesellschaft mbH (BHS) 19

16.3. Büro- und Laborbefeuchtung bei Schneider Electric, Marktheidenfeld 20

16.4. Neue Befeuchtungssysteme für den Bundesrat – Hybrid-Luftbefeuchter ersetzen Luftwäscher 21

16.5. Campus Kronberg nutzt Abwärme aus Dampf-Luftbefeuchtern 24

16.6. Betriebskosteneinsparung durch Adiabate Befeuchtung in hygienekritischen Anwendungen – Blutzentrale des Österr. Roten Kreuzes in Linz 27

16.7. Wein-Genuss in exklusiver Atmosphäre – wineBank Hamburg 29

16.8. Retrofit eines Wäschers in einen adiabaten Hochdruckbefeuchter bei Philip Morris, Berlin 30

1. Grundlagen – Was ist Luftfeuchtigkeit?

Die Luftfeuchtigkeit spielt nicht nur bei unserem Wetter eine entscheidende Rolle, sondern auch in Bezug auf unser Wohlbefinden im Innenraum und beeinflusst zudem auch unsere Gesundheit. Die Luftfeuchtigkeit beschreibt die Menge an gasförmigem Wasser (Wasserdampf) in der uns umgebenden Luft, also keine Regentropfen, Eis oder Nebel. Der Wasserdampf in der Luft ist lebenswichtig. Ohne die Luft, die wir Tag und Nacht einatmen, wäre ein Leben undenkbar. Dennoch wird diesem Aspekt zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, da unser Körper viel empfindlicher auf Temperatur und Windgeschwindigkeit reagiert.

Aufgrund der physikalischen Eigenschaft von Luft kann kalte Luft weniger Wasser-dampf aufnehmen als warme Luft. Das Verhältnis von Luft und dem darin enthaltenen Wasserdampf bezeichnet man als „relative Feuchte in %“. Der maximal aufnehmbare Wasserdampf hängt von der Temperatur (auch etwas vom Luftdruck) ab. Kühle Luft kann weniger Wasserdampf aufnehmen als warme Luft (Abb. 1).

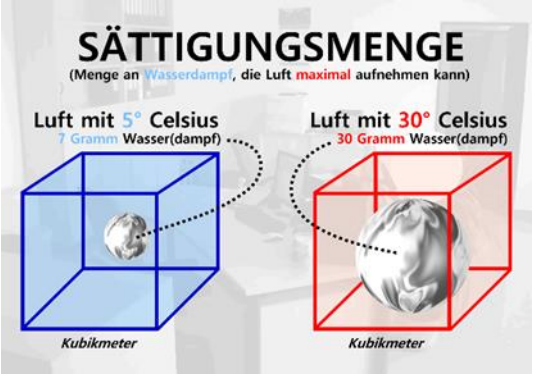

Abb. 1: Sättigungsmenge

Wir alle kennen die Bildung von beschlagenen Scheiben oder Brillengläsern im Winter, wenn es draußen kalt ist, oder beim eiskalten Getränk im Sommer (Kondensation), Kraftwerken (Kühltürme), Wolken oder kochendem Wasser. Dies sind Anzeichen für den in der Luft enthaltenen Wasserdampf, welcher uns immer umgibt.

2. Wie empfindet der Mensch die Luftfeuchte?

Der Mensch besitzt kein eigentliches Sinnesorgan, um die relative Feuchte direkt zu empfinden. Stattdessen ist er auf sekundäre Empfindungen angewiesen, wie trockene Schleimhäute, Wärme oder Kälte sowie weiteren Aspekten der Thermoregulation, wie Schwitzen und Schwüleempfinden.

Ein gutes Beispiel für das Empfinden von Feuchtigkeit ist der Besuch in einem botanischen Garten. Selbst wenn außen und innen ungefähr die gleiche Temperatur herrscht, aber die Feuchtigkeit innen um ein Vielfaches höher ist, empfindet man es beim Hineingehen in das Gewächshaus wesentlich wärmer. Oft sogar schon unerträglich (Abb. 2).

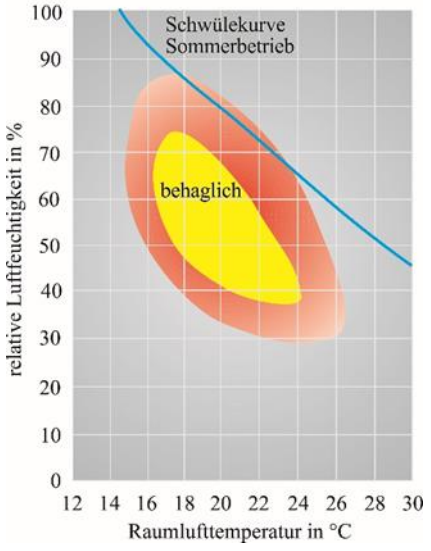

Abb. 2: Schwülegrenze

Ein weiteres Beispiel ist der Unterschied zwischen einer finnischen Sauna und einem Dampfbad. In der finnischen Sauna können aufgrund der niedrigen Feuchte ohne weitere Probleme Temperaturen >90 °C ausgehalten werden. In einem Dampfbad bei 100 % r. F. wäre das nicht auszuhalten, es wäre sogar gefährlich.

Der Mensch reguliert seinen Wärmehaushalt zu einem großen Teil über Verdunstung und diese Verdunstungswirkung wird direkt durch die relative Luftfeuchte beeinflusst.

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

Der Grund hierfür ist ganz einfach: die trockene warme Luft nimmt den Schweiß einfacher auf und die Verdunstung auf der Haut geschieht recht schnell. Wobei hingegen bei sehr feuchter Luft die Verdunstung verlangsamt wird, da die Luft schon mit Wasserdampf gesättigt ist. Ist die Lufttemperatur gleich oder größer als die Hautoberflächentemperatur (~30 - 35 °C je nach Kleidung), dann kann die Thermoregulation fast nur noch über das Schwitzen erfolgen.

3. Bei welchen Feuchtewerten fühlt sich der Mensch am wohlsten?

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich mittel- und nordeuropäische Menschen im Winter bei Raumtemperaturen zwischen 21 und 22 °C bei einer Raumluftfeuchte von 40 bis 50 % am wohlsten fühlen. Bei normalem Lüftungsverhalten kann die genannte Raumluftfeuchte besonders an kalten Wintertagen ohne aktive Befeuchtung nicht sichergestellt werden.

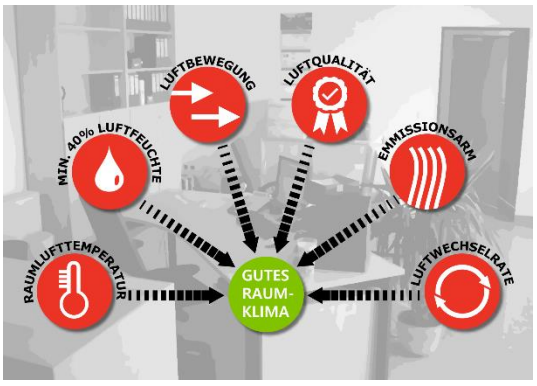

Abb. 3: Gutes Raumklima

Wie in Abb. 3 zu erkennen ist, ist die korrekte Raumluft von mindestens 40 % r. F. eine der sechs Standsäulen für ein gutes Raumklima.

Zudem kann eine zu trockene Raumluftfeuchte auch Auswirkungen auf unsere Gesundheit haben und eine Staubentwicklung begünstigen (hierzu mehr unter Abschnitt 5).

4. Wodurch wird die Raumluftfeuchte in Gebäuden beeinflusst?

Der Mensch setzt bei jeder Aktivität zwischen 50 und 200 g Wasser pro Stunde als Feuchtigkeit frei. Beim Kochen, Waschen und Duschen können sogar bis zu 1.500 g Wasser verdunsten. All dieses Wasser erhöht die relative Luftfeuchtigkeit im Raum. Das Problem dabei: Der Wassereintrag in die Raumluft erfolgt in Abhängigkeit von der Nutzung, also weder räumlich noch zeitlich gleichmäßig. Das heißt, beispielsweise beim Duschen und beim Kochen fällt in Bad und Küche zu viel Feuchtigkeit an, die dann durch Lüften abgeführt werden muss. Gleichzeitig kann in anderen Räumen wie Flur und Wohnzimmer eine zu geringe Luftfeuchte herrschen.

Abb. 4: Fensterlüftung

Hinzu kommt, dass die Bewohner gegen Abend eine höhere Raumlufttemperatur bevorzugen und damit die relative Raumluftfeuchte absinkt.

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf die Raumluftfeuchtigkeit hat das Lüftungsverhalten. Das zeigt sich vor allem im Winter. Denn dann kann die Außenluft auf-grund der niedrigen Temperaturen nur sehr wenig Wasserdampf aufnehmen. Kommt diese Außenluft nun in einen warmen Raum und erwärmt sich von beispielsweise 0 °C auf 22 °C, dann kann die relative Feuchte dieser erwärmten Luft nicht mehr als ca. 20 % betragen. Das heißt, im Winter führt das Lüften zu einer Absenkung der Raumluftfeuchte!

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Raumluftfeuchte im Wesentlichen sowohl von den Nutzungsgewohnheiten der Bewohner wie Duschen und Kochen, als auch vom Lüftungsverhalten abhängt. Ungeregelte Lüftung vergrößert das Problem zu trockener Luft im Winter (Abb. 4). Gleichzeitig ergibt sich auch eine Abhängigkeit durch Umgebungseinflüsse wie eingesetzte Arbeitsmaterialien (Papier, Cellulose etc.) bzw. Mobiliar (Teppiche etc.). Einen gewissen Einfluss haben zudem feuchtigkeitsabgebende Einrichtungsobjekte wie Pflanzen, Aquarien und Zimmerbrunnen.

Da es in Büroräumen und Kaufhäusern keine Feuchtigkeitseinträge durch Duschen und Kochen gibt, ist hier die Luftfeuchtigkeit noch weiter reduziert. In Verbindung mit den höheren Personendichten und potenziell zahlreicheren Schadstoffquellen ergibt sich die Notwendigkeit wesentlich höherer Luftwechselraten als in Wohngebäuden und damit (vor allem im Winter) ein ungleich höherer Befeuchtungsbedarf.

