



Bild: Condair

Luftfeuchte nach Maß

Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen für die Raum- und Prozessluftentfeuchtung

Luftentfeuchtung in einem Wasserwerk.

Obwohl Luftentfeuchtungssysteme in zahllosen Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen, sehen sich Fachplaner in ihrem täglichen Arbeitsalltag doch eher selten damit konfrontiert. Der folgende Beitrag soll daher einen Überblick vermitteln, welche Projektdaten zur Auslegung einzuholen sind und wie eine Berechnung für eine in der Praxis häufig auftretende Aufgabenstellung erfolgt. Zur Auslegung selbst genügen meist wenige Formeln und Berechnungsmethoden. Genaue und belastbare Angaben vom Betreiber zu erhalten, gestaltet sich oft als die größere Herausforderung.

Welcher Berechnungsansatz gewählt werden muss, hängt nicht zuletzt von der geplanten Anwendung des Luftentfeuchtungssystems ab. Die häufigsten Anwendungen sind:

- Kontrolle/Reduzierung der Feuchte im Raum oder in einem Fertigungsprozess,
- Schutz vor Kondensatbildung auf kalten Oberflächen, z. B. Rohrleitungen und Installationen im Wasserversorgungsbereich, Lebensmittelindustrie,
- Abführung durch Verdunstung bedingter Wasserdampfmen- gen, z. B. in Schwimmhallen, aber auch in der Wasserversorgung und
- Produkttrocknung.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die in der Praxis am häufigsten vorkommende Aufgabe der Entfeuchtung von Räumen oder Prozessluftströmen. Schwimmbad- und taupunktgeführte Entfeuchtung bedürfen vollkommen anderer Auslegungsmethoden.

Benötigte Angaben zur Planung und Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen

- Beschreibung der konkreten Anwendung,
- Raumvolumen in m^3 ,
- erwünschte Konditionen nach der Entfeuchtung in $^{\circ}C$ und % r.F./benötigte absolute Endfeuchte in g/kg tr.Luft,
- ungünstigste Temperatur- und Feuchtwerte in $^{\circ}C$ und % r.F. vor Entfeuchtung/Startfeuchte in g/kg tr.Luft,
- mechanische Lüftung/RLT: falls vorhanden, Angaben zu Volumenstrom und Zuluft-Konditionen (Sommer).

Grundlegende Methode zur Berechnung der Entfeuchungsleistung

Um die Raumluftfeuchte kontrollieren zu können, müssen sämtliche inneren und äußeren Feuchtelasten bekannt sein bzw. berechnet werden. Die benötigte Leistung des auszulegenden Entfeuchtungssystems ergibt sich dann aus der Summe sämtlicher inneren und äußeren Lasten[1]:

Entfeuchterleistung

$$L_E = \dot{m}_{D_{gesamt}} = \dot{m}_{D_{intern}} + \dot{m}_{D_{extern}}$$

Wasserdampfeintrag durch Lüftung

$$\dot{m}_{D_{Lüftung}} = p \cdot V \cdot n \cdot (X_{AUL} - X_{SOLL})$$

$$m_{D_{Lüftung}} [g_w/h] = \text{Wasserdampfeintrag durch Lüftung}$$

$$L_E [l/h] = \text{Entfeuchterleistung}$$

$$V [m^3] = \text{Raumvolumen}$$

$$n = \text{Luftwechsel } \frac{1}{h} \text{ bzw. } \frac{V_{AUL}}{V_{RAUM}}$$

$$X_{SOLL} [g_w/h] = \text{Absolute Feuchte der Außenluft bei Soll-Konditionen}$$

$$X_{AUL} [g_w/h] = \text{Absolute Feuchte der Außenluft im Sommerfall}$$

Bestimmung der externen Feuchtelasten

Externe Feuchtelasten sind z. B. mechanische Lüftung mit Außenluftanteil, Infiltration von