5. Welche gesundheitlichen Probleme kann es im Zusammenhang mit der Raumluftfeuchte geben?

Trockene Schleimhäute können ihre Aufgabe der Schmutz- und Keimfilterung aus der Atemluft nicht mehr so effizient erfüllen. Deshalb verbleiben in diesem Fall infektiöse Keime länger im Atemtrakt. Bei weiteren begünstigten Wachstumsbedingungen für die Erreger können dann typische Atemwegserkrankungen wie Husten, Schnupfen, Nebenhöhlenentzündungen und Bronchitis entstehen.

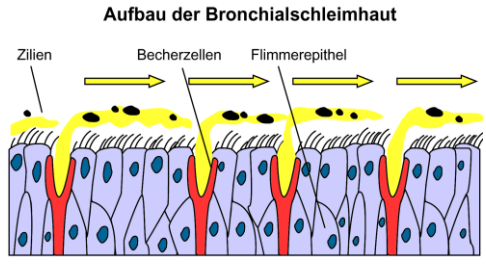

Abb. 5: Bronchialschleimhaut

Hintergrund: Die äußerste Zellschicht der Atemwegsschleimhaut wird von einem so genannten Flimmerepithel gebildet (Abb. 5). Die Zellen dieser Schicht tragen auf ihrer Oberfläche feine Härchen (Zillen). Diese sorgen zusammen mit dem auf ihnen liegenden Schleim dafür, dass Fremdpartikel gebunden und wegtransportiert werden. Dabei werden die eingeatmeten Fremdstoffe durch eine wellenförmige Bewegung der Flimmerhärchen in Richtung Mund bewegt und somit aus den Atemwegen abtransportiert. Wird nun längere Zeit Luft mit niedriger Feuchtigkeit eingeatmet, kommt es zu Austrocknungserscheinungen, die die Flimmerepithelien in ihrer Funktion beeinträchtigen. Außerdem wird der Schleim eingedickt und bleibt als klebrige Masse an den Schleimhäuten haften. Bakterien finden dann ein günstiges Milieu für ihre Vermehrung vor und können dabei entzündliche Erscheinungen auslösen.

Abb. 6: Scofield Sterling Diagramm – Optimale Raumluftfeuchtigkeit

Das Trockenheitsgefühl auf den Schleimhäuten wird durch eine vermehrte Staubbelastung der Raumluft weiter verstärkt. Die Staubbelastung der Raumluft ist ebenfalls feuchteabhängig und nimmt bei niedrigen Feuchten zu.

Viele Ärzte sehen deshalb einen Zusammenhang zwischen Atemwegserkrankungen und der Raumluftfeuchte. Welche Raumluftfeuchte nun aber konkret von einem Menschen als angenehm empfunden wird, ist individuell verschieden. Personen, die unter allergischen Reaktionen und Asthmaanfällen leiden, bevorzugen beispielsweise Raumluftfeuchten zwischen 40 und 60 Prozent (Abb. 6).

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

6. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Raumluftfeuchte und Übertragung von Influenza-Viren?

Dass sich Grippe-Viren – auch Influenza-Viren genannt – auf verschiedenen Wegen ausbreiten und damit zu einer Ansteckung bei anderen Personen führen können, ist schon lange bekannt und unumstritten. Neben dem direkten körperlichen Kontakt zu einer bereits infizierten Person, beispielsweise durch einen Händedruck, zählen dazu die indirekte Übertragung über Gegenstände wie kontaminierte Türklinken und die Übertragung durch Aerosole, die infizierte Personen durch Niesen oder Husten produzieren. Bei den Erklärungen für die statistische Häufung der Influenzaerkrankungen in den Wintermonaten gibt es verschiedene Theorien und damit eine gewisse Uneinigkeit. Eine neuere Studie greift nun einen anderen Ansatz erneut auf: Sie beschäftigt sich mit der Frage, ob die Luftfeuchte mit der Ansteckungshäufigkeit in Zusammenhang steht. Denn nach der Neuauswertung früherer Untersuchungen auf diesem Gebiet ist die Überlebensrate und Übertragungseffizienz von Influenza-Viren bei einer niedrigen Luftfeuchte am höchsten. Dieses Kriterium ist im Winter sowohl in Innenräumen wie im Außenbereich erfüllt. Im Sommer ist dagegen zwar die relative Luftfeuchte niedrig, die Absolute aber höher als in den Wintermonaten – und das könnte erklären, warum die Influenza im Winter vergleichsweise massiv auftritt. Luftbefeuchtungseinrichtungen sorgen auch im Winter für eine angenehme Raumluftfeuchtigkeit und können damit nach dieser Studie die Ansteckungsgefahr verringern.

7. Wann ist eine Befeuchtung notwendig?

Eine Befeuchtung sollte grundsätzlich in allen Bereichen vorgesehen werden, in denen vergleichsweise viel Frischluft notwendig ist, wie in Büros, Einkaufszentren, Versammlungsräumen, Gaststätten usw.

Im Wohnbereich kann man mit einem handelsüblichen Hygrometer (Abb. 7) die Raumluftfeuchte ermitteln. Treten dabei Werte unter 35 bis 40 % auf, ist eine Befeuchtung empfehlenswert. Insbesondere während der kalten Wintermonate, wenn die Temperaturen unter den Gefrierpunkt fallen, ist die Raumluftfeuchte auch im Wohnbereich häufig zu niedrig.

Abb. 7: Hygrometer

8. Welche Befeuchterarten werden für Wohnhäuser angeboten?

Für jede Wohnraumnutzung werden passende Befeuchtungssysteme gefertigt und angeboten:

- Dampfbefeuchter
- Verdunster und
- Ultraschallbefeuchter.

Diese Geräte sind mittels eines Hygrostaten regelbar, so dass eine zu niedrige oder zu hohe Raumluftfeuchte vermieden wird. Wichtig ist eine periodische Wartung und Reinigung der Geräte nach den Herstellervorgaben. Aufgrund der hohen Temperaturen sind Dampfbefeuchter hier meist einfacher in der Handhabung.

Auch werden vielfach so genannte „Alternative Luftbefeuchtungssysteme“ angeboten. Propagiert werden z. B. Heizkörperverdunster, Zimmerspringbrunnen und Zimmerpflanzen. Auch Wäschetrocknen im Wohnbereich wird empfohlen. Diese „Hilfsmittel“

können moderne Luftbefeuchtungssysteme nicht ersetzen, da entweder zu viel oder zu wenig Feuchtigkeit (Pflanzen und Springbrunnen) freigesetzt wird oder zum falschen Zeitpunkt zu viel (Wäschetrocknen) oder hygienisch mangelhafte Zustände erreicht werden (Heizkörperverdunster).

9. Welche Befeuchtungssysteme werden in RLT-Anlagen eingebaut?

Auch für den Einsatz von Luftbefeuchtern in RLT-Anlagen stehen unterschiedliche Befeuchtungssysteme zur Verfügung. Die Auswahl der entsprechenden Gerätetechnik erfolgt unter den Gesichtspunkten der hygienischen Betriebsweise, Wartungskosten, Energiekosten und der zur Verfügung gestellten Befeuchtungsstrecke. Waren noch vor einigen Jahren Umlaufsprühbefeuchter (Luftwäscher) die häufigste Bauart, so hat sich der Markt hier deutlich gewandelt. Die Hygienevorgaben für RLT-Geräte führten zu einem Umdenken, weg vom Umlaufwasserprinzip mit all seinen wartungstechnischen Notwendigkeiten hin zu Systemen mit Frischwasser.

In RLT-Geräten mit kleinen Luftvolumenströmen werden wegen kurzer Befeuchtungsstrecken und der geringeren Investitionskosten häufig Elektrodampfbefeuchter eingesetzt. Sie lassen sich je nach Ausführung mit Stadtwasser oder mit Wasser aus der Umkehrosmose betreiben. In den hygienisch sensiblen Bereichen im Krankenhaus in OP-Räumen werden nach DIN 1946-4 (Lüftungstechnik im Krankenhaus) ausschließlich Dampfbefeuchter zugelassen. Ab einem mittleren Luftvolumenstrom kippt das Verhältnis von Investitionskosten zum Strombedarf und meist werden Hybrid- bzw. Hochdruckbefeuchter in RLT-Anlagen eingesetzt. Sie vereinen eine hygienische Betriebsweise, geringe Wartungskosten, gute Regelbarkeit mit einem deutlich geringeren Strombedarf als Elektrodampfbefeuchter. Hierbei wird Wasser nicht wie beim Dampfbefeuchter auf 100 °C erhitzt und verdampft, sondern das Wasser wird bei hohem Druck vernebelt (Hochdruckbefeuchter bis zu einem Druck von bis zu 130 bar oder Hybridbefeuchter bis ca. 8 bar). Der Dampfbefeuchter arbeitet im Luftstrom isotherm, also unter Beibehaltung der Lufttemperatur. Hybrid- und Hochdruckbefeuchter sind adiabate Systeme. Dies bedeutet, dass sich die Lufttemperatur beim Befeuchtungsvorgang absenkt. Für die notwendige Erhitzung kann preiswerte Wärme aus der Wärmerückgewinnung oder der Heizung eingesetzt werden. Im Sommer kann bei passenden Außenluftzuständen (nicht bei schwülheißen Wetterlagen) durch diese Verdunstungskühlung ein Teil der Kälteenergie eingespart werden.

Der Umlaufsprühbefeuchter wird heute noch dort eingesetzt, wo große Luftmengen befeuchtet werden müssen (z. B. in der Lackier-, Papier- und Textilindustrie) und die Stoffbelastung der Luft hoch ist. Der Wartungsaufwand ist sehr stark von der Wasser- und Luftqualität abhängig. Umlaufsprühbefeuchter wurden früher nach dem Prinzip der Taupunktregelung gefahren. Dabei wird nach der Vorerhitzung bis auf die Sättigungslinie befeuchtet und anschließend per Nacherhitzer der gewünschte Betriebspunkt erreicht. Diese Regelungsart ist nach der Energieeinsparverordnung nicht mehr zulässig. Energieeffiziente Anlagen arbeiten mit Spritzwasserregelung über geregelte Pumpen und ähneln in der Regelung den Hybrid- und Hochdruckbefeuchtern.

Eine gewisse Sonderstellung nimmt der ebenfalls im Umlaufprinzip arbeitende Kontaktbefeuchter ein. Hier rieselt Wasser über einen Füllkörper und verdunstet an dessen Oberfläche (ähnlich den Kühltürmen). Die Systeme sind schlechter regelbar und sie werden hauptsächlich in der Abluftkühlung (indirekte Verdunstungskühlung) ein-gesetzt. Hybrid- und Hochdruckbefeuchter verwenden in der Regel Wasser aus einer Umkehrosmose, Umlaufsprühbefeuchter je nach Wasserqualität und Anforderung enthärtetes oder auch noch zusätzlich Umkehrosmose-Wasser.

9.1. Hochdruckzerstäuber / Hybridbefeuchter

Hochdruckbefeuchter (Abb. 11) zerstäuben das Befeuchterwasser mit hohem Druck (bis zu ca. 130 bar). Das in feinsten Düsen zerstäubte Wasser wird anschließend mit dem Zuluftstrom vermischt. Größere Tröpfchen werden am Ende der Geräteeinheit am Tropfenabscheider abgeschieden. Zur Nachspeisung ist Umkehrosmosewasser erforderlich.

Hybridbefeuchter (Abb. 9) werden in einem Druckbereich bis ca. 8 bar betrieben. Zur Nachverdunstung werden Keramikplatten den Düsen nachgeschaltet. Hybridbefeuchter sind eine Kombination aus Zerstäuber und Verdunster.

Abb. 8: Pumpengruppe

Abb. 9: Hybrid Luftbefeuchter

Abb. 10: Hochdruck-Pumpenstation mit Motor, Kolbenpumpe, Filter und Steuerung

Abb. 11: Hochdruckbefeuchter mit Verwirbelung

9.2. Dampfluftbefeuchter

Dampfluftbefeuchter erfüllen sehr hohe hygienische Anforderungen. Im Gegensatz zu allen anderen Systemen wird Trinkwasser, enthärtetes oder Umkehrosmose-Wasser auf mind. 100 °C erhitzt und somit keimfrei verdampft.

- Eigendampferzeuger, elektrisch oder mit Gas betrieben
- Fremddampferzeuger zum Anschluss an einen vorhandenen Dampfkessel mit Dampfverteilerrohren, Regelventilen, Schmutzfängern und Kondensatableitern

Abb. 12: Dampflufbefeuchter

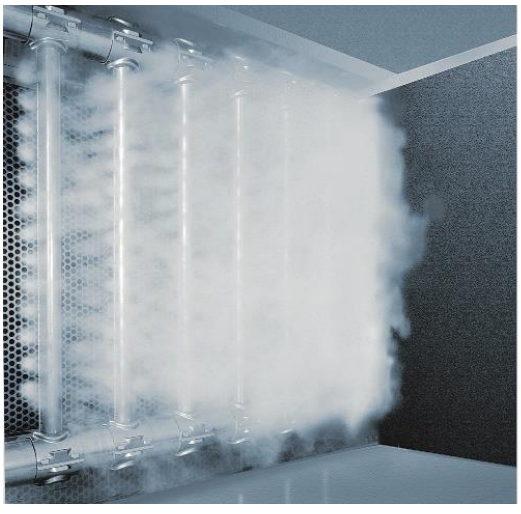

Abb. 13: Mehrfachdampfverteilsystem

Abb. 14: Dampfluftbefeuchter mit Elektroden

Abb. 15: Dampfluftbefeuchter mit Widerstands-heizelement

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

Abb. 16: Fremddampfbefeuchter mit Dampftrockner, Regelventil, Stellantrieb und Dampflanze

9.3. Ultraschallbefeuchter

Piezokeramische Wandler am Boden der Wasserwanne des Befeuchters erzeugen Ultraschall-Schwingungen. Durch die hochfrequenten Schwingungen entstehen Aerosole. Die Aerosole werden durch die Luftströmung im Befeuchter ausgetragen und vermischen sich sehr schnell mit der Umgebungsluft. Zur Nachspeisung ist salzarmes Wasser (vollentsalzt / aus einer Umkehrosmose-Anlage) erforderlich.

Abb. 17: Ultraschallbefeuchter

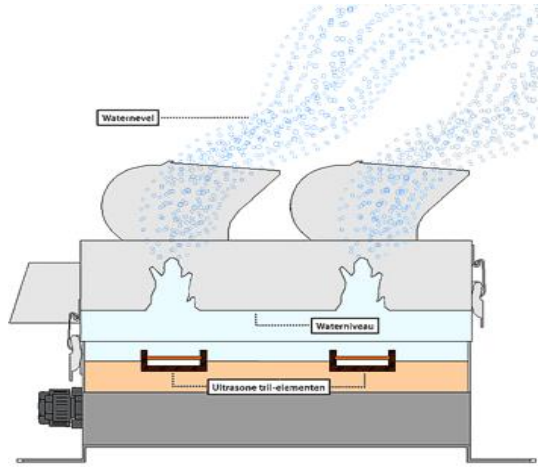

Abb. 18: Funktionsschema Ultraschallbefeuchter

9.4. Umlaufsprühbefeuchter bzw. Luftwäscher

Umlaufsprühbefeuchter bzw. Luftwäscher sind Kammern innerhalb von Raumlufttechnischen Anlagen, in denen im Luftstrom Wasser aus Düsen versprüht wird und an Tropfenabscheidern teilweise wieder abgeschieden wird. Der Umlaufsprühbefeuchter kann auch eine regelrechte Waschfunktion übernehmen und Belastungen der Atmosphäre oder dem Produktionsprozess zurückhalten. Insbesondere das Auswaschen von organischen Stoffen macht den Umlaufsprühbefeuchter sehr anfällig für Keimbildung. Entsprechende Maßnahmen zur Wasseraufbereitung und Wasserbehandlung (UV-Entkeimung und/oder Desinfektionsmittel-Dosierung) sind erforderlich.

Abb. 19: Luftwäscher

Abb. 20: Wanne eines Luftwäschers

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

10. Indirekte und direkte Luftbefeuchtung

Für die Sicherstellung einer ausreichenden Luftfeuchtigkeit werden unterschiedliche Systeme und Technologien eingesetzt: Allgemein lassen sich Luftbefeuchtungssysteme in zwei Grundprinzipien unterteilen: Bei der Direkt-Raumbefeuchtung werden eigenständige Luftbefeuchtungssysteme im zu befeuchtenden Raum installiert und betrieben. Wird die Luft in den Kammern einer Raumlufttechnischen Anlage (RLT-Anlage) befeuchtet und über Kanäle und Auslassöffnungen in die Arbeitsräume geleitet, spricht man von einer indirekten Befeuchtung. Für beide Grundprinzipien werden sowohl Dampf-, Ultraschall- als auch Hochdruckdüsen-Systeme eingesetzt.

Ob die gewünschte Luftfeuchte in einem Raum direkt oder indirekt bereitgestellt werden sollte, ist immer abhängig von den Anforderungen und den bauseitigen Gegebenheiten. Unter Umständen ist sogar eine Kombination aus indirekter Befeuchtung für die Grundfeuchte und einer zusätzlichen punktuellen direkten Befeuchtung sinnvoll.

In älteren Bestandsgebäuden kann mitunter aufgrund fehlender oder zu gering dimensionierter Lüftungsanlagen nur mit hohem Aufwand eine indirekte Luftbefeuchtung realisiert werden. Für eine Nachrüstung ist daher die Direkt-Raumluftbefeuchtung in diesen Fällen eine gute Alternative.

Abb. 21: Direkte Raumluftbefeuchtung

Abb. 22: Indirekte Raumluftbefeuchtung

11. Was ist bei der Hygiene von Befeuchtungsgeräten zu beachten?

Da sowohl Dampf- als auch Hybrid- und Hochdruckbefeuchter ausschließlich Frischwasser verwenden, ist das Risiko für eine Verkeimung deutlich geringer als bei Befeuchtern nach dem Umlaufprinzip.

Beim Einsatz von Stadtwasser ist die Verkalkungsgefahr deutlich höher als bei entsalztem Wasser aus einer Umkehrosmoseanlage. Somit haben Hochdruck- und Hybridbefeuchter einen deutlichen Vorteil in Bezug auf die Hygiene und im Hinblick auf die Kosten für Wartung und Instandhaltung. Dampfbefeuchter sind vor allem durch die Erhitzung des Wassers auf 100 °C hygienisch unbedenklich.

Befeuchter im Umlaufprinzip erfordern hier die größte Aufmerksamkeit und Vorsicht (s. auch VDI 6022 Bl.1). Die Hygiene dieser Befeuchter ist bei Missachtung der Wartung und Pflege ein kritischer Punkt, da sich in Feuchtbereichen im Zusammenspiel mit organischen Schmutzpartikeln und Temperaturen zwischen 20 °C und 30 °C ein Nährboden für die Vermehrung von Keimen entstehen kann.

Regelmäßige Reinigung und hygienische Kontrollen sind deshalb unbedingt notwendig, damit der Befeuchter nicht selbst zur Quelle für Erkrankungen wird. Die Geräte-hersteller geben in den Wartungsunterlagen ausführliche Anweisungen für die Wartung und Pflege der Geräte. Damit ist ein andauernder, hygienischer Betrieb sichergestellt.

Zitat aus der VDI 6022 mit Bezug auf die Hygiene (Auszug): Die Anforderungen an das zur Befeuchtung verwendete Wasser sind der VDI 3803, Tabelle A1, zu entnehmen. Es ist zu vermeiden, dass durch das Befeuchterwasser eine Verbreitung von pathogenen Mikroorganismen wie z. B. Legionellen und Pseudomonaden verursacht wird. Grenzwert für Legionella spp. < 100 KBE/100 ml. Ein Anstieg der KBE kann z. B. über geeignete Desinfektionsanlagen in Verbindung mit regelmäßigen Reinigungen und dem Trockenverfahren verhindert werden. Die Gesamtkoloniezahl des Umlaufwassers soll < 1.000 KBE/ml sein. Die orientierende mikrobiologische Prüfung des Umlaufwassers ist halbmonatlich durchzuführen.

Abb. 24: Hygienisch bedenklicher Umlaufsprüherhitzer

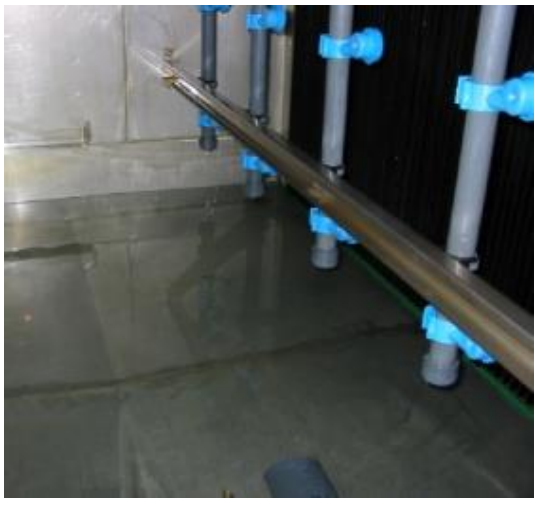

Abb. 23: Hygienisch guter Umlaufsprüherhitzer

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V.

12. Wie hoch ist der Energieverbrauch für die Befeuchtung?

Für die Befeuchtung wird Energie benötigt. Der Energiebedarf für die Verdunstung des Wassers ist bei allen Arten von Befeuchtern prinzipiell gleich hoch. Ein Verdunstungsbefeuchter benötigt daher die gleiche Energiemenge wie ein Elektrodampferzeuger – lediglich die Quelle der Heizenergie ist jeweils eine andere. Ein Verdunstungsbefeuchter hat zwar kein eigenes Heizsystem, entzieht dafür aber die nötige Energie der Umgebung, also der Raumluft oder der Zuluft. Die Folge ist dann ein erhöhter Heizbedarf in diesem Raum – ansonsten würde der Raum durch die „Verdunstungskühlung“ immer mehr auskühlen. Ein Vorteil von Verdunstungsbefeuchtern ist allerdings, dass auch Wärme aus der Wärmerückgewinnung effizient genutzt werden kann.

Bei Dampfbefeuchtern wird dagegen die zum Verdunsten des Befeuchtungswassers notwendige Energie über ein integriertes elektrisches oder gasbefeuertes Heizsystem bereitgestellt. Daher entzieht ein solches System der Umgebung oder der Zuluft keine Energie.

13. Was sagen Normen zur Raumluftfeuchte?

In der aktuell gültigen Fassung der DIN EN 13779 (ab 2016 EN 16798 Teil 3) wird eine relative Feuchte von 30 bis 70 % empfohlen. Die EN 15251 (ab 2016 EN 16798 Teil 1) unterscheidet den Raumkomfort bei aktiver Be- und Entfeuchtung in drei Klassen. Der Fachverband Gebäude-Klima e. V. empfiehlt die Kategorie A, die eine Raumluftfeuchte zwischen 30 und 50 % bei Systemen mit Befeuchtung im Aufenthaltsbereich vorsieht. Das entspricht auch der Forderung von Arbeitsmedizinern, die eine Raumluftfeuchtigkeit von 40 % rel. Feuchte als vorteilhaft ansehen (siehe Kasten „Grundlagen aus der Wissenschaft und der Arbeitsmedizin“).

14. Was sagt die Energieeinsparverordnung EnEV zur Raumluftfeuchte?

Die Energieeinsparverordnung bewertet nicht die Raumluftfeuchtigkeit, sondern lediglich die Zuluftfeuchtigkeit bei RLT-Anlagen. Eine differenzierte Betrachtung zur Raumluftfeuchtigkeit oder eine Feststellung der Notwendigkeit einer Befeuchtung ist mit der DIN V 18599 nicht möglich.

Sie stellt jedoch in § 15 Anforderungen an die regelungstechnische Ausstattung von Be- und Entfeuchtungssystemen:

Beim Einbau von solchen Anlagen in Gebäude und bei der Erneuerung von Zentralgeräten solcher Anlagen müssen, soweit diese Anlagen dazu bestimmt sind, die Feuchte der Raumluft unmittelbar zu verändern, diese Anlagen mit selbsttätig wirkenden Regelungseinrichtungen ausgestattet werden, bei denen getrennte Sollwerte für die Be- und die Entfeuchtung eingestellt werden können und als Führungsgröße mindestens die direkt gemessene Zu- oder Abluftfeuchte dient. Die EnEV 2009 erweitert diese Bestimmung um eine Nachrüstungspflicht. Wird innerhalb der Fristen zur energetischen Inspektion nach § 12 ein Fehlen derartiger Regeleinrichtungen festgestellt, muss innerhalb von 6 Monaten nachgerüstet werden.

15. Für welchen Zeitraum herrscht in typischen RLT-Anlagen ein Befeuchtungsbedarf?

Die Notwendigkeit einer Luftbefeuchtung hängt im Wesentlichen von folgenden Parametern ab: Außenklimadaten, Außenluftwechsel (Frischluftrate), Feuchtelasten im Raum (Personen, Pflanzen, Kochen, Waschen etc.), installierte Anlagentechnik und Sollwertvorgaben des Betreibers.

Beispielhaft wurde im unten abgebildeten Diagramm (Abb. 25) der anteilige Befeuchtungsbedarf für eine typische Klimaanlage mit Standardwerten nach der Energieeinsparverordnung in verschiedenen Klimazonen für Deutschland dargestellt. Die Befeuchtungseinrichtung stellt eine minimale Raumluftfeuchtigkeit von 35 % sicher, die in Abhängigkeit der Feuchtelasten im Raum dann typischerweise über 40 % Raumluftfeuchtigkeit erreicht. Man erkennt, dass insbesondere in den Wintermonaten die Unterschiede in Deutschland gering sind.

In den Wintermonaten besteht ein Befeuchtungsbedarf an über 80 % der Anlagenbetriebszeit. Umgekehrt würde eine Raumluftfeuchtigkeit von etwa 40 % an etwa 80 % der Tage im Winter nicht erreicht werden.

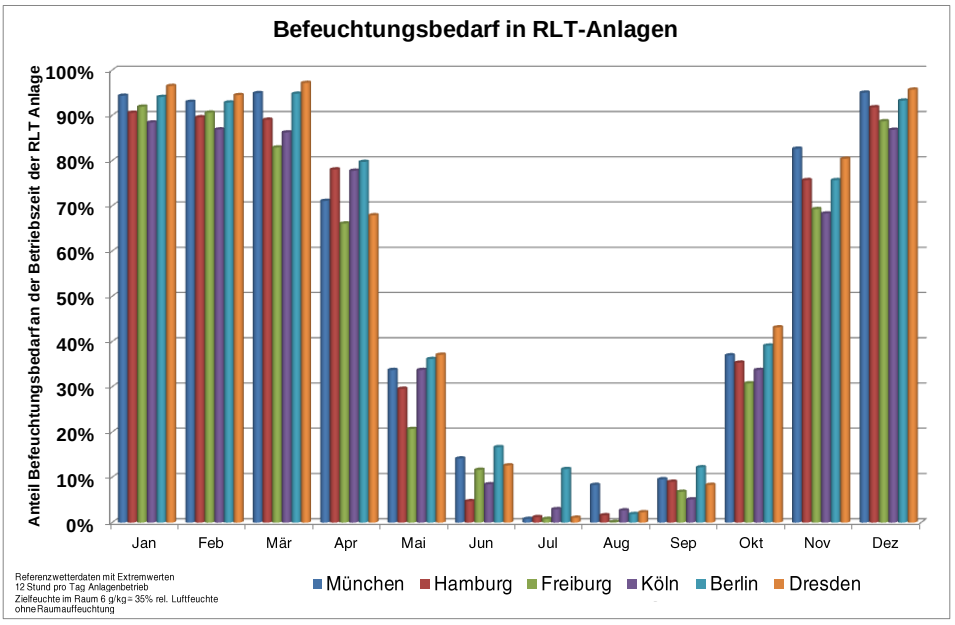

Abb. 25: Zeiten mit Befeuchtungsbedarf in RLT-Anlagen

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

Grundlagen aus der Wissenschaft und der Arbeitsmedizin

[1] Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz
Nr. 0195: **Klima und Luftqualität in Call-Centern:**

„Besonders während der Heizperiode sollten geeignete Einrichtungen zur Raumluftbefeuchtung eingesetzt werden. ***Die optimale relative Feuchte liegt bei 45 - 65 %****“.*

[2] Grundlagen und Probleme der Klimatisierung, Dr. med. Elisabeth Arnold:

„Grundsätzlich sollte in Bürobereichen die relative Luftfeuchte ***nicht wesentlich unter 40 %*** *liegen, da sonst unangenehme Austrocknungserscheinungen im Bereich der Atemwege und Schleimhäute beobachtet werden.“*

[3] Gutachten der medizinischen Fakultät Mannheim, Professor Dr. med. Walter Bachmann:

„Es besteht also kein Zweifel, dass während der kalten Jahreszeit und bedingt durch unsere moderne Art zu heizen, eine enorme Belastung der Schleimhaut auftritt. Es ist daher sinnvoll und zum Teil sogar medizinisch notwendig, eine ***richtige Zimmerluftbefeuchtung*** *durchzuführen.“*

[4] Biologische Gesichtspunkte zur Luftfeuchtigkeit, Prof. Dr. med. Grandjean, ETH Zürich

„... So erklärt man sich die erhöhte Anfälligkeit für Erkältungskrankheiten, die in Folge der Lufttrockenheit während der Heizperiode aufzutreten pflegen. Auf diesen Zusammenhang weisen zahlreiche Ärzte hin und fordern als Präventivmaßnahmen eine erhöhte Feuchtigkeit der Raumluft in Schulen, Büros und Wohnhäusern während der Heizperiode. ... ***Ein behagliches Raumklima wird im Winter bei 21,5 °C und 40 % relativer Luftfeuchtigkeit*** *erreicht.“*

[5] Luftfeuchtigkeit und Grippe

Jeffrey Shaman, Oregon State University, Corvallis und Melvin Kohn, Oregon Department of Health Services in Portland
“… Denn die absolute Luftfeuchtigkeit ist im Winter sowohl in Innenräumen als auch im Freien besonders niedrig – beste Voraussetzungen für Influenza…“

16. Beispiele

16.1. Operationssaal für Knochenmarktransplantationen im Klinikum Marburg

In einem Operationssaal sind die Anforderungen an das Klima extrem hoch. Zum einen muss die Hygiene gewährleistet sein und zum anderen darf die Leistungsfähigkeit der Personen, die dort arbeiten (meistens über mehrere Stunden, stehend und hochkonzentriert) nicht negativ beeinflusst werden. Deshalb muss ein s. g. Wohlfühlklima sichergestellt werden, unter anderem mittels einer Zuluftbefeuchtung und einer adiabaten Abluftkühlung.

Das Klinikum Marburg trat 2007 an den Systemlieferanten der Befeuchtung heran und wollte wissen, ob es möglich sei, ein adiabates Befeuchtungssystem im Operationssaal für die Zu- und Abluftbefeuchtung einzusetzen.

Das ausgewählte System hatte mittels eines neuen Konzeptes im Bereich der Aerosolabscheider bereits die 100 % Zertifizierung gemäß VDI 6022. Nichtsdestotrotz wurde beschlossen, das System unter der Leitung der Spezialisten des Klinikums Marburg einer Risikoanalyse unter realen Betriebsbedingungen zu unterziehen.

Eine der wesentlichen Anforderungen war, keine Chemie oder UV-Lampen einzusetzen und trotzdem den hygienischen Anforderungen gerecht zu werden. D. h., an den entscheidenden Messstellen (im Kanal sowie an der Hydraulik) unterhalb der Vorwarnstufe von 3 KBE/ml zu bleiben.

Im Januar 2009 erhielt das ausgewählte System, ohne Änderungen an der Hydraulik und/oder des Systemaufbaus, die Freigabe für den Einbau. Seit Sommer 2009 laufen die beiden Anlagen (Zu- und Abluft) störungsfrei.

Abb. 26 und Abb. 27: Adiabates Befeuchtungssystem für OP

16.2. BHS Bad Homburger Servicegesellschaft mbH (BHS)

Forderungen an ein gesundes Raumklima erfüllt

Die BHS Bad Homburger Servicegesellschaft mbH (BHS) ist eine 100-prozentige Tochter der Deutsche Leasing Gruppe. Mit rund 250 Mitarbeitern stellt das Unternehmen Dienstleistungen für das Forderungs- und Sicherheitenmanagement zur Verfügung. Kurz nach Umzug in eine neue Immobilie zeigte sich, dass das Raumklima bei den Mitarbeitern vermehrt zu Beschwerden führte.

Abb. 28: BHS, Bad Vilbel

Gutachten empfiehlt Luftbefeuchtung

„Unsere Mitarbeiter klagten im ersten Winter vor allem über zu trockene Luft, die Beschwerden über Haut-, Augen-, und Halsreizungen verursachte“, erinnert sich Klaus Heubach, Leiter Dienstleistersteuerung und Zentrale Dienste bei der BHS. Ein beauftragter Klimagutachter bestätigte Luftfeuchtewerte von teilweise weit unter 30 Prozent und empfahl dringend die Nachrüstung einer Luftbefeuchtung. Da die Befeuchtung über die Gebäudebelüftungsanlage aufgrund der zu erwartenden hohen Investitionen abgelehnt wurde, suchte BHS nach Alternativen.

Mikrofeiner Sprühnebel im Raum

Seit 2017 sind 110 Direkt-Raumluftbefeuchter im Einsatz, die eine optimale relative Luftfeuchte von 40 Prozent sichern. Durch die flexiblen Einbaumöglichkeiten konnten die Luftbefeuchter ausschließlich in den von der BHS genutzten Mietflächen des dritten und vierten Stockwerkes eingesetzt werden. Befeuchtet werden sowohl Open-Space Büroflächen, Flure als auch Einzelbüros. Das Befeuchtungssystem besteht aus kleinen an den Decken und Wänden montierten Einzelgeräten, die bei Bedarf einen feinen Sprühnebel gleichmäßig an die Raumluft abgeben.

Abb. 29: Mikrofeiner Sprühnebel

Abb. 30: Digitale Steuergeräte regeln die Luftfeuchte auf mindestens 40 Prozent

Keine Beschwerden mehr

Für die Mitarbeiter hat sich das Raumklima durch die Luftbefeuchter spürbar verbessert. Die Luft wird als angenehm und frisch empfunden. Beschwerden über zu trockene Luft hat Klaus Heubach nicht mehr gehört: „Mit der Wahl des Luftbefeuchtungssystems haben wir die richtige Entscheidung getroffen. Es ist ideal für die professionelle Nachrüstung geeignet und für unsere Anwendung sehr empfehlenswert.“

16.3. Büro- und Laborbefeuchtung bei Schneider Electric, Marktheidenfeld

Abb. 31: Schneider Electric

Als weltweit tätiger Spezialist in den Bereichen Energie-Management und Automation mit Niederlassungen in mehr als 100 Ländern bietet Schneider Electric integrierte Lösungen für Energie und Infrastruktur, industrielle Prozesse, Maschinen- und Industrieausrüstung, Gebäudeautomatisierung, Rechenzentren und Datennetze sowie Wohngebäude. Mit 150.000 Mitarbeitern weltweit hat Schneider Electric im Jahr 2013 einen Umsatz von 23,6 Mrd. Euro erzielt. Erklärtes Ziel ist es, Menschen, Organisationen und Unternehmen dabei zu unterstützen, mehr aus ihrer Energie zu machen: “Make the most of your energy”.

Als man im Jahr 2011 die neuen Gebäude bezog, hatte man bei den 6 neuen Lüftungsanlagen auf dem Dach der Gebäude zwar Leerteile für die Befeuchtung vorgesehen, diese aus Kostengründen aber nur als Leerteil ausgeführt. Schnell wurde allerdings klar, dass dies nicht lange so bleiben konnte, denn unzufriedene und häufig durch Krankheit ausfallende Mitarbeiter führten zu der Entscheidung der Geschäftsführung, eine Befeuchtung nachzurüsten. Nachdem verschiedene Systeme miteinander verglichen wurden, entschied sich das Unternehmen für eine Hochdruckbefeuchtung eines führenden deutschen Herstellers. Hier wird das durch eine Umkehrosmoseanlage produzierte Permeat mit einem Druck von 130 bar in Luftrichtung gesprüht.

Dabei wird das System durch den Einsatz von sogenannten Winglets in seiner Effizienz gesteigert, was der Philosophie von Schneider entgegenkommt, möglichst nur energiesparende Prozesse einzusetzen. Um möglichst kurze Wege zwischen den einzelnen Bauteilen zu haben, wurden sowohl die Pumpenstationen als auch die Umkehrosmoseanlagen frostgeschützt in extra dafür aufgestellten Containern eingebaut.

Abb. 32: Wasserenthärtung Umkehrosmose (Entsalzung) Hochdruckbefeuchter-Pumpenstation

Ergebnis sind deutlich zufriedenere Mitarbeiter, die nun weniger durch Krankheit ausfallen und so zum Erfolg des Unternehmens beitragen.

16.4. Neue Befeuchtungssysteme für den Bundesrat – Hybrid-Luftbefeuchter ersetzen Luftwäscher

17 Jahre nach der Inbetriebnahme der Klimaanlagen im Gebäude des Bundesrats in Berlin wurden auf Basis eines mehrstufigen Projektplans die ersten, bislang zur Luftbefeuchtung betriebenen Luftwäscher, durch neue, energieeffiziente und hygienisch arbeitende Hybrid-Luftbefeuchter ersetzt. Dabei galt es bei diesem Projekt, eine ganze Reihe von Herausforderungen zu bewältigen.

Im Jahr 1996 beschloss der Bundesrat, seinen Standort von Bonn in die Bundeshauptstadt nach Berlin zu verlegen. Die Entscheidung für das neue Domizil fiel auf ein repräsentatives, ehemaliges Preußisches Herrenhaus in der Leipziger Straße, das 1904 errichtet und seitdem von verschiedenen Institutionen genutzt wurde. Unter Leitung des Hamburger Architekturbüros Schweger & Partner starteten 1997 die Umbauarbeiten an dem denkmalgeschützten Herrenhaus, in die rund 200 Mio. Euro investiert wurden. Im September 2000 zog der Bundesrat dann von Bonn nach Berlin und hat dort seitdem seinen festen Sitz.

Die Klimatisierungssysteme im Bundesratsgebäude

Das Projekt „Modernisierung der Klimasysteme im Bundesrat“ startete mit zwei RLT-Anlagen, die die beiden Sitzungssaal-Gruppen Ost und West mit konditionierter Zuluft versorgen. In diesen Sitzungssälen (Abb. 33) tagen regelmäßig die Ausschüsse des Bundesrats. Die beiden Vollklimazentralgeräte mit den Funktionen Erwärmen (inklusive Wärmerückgewinnung über Kondensationsrotoren), Kühlen, Be- und Entfeuchten der Außenluft zur Zuluft haben Nenn-Luftleistungen von 14.000 m³/h und 16.000 m³/h. Weitere Klimaanlagen im Bundesratsgebäude, auch die für den Plenarsaal, sollen in den kommenden Monaten technisch auf den neuesten Stand gebracht werden.

Nachrüstung der Luftbefeuchtung

Anfang 2017, also rund 17 Jahre nach der Inbetriebnahme der Klimaanlagen, entschied sich das Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), welches für alle Bundesbauten im In- und Ausland zuständig ist, für einen Austausch von zunächst zwei mittlerweile technisch veralteten, energetisch ineffizienten und hygienisch nicht mehr einwandfrei arbeitenden Hochdruck-Luftwäschern im Bundesratsgebäude. Bis dahin mussten dem Befeuchtungswasser der Luftwäscher für einen (den Umständen entsprechenden) bestmöglichen Hygienebetrieb und zum Abtöten von Keimen und Bakterien stets große Mengen an Bioziden zugegeben werden. Auch diesen Mangel galt es, durch den Einbau eines neuen Systems zur Luftbefeuchtung künftig zu beheben – es sollte also eine nachhaltige, hygienisch bessere und energieeffiziente Lösung realisiert werden. Dazu wählte das BBR eine Hybrid-Befeuchtungstechnik. Doch neben den rein technischen Anforderungen an die neuen Luftbefeuchtungssysteme im Hinblick auf Befeuchtungsleistungen, deren exakte Regelung und Energieeffizienz sowie an eine effiziente Aufbereitung des Befeuchterwassers bestand bei dem Austauschprojekt eine weitere Herausforderung darin, die neuen Befeuchtungsaggregate exakt in die bestehenden Klimazentralgeräte einzupassen. Diese Aufgabe wurde von den Technikern gemeinsam mit dem RLT-Gerätehersteller mit Bravour gelöst: Die neue Technik inklusive der notwendigen Gehäuseteile wurden millimeter-genau auf die geforderten Abmessungen gefertigt. Dabei half insbesondere die kurze Einbaulänge. Die beiden neuen, im Bundesrat eingesetzten Hybridbefeuchter, haben Nennleistungen von rund 100 kg Wasser pro Stunde und Druckverluste von lediglich etwa 50 Pa.

Betrieb der Klimageräte

Durch die Klimatisierung soll in den mit Zuluft versorgten Sitzungsräumen (Abb. 36) des Bundesrats eine Temperatur von etwa 22-23 °C bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 40 % sichergestellt werden. Dabei steuern Sensoren für Temperaturen und Feuchten sowie CO^2-Fühler zur Erfassung der aktuellen Luftqualität über eine Gebäudeautomation die benötigten Leistungen der Klimaanlagen.

Die Hybridluftbefeuchter arbeiten ausschließlich in den kühleren Jahreszeiten, wenn die Außenluft sehr kalt und gleichzeitig auch sehr trocken ist. Wenn im Nennluftbetrieb ein Außenluftvolumenstrom von 14 000 m³/h mit einer Temperatur von -10 °C und einer Feuchte von etwa 1 g/kg in das Klimagerät angesaugt und dort erwärmt wird, sinkt die relative Feuchte der Luft auf Werte von deutlich unter 5 %. So eine trockene Zu- und Raumluft wäre aber hygienisch völlig ungenügend und würde bei Personen trockene Schleimhäute und Augenreizungen hervorrufen. Daher muss die Luft im Klimagerät auf Werte von etwa 45 % befeuchtet werden, um in den Räumen eine ausreichende Luftfeuchte sicherzustellen. Bei den zuvor genannten Bedingungen (Außenluft -10 °C, Feuchte 1 g/kg) wird die Luft im Erhitzer des Klimagerätes mit einer Gesamtheizleistung von etwa 215 kW auf 36 °C erwärmt, bevor sie in den Hybridbefeuchter einströmt. Diese Heizleistung wird durch die Wärmerückgewinnung aus der Abluft und durch Fernwärme bereitgestellt. Danach erreicht die erwärmte Luft den Hybridbefeuchter und wird dort von 1 g/kg auf den Sollzustand von 7 g/kg (45 % relative Feuchte) befeuchtet. Dafür ist eine Befeuchtungsleistung von rund 100 kg Wasser pro Stunde nötig (16 800 kg/h Luftmassenstrom x 6 g/kg = 101 kg Wasser pro Stunde). Bei den beiden modernisierten Klimaanlagen im Bundesrat wird für die-se Zerstäubungsleistung keine zusätzliche Pumpenleistung benötigt. Das Hybridsystem kommt mit einer elektrischen Gesamtleistung von nur 35 W aus. Durch die adiabate Befeuchtung sinkt die Lufttemperatur auf etwa 21 °C ab (Abkühlung um 2,5 K pro g Wasser, um welches die Luft befeuchtet wird) und muss nun noch auf die Soll-Zulufttemperatur nacherwärmt werden. Das zum Betrieb der Hybridbefeuchter benötigte Wasser wird in einer Wasseraufbereitungseinheit, bestehend aus einer Enthärtung und einer Osmoseanlage (Abb. 37), aufbereitet.

Die eingesetzten Hybrid-Luftbefeuchter

Die Hybrid-Luftbefeuchter bestehen aus einer Zerstäubereinheit mit auf einem Trägergitter einzeln justierbaren Molekular-Zerstäuberdüsen (Abb. 36) und einer nach-geschalteten patentierten Verdunstungseinheit aus Keramikplatten. Für einen hygienischen Betrieb wird das zuvor aufbereitete Osmosewasser mit Silberionen nachbehandelt (Abb. 37). Ein Teil des aus den Zerstäuberdüsen bei Niederdruck eingesprühten Wassers verdunstet direkt im Luftstrom, der Rest trifft auf die Keramikplatten, welche das Befeuchterwasser vollständig aus dem Luftstrom abscheiden und wirksam verdunsten. Durch dieses Hybridverfahren werden die höchstmögliche Ausnutzung des eingesprühten Wassers sowie eine aerosolfreie und hygienisch befeuchtete Zuluft erreicht. Weitere Eigenschaften dieser Bauart sind eine kurze Baulänge von lediglich 600 bis 900 mm, ein geringer Druckverlust, eine individuelle Ansteuerung der einzelnen Sprühkreise, eine automatische, stufenlose Regelung der Befeuchtungsleistung in Abhängigkeit vom aktuellen Bedarf sowie die Einbindung in übergeordnete Leit- und Automationssysteme. Diese Befeuchtungsgeräte wurden von der Berufsgenossenschaft BGETEM für ihre optimale Hygiene und Gerätesicherheit mit der DGUV-Test-Prüfbescheinigung ausgezeichnet.

Abb. 33: Plenarsaal des Bundesrats

Abb. 34: Sitz des Bundesrats in Berlin

Abb. 35: Schlitzdurchlässe in Sitzungsräumen

Abb. 36: Wasseraufbereitung in Kombination mit Niederdruck-Hybridsystem

Abb. 37: Umkehrosmose-Anlage

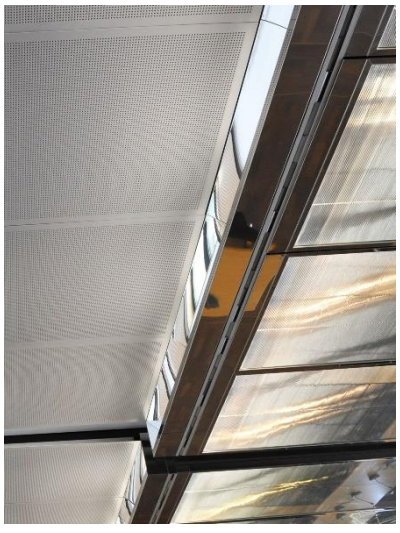

Abb. 38: Hybrid-Luftbefeuchter

Abb. 39: Steuereinheit und Zentral-einheit Hybridbefeuchter

16.5. Campus Kronberg nutzt Abwärme aus Dampf-Luftbefeuchtern

Mehr Effizienz durch Abgasnutzung

Im Sommer 2014 wurde in die RLT-Anlage des Gebäudes „Gamma“ am Campus Kronberg erstmals ein gasbetriebenes Dampfluftbefeuchtungssystem eingesetzt und abgenommen. Bei diesem patentierten System werden die Abgase der Gasverbrennung in die Abluft der RLT-Anlage eingeleitet und tragen dadurch zur Leistungssteigerung der Wärmerückgewinnung bei.

Der im Jahr 2002 auf einer Grundfläche von 32.000 m² errichtete Campus Kronberg in der Nähe von Frankfurt besteht aus zwei je fünfgeschossigen Bürogebäuden und einem vorgelagerten, viergeschossigen Multifunktionsgebäude „People‘s Forum“ mit Räumen für Konferenzen, Schulungen, Feiern, Events und einem Restaurant. Die vom Architekturbüro Kaspar Krämer BDA in Köln entworfenen, nahezu vollverglasten Gebäude haben eine Gesamtnutzfläche von 29.000 m² und in drei Untergeschossen Platz für 728 Pkw. Hauptmieter ist Accenture, weltweit agierender Managementberatungs-, Technologie- und Outsourcing-Dienstleister mit rund 293.000 Mitarbeitern (Nettoumsatz von 28,6 Mrd. US-Dollar in Fiskaljahr 2013), das hier seine Zentrale für D-A-CH-Länder hat. Die Büros im Campus Kronberg sind vollklimatisiert (1,5-facher Luftwechsel), besitzen Kühldecken, öffenbare Fenster, außenliegende Sonnenschutzsysteme, Raumautomation und zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität in der Flächennutzung und in der Anpassungsfähigkeit an organisatorische und funktionelle Abläufe aus.

Dampfbefeuchtung ersetzt verkrustete Befeuchterwaben

Beim Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlagen ist es besonders bei kühlen Außen-temperaturen notwendig, die in die RLT-Anlage angesaugte trockene Außenluft kontrolliert zu befeuchten. Nur durch eine ausreichend feuchte Zuluft kann in den Räumen eine zu trockene Luft vermieden und dauerhaft eine gesunde und angenehme Luftfeuchte von mehr als 30 bis 40 % sichergestellt werden. Die Klimaanlage im 12.000 m² großen Gebäude Gamma des Campus Kronberg hat eine Zuluftleistung von 54.000 m³/h (64.800 kg/h). Der damit korrespondierende Abluftvolumenstrom teilt sich in zwei Kanäle auf. Strang Eins hat 30.000 m³/h Abluft (36.000 kg/h) und wird nach der Abgaseinleitung aus der Dampfbefeuchtung und der Wärmerückgewinnung an die Außenluft abgeführt. Die Abluft des Strangs Zwei (24.000 m³/h = 28.800 kg/h) wird in die Tiefgarage geleitet. Zur Wärmerückgewinnung wird ein Kreislaufverbundsystem (KVS) mit einer Rückwärmezahl von etwa 0,4 betrieben. Bisher waren in der Klimaanlage zur Luftbefeuchtung Wabenbefeuchter eingesetzt. Obwohl zum Betrieb dieses Systems das Befeuchterwasser in einer vorgeschalteten Wasserenthärtung aufbereitet wurde, haben sich diese Wabenbefeuchter im Laufe der Jahre zugesetzt.

Anstelle eines möglichen Austausches der Wabenbefeuchter entschied sich der Gebäudebetreiber für eine zukunftsorientiertere und wirtschaftlichere Lösung zur Luft-befeuchtung. Dazu wählte er zwei gasbetriebene Dampfluftbefeuchter mit einer Nenn-Dampfleistung von je 200 l/h. Hinzu kommen eine Umkehrosmoseanlage zur Wasseraufbereitung mit einer Leistung von maximal 500 l/h und ein Dampfverteilsystem, die den erzeugten Dampf gleichmäßig über den Querschnitt im RLT-Gerät verteilen. Die Installation der neuen Anlage erfolgte durch die Bilfinger HSG Facility-Management Rhein-Main GmbH in Hanau.

Wie funktioniert die Dampfbefeuchtungstechnik?

Im Vergleich zu konventionellen Luftbefeuchtungssystemen besitzt das patentierte Edelstahl-Dampfluftbefeuchtungssystem ein außergewöhnliches Alleinstellungsmerkmal: Bei diesem System können die bei der Dampferzeugung (Abb. 43) freigesetzten Brenngase in den Abluftsektor des RLT-Geräts zugegeben werden – und zwar vor der Wärmerückgewinnung (Abb. 42). Die sicherheitstechnische und hygienische Unbedenklichkeit dieses Verfahrens wurde durch ein Zertifikat des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) vollumfänglich bestätigt. Aufgrund dieser Innovation wird die Dampfluftbefeuchtung in zentralen RLT-Geräten einfacher, effizienter und wirtschaftlicher. Bei gasbetriebenen Dampfluftbefeuchtern können laut Gutachten des DVGW die heißen Abgase der Abluft zugegeben und als Abwärme genutzt werden.

In Dampfluftbefeuchtern wird Trinkwasser, das zuvor in einer Enthärtungs- und Umkehrosmoseanlage enthärtet, entsalzt und entmineralisiert wurde, bei etwa 100 °C verdampft (Abb. 42). Die dazu notwendige Energie kommt bei dieser Bauart aus einer Gasfeuerung. Bislang mussten die dabei entstehenden Abgase aufwendig über eine Abgasleitung und einen separaten Schornstein übers Dach ins Freie abgeführt werden. Gemäß dem DVGW-Gutachten dürfen die Abgase der Dampferzeugung nun der Gebäudeabluft zugegeben und über die RLT-Anlage ins Freie abgeführt werden. Dieses Verfahren hat drei Vorteile:

- Die besonders in kühlen und trockenen Jahreszeiten betriebene Dampfbefeuchtung entlastet im Vergleich zur bisherigen Lösung (Luftbefeuchtung mit Wasser über Wabenbefeuchter) die Leistung der Heizregister im RLT-Gerät beziehungsweise erhöht die Heizleistung.
- Da nun kein eigener Schornstein zur Abführung der Abgase mehr benötigt wird, führt dies zu einer erheblich einfacheren Anlageninstallation und spart Investitionskosten.
- Durch die Zugabe der heißen Abgase aus der Dampfbefeuchtung steigt die Temperatur des Abluftstroms an. So wird der Wärmeinhalt der Abluft erhöht und es kann in der Wärmerückgewinnung im RLT-Gerät mehr Wärme zur Vorerwärmung der Außenluft übertragen werden.

Wie groß diese zusätzliche Wärmemenge ist, die durch die Abgasbeimischung gewonnen wird, hängt von der Betriebsweise des Dampfbefeuchters ab (Voll- oder Teillast). Dabei wird die zur Luftbefeuchtung benötigte Dampfmenge in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen (Temperatur und Feuchte der Außenluft, Feuchte-Sollwert der Zuluft) exakt geregelt und im RLT-Gerät über ein Verteilsystem der Außenluft zugegeben.

Die zusätzlich nutzbare Abgas-Heizleistung

Bei den im Campus Kronberg eingesetzten Dampfluftbefeuchtern werden pro Stunde maximal 400 kg Dampf erzeugt. Dabei entstehen bei der Verbrennung etwa 540 kg/h heiße Abgase. Durch die Zugabe dieser Abgase wird die Abluft (36.000 kg/h) um etwa 45 kW beziehungsweise um etwa 4,5 K erwärmt. Von den 45 kW zugeführter Wärmeleistung werden in Abhängigkeit von der Qualität der Wärmerückgewinnung im RLT-Gerät (Rückwärmzahl RWZ) und deren Betriebsweise (mit/ohne Kondensation auf der Abluftseite) zwischen etwa 29 kW (RWZ=65 %) und 34 kW (RWZ=75 %) auf die kühlere Außenluft übertragen. Diese Angaben beinhalten jeweils auch die Übertragung von Kondensationswärme. Bei dem im Campus Kronberg eingesetzten KVS-System (RWZ=40 %) beträgt die übertragene Wärme bei voller Leistung der Dampfbefeuchtung und Kondensation etwa 18 kW. Um diese Leistung wird der im RLT-Gerät der Wärmerückgewinnung nachgeschaltete Lufterhitzer entlastet.

Abb. 40: Campus Kronberg

Abb. 41: Abwärmenutzung

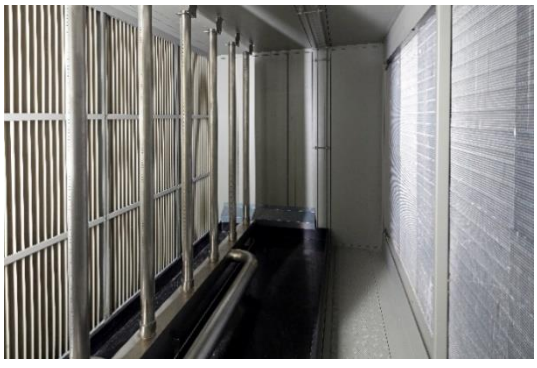

Abb. 42: Dampfverteilsystem

Abb. 43: Wasseraufbereitung und Dampferzeugung

 © Fachverband Gebäude-Klima e. V. | Nr. 139 – 05/2020

16.6. Betriebskosteneinsparung durch Adiabate Befeuchtung in hygienekritischen Anwendungen – Blutzentrale des Österr. Roten Kreuzes in Linz

Auf einer Fläche von 3.500 m² betreibt das Oberösterreichische Rote Kreuz in der Blutzentrale in Linz Reinräume der Klassen A bis D. Hier werden aus offenen Materialien Stammzellen und Gewebe hergestellt. Da in diesen Räumen sehr eng begrenzte Klimadaten und eine Mindestluftfeuchte von rund 50 % eingehalten werden müssen, wurden die bestehenden Dampfbefeuchtungssysteme in den RLT-Zentralen auf eine Hochdruckdüsen-Lösung umgerüstet.

Abb. 44: Die 3.500 m³ große Blutzentrale Linz

Abb. 45: Blick in ein Labor der Blutzentrale

Die Luftqualität, die Temperaturen und die Feuchte spielen in den 3.500 m² großen Produktionsstätten der Blutzentrale Linz/Österreich eine wichtige Rolle. Aufgrund der hochsensiblen Tätigkeiten wird für diese Räume per Gesetz sowohl anlagenspezifisch als auch hygienisch der höchste Standard gefordert.

Bisher wurde die Zuluft für die Reinräume (Klassen A-D) mit elf isothermen Befeuchtersystemen befeuchtet. Hierbei wurde eine relative Feuchte von 45 % erreicht. Eingebaut waren diese in acht RLT-Anlagen mit einer maximalen Luftmenge von 135.000 m³/h. Die maximale Leistung der elf Luftbefeuchtersysteme betrug 780 kg/h.

Abb. 46: Blick in die Befeuchtungskammer im RLT-Gerät

Abb. 47: Technikraum der Blutzentrale mit RLT Zentralgeräten und zwei Hochdruck-Befeuchtungsanlagen

Energie- und Betriebskosten senken – Hygiene ohne Chemie gewährleisten

Bei der Suche nach alternativen Lösungen mussten besonders die engen rechtlichen Rahmenbedingungen der ÖNorm H6020 „Lüftungstechnische Anlagen für medizinisch genutzte Räume – Projektierung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, technische und

hygienische Kontrollen“ (2007) eingehalten werden. Die ÖNorm H6020 entspricht der deutschen VDI 6022, ist aber in Bezug auf Raumklima und Raumfeuchte eindeutiger formuliert und somit wesentlich strikter. Gleichzeitig lässt sie seit ihrer Novellierung im Jahr 2007 für Anwendungen im Krankenhausbereich nicht nur isotherme Befeuchtung, sondern auch alternative Systeme zu, wenn deren mikrobiologisch-hygienisch unbedenkliche Gleichwertigkeit mit der Dampfluftbefeuchtung durch ein Gutachten nachgewiesen wird.

Im Zusammenspiel mit einer extern entwickelten chemiefreien Wasseraufbereitung ermöglicht das Hochdruckdüsen-Befeuchtungssystem ein den Vorschriften und Normen entsprechendes Gesamtsystem. Nach Abschluss einer 18-monatigen Testphase, konnten die oberösterreichischen Behörden von dem hohen hygienischen Standard der neuen adiabatischen Befeuchtungssysteme überzeugt werden. Dabei wurde auch die Gleichwertigkeit zu isothermen Systemen von einem gerichtlich zertifizierten Gutachter für Krankenhaushygiene attestiert.

Vorteile der Umrüstung

- Das Hochdruckdüsen-System überzeugte mit einer geringen Befeuchtungsstrecke, niedrigen Betriebskosten und einer fast „trockenen Befeuchtung“, d. h. es gibt keinerlei Niederschlag an den Kanalwänden, sondern lediglich einen geringen Verlustwasseranteil unmittelbar am Aerosolabscheider, der direkt abgeleitet wird. Erreicht wird dies durch den Einsatz von hochpräzisen Zerstäubungsdüsen und deren optimale Positionierung im Luftstrom.
- Beim Betrieb der Hochdruck-Systeme gibt es eine zusätzliche kostenlose Abkühlung der Zuluft. Dadurch wird in der Klimaanlage der Energieaufwand zur Luftkühlung (Leistung des Wasserkühlsatzes) verringert. Bis heute wurden in der Blutzentrale Linz alle elf bestehenden Dampfluftbefeuchter auf acht adiabate Systeme umgerüstet. Die damit verbundenen Betriebskosteneinsparungen belaufen sich auf 86.331 € pro Jahr. Dadurch ergab sich eine Amortisationszeit von deutlich unter zwei Jahren.

Zusätzlich wurden zwei weitere RLT-Anlagen mit den adiabaten Systemen ausgestattet, sodass jetzt 158.000m³/h Zuluft mit einer Gesamtbefeuchtungsleistung von 1.100 kg/h befeuchtet wird. Weiteres Potential bietet sich durch die Nutzung der nun vorhandenen Pumpenstationen für eine ebenso umweltfreundliche wie kostensparende adiabate Abluftkühlung im Sommer an.

Zusammenfassung

Das beschriebene Komplettsystem wurde erstmals mit einer behördlichen Genehmigung in Reinräumen der Klassen A bis D eingesetzt und erlaubt damit auch die Verwendung im Krankenhaussegment. Durch die Koppelung der Systeme Wasseraufbereitung und Hochdruckdüsenbefeuchtung konnte eine Qualität erreicht werden, die einerseits den gesetzlichen Bestimmungen entspricht und andererseits im Rahmen von laufenden hygienischen Überprüfungen auch reproduktiv nachgewiesen werden kann.

16.7. Wein-Genuss in exklusiver Atmosphäre – wineBank Hamburg

Im Keller der „Alten Oberpostdirektion“ in Hamburg hat im April 2015 die „wine¬BANK“ eröffnet. 22 Tresore und 240 Fächer bieten die Möglichkeit, hier insgesamt mehr als 24.000 Flaschen Wein zu lagern.

Abb. 48 und Abb. 49: wineBank Hamburg

Hoher Anspruch

Zuallererst muss für eine erstklassige „Trinkreife“ eine über das ganze Jahr konstant gehaltene Temperatur gewährleistet sein. Eine genauso wichtige Rolle spielt dann die Luftfeuchtigkeit: Denn nur mit einer ausreichend hohen Luftfeuchte wird garantiert, dass die Korken elastisch bleiben und die Flaschen langfristig zuverlässig verschließen. Zu guter Letzt kommen noch die Anforderungen dazu, die sich aus der Form und dem Design der Räume ergeben. Bei der wineBANK wird nämlich auch auf ein perfektes Ambiente viel Wert gelegt, da die Weine hier nicht nur gelagert werden: Die wineBANKer können ihre Weine dort auch mit Freunden oder Geschäftspartnern verkosten – jeden Tag und rund um die Uhr.

Doppelter Einsatz

Mit einem Elektroden-Dampfluftbefeuchter für die direkte Raumluftbefeuchtung war die richtige Lösung parat: Er kann mit normalem Trinkwasser betrieben werden und erzeugt reinen, mineralfreien Dampf. Sein integriertes, laufruhiges Ventilationsgerät verteilt den hygienischen Dampf gleichmäßig im Raum: Doch um die unbedingt benötigte hohe Konstanz in der Luftfeuchtigkeit zu erreichen, musste das Gerät sozusagen verdoppelt werden. Da U-förmig gehaltene Räume wie in der wineBANK Hamburg eine lüftungstechnisch „ungünstige“ Form haben, ist es viel schwieriger, die Feuchtigkeit gleichmäßig über den ganzen Raum zu verteilen. Deshalb kamen auch zwei Befeuchter zum Einsatz – mit dem gewünschten Erfolg: Die beiden Befeuchtungsgeräte dienen sowohl der Nachbefeuchtung der latenten Kälte (= Entfeuchtung im Kühlbetrieb) als auch zum Ausgleich der trockenen Außenluft im Winter, die widerum für die notwendige leichte Belüftung des Weinkellers nachgeführt werden muss. Damit wird die absolute Feuchte im Raum auf ca. 6,7 g/kg (das entspricht 16 °C/60 % relative Feuchte) konstant gehalten.

Individuelle Kundenwünsche erfüllt

Des Weiteren war es wichtig, den Kundenwunsch nach einer dezenten und technisch unauffälligen Lösung zu erfüllen, die sich in das Design der wineBANK schlüssig integriert: und dies wurde mit einer besonderen Lackierung so umgesetzt, dass die Dampfbefeuchter nicht als Störelemente, sondern als integraler Bestandteil des Raumkonzeptes wahrgenommen werden.

16.8. Retrofit eines Wäschers in einen adiabaten Hochdruckbefeuchter bei Philip Morris, Berlin

Im Werk Berlin, von Philip Morris, werden aus Rohtabak die fertigen Zigaretten komplett verpackt hergestellt. Für die Qualität des Tabaks ist eine hohe konstante Luftfeuchtigkeit notwendig. Der auszutauschende Wäscher (Abb. 51) ist, durch die Rahmenbedingungen, fast das ganze Jahr in Betrieb. Aus diesem Grund wurde nach einer Alternative gesucht, mit geringen Betriebskosten. Hier fiel die Wahl auf einen Hochdruckbefeuchter in der 3in1-Variante. Hier ist der notwendige Tropfenabscheider durch ein besprühtes Heizregister ausgetauscht (Abb. 52). Die Vorteile dieses Druckwasserbefeuchters liegen in einer exakten Befeuchtung auf den gewünschten Zuluftwert, der Einbringung der fehlenden Heizenergie, geringerem Druckverlust (da Heizregister und Tropfenabscheider in einem), geringeren Wartungskosten und keinem Chemieeinsatz. Der Befeuchter stellt die Zuluft ohne Schichtung über den lichten Querschnitt zur Verfügung. Dies war notwendig, da nach dem Befeuchter sofort eine 90°-Umlenkung kommt und früher die abgehenden Zuluftkanäle zusätzliche Heizregister hatten. Dieser unnötige Widerstand wurde bei dem Retrofit gleich mit beseitigt.

Der Umbau fand in der produktionsfreien Zeit zwischen Weihnachten und Silvester statt. Die Anlage ist auf 100.000 m³/h Zuluft, bei 22 °C/58 % r. F., ausgelegt. Die Abmessungen betragen 3400 x 3600 mm im lichten Querschnitt, mit einer Länge von 2800 mm. Die bestehende Wäscherkammer (Edelstahl) hatte ihre Verbindungsflansche innen, dies machte eine Innenverkleidung mit Hinterfütterung notwendig. Nach der Verkleidung hat die Kammer glatte Wände ohne störende Versprünge. Der bestehende Wäscherboden wurde beibehalten, da er einwandfrei und in alle Richtungen geneigt war. Im Bereich des eingebauten Registers wurde der Boden mit Streben auf das Fundament unterstützt. Die Hochdruckpumpenstation wurde als Doppelpumpenvariante ausgeführt, um eine Redundanz und Wartungen im laufenden Betrieb zu ermöglichen.

Nach einer umfangreichen Planung, vor allem in Hinsicht auf die knappe Umbauzeit (6 Tage inkl. Demontage und IBN) und die Koordination von 4 Firmen erfolgte der Umbau zeitgerecht und ohne weitere Probleme. Laut Betreiber wurden die Betriebs-kosten erheblich gesenkt. Der Chemieeinsatz von 7.000 €/a entfällt komplett. Der Wasserverbrauch ist deutlich geringer, hier liegt die Einsparung bei 2.000 €/a. Die geregelten HD-Pumpen bringen eine Stromeinsparung von 13.000 €/a. Der geringere Wartungsaufwand war noch nicht zu beziffern, da ihm die Werte aus dem Facility Management noch nicht vorlagen.

Das Einsparpotential bei der Umrüstung alter Wäscher oder Dampfbefeuchter ist enorm und bringt zusätzlich einen erheblichen Vorteil im Bereich der Hygiene. Der Hochdruckbefeuchter ist im Stillstand trocken, ohne Wasservorlage, und damit völlig risikofrei hinsichtlich der Verkeimung. Mit dieser Bauart kann auch ein bestehender Dampfbefeuchter ausgetauscht werden. Die fehlende Heizleistung wird über das Register, das als Tropfenabscheider, eingebaut ist, in den Zuluftvolumenstrom eingebracht. Damit eignet sich dieser Befeuchter auch ideal als Ergänzung für WRG-Systeme, die eine Nachheizung benötigen.

Abb. 50: Sanierte Befeuchtung

Abb. 51: Bestandswäscher

Abb. 52: Hochdruckbefeuchtung

Abb. 53: Tropfenabscheider

WEITERE SCHRIFTEN AUS DER REIHE STATUS-REPORT:

		Best.-Nr.
1	Raumlufttechnische Anlagen – Instandhaltung, Reinigung, Entsorgungsaufgaben	9
2	Moderne Klimaanlagen: Die Wohlfühltechnik!	106
3	Klimaanlagen: Die unsichtbaren Problemlöser!	107
8	Fragen und Antworten zur Raumluftfeuchte	139
9	Hygiene in Wohnungslüftungsanlagen	129
10	Regenerative Energien in der Klima- und Lüftungstechnik	136
11	Die neue F-Gase-Verordnung	137
12	Verantwortung des Architekten in der Frage der Raumlufttemperatur	140
13	Zertifizierung Instandhaltung und Reinigung von RLT-Anlagen	144
14	Definition von Klimaanlagen nach EnEV und EPBD	146
15	Raumlufttechnische Anlagen - Durchführung von Hygieneinspektionen nach VDI 6022	143
16	Informationen zur Hygiene in RLT-Anlagen	145
17	Bewertung des Innenraumklimas	154
18	Wohnungslüftung	159
19	Rehva Guidebook No 8: Die Sauberkeit von Lüftungsanlagen (deutsche Version)	150
20	Die Bewertung von WRG und Regenerativen Energien in RLT-Anlagen für Nichtwohngebäude nach EEWärmeG	162
21	Software zur Auslegung von Wohnungslüftungssystemen	180
22	Lüftung von Schulen	174
24	Hinweise für die CE-Kennzeichnung von Wohnungslüftungsgeräten	177
26	Qualitätssiegel Raumklimageräte	179
27	Checkliste für die Abnahme von Klima- und Lüftungsanlagen	170
29	Einheitliche Herstellerdeklaration für Wohnungslüftungsgeräte nach DIN 4719	187
30	Richtiges Lüften in Haus und Wohnung	185
33	Zertifizierung und Zulassung von Produkten der Lüftungstechnik	244
36	Fragen und Antworten zur Ecodesign-Richtlinie EU 327/2011 für Ventilatoren	246
37	Leitfaden Anlagensicherheit	73
38	Fragen und Antworten zur F-Gase-Verordnung EU-VO 517/2014	260
40	FAQ zur Ecodesign-Richtlinie EU 1253/2014 – RLT-Geräte für den Nichtwohnungsbau	271
41	Auslegung von Wohnungslüftungsanlagen unter den Randbedingungen EnEV und DIN 1946-6	278
44	Luftfilter für die Raumlufttechnik - ISO 16890 und EN 779	291

Fachverband Gebäude Klima e. V.
Danziger Str. 20
74321 Bietigheim-Bissingen
Tel.: +49 7142 78 88 99 0
Fax: +49 7142 78 88 99 19
E-mail: info@fgk.de
www.fgk.de

Fachverband
Gebäude-Klima e.V.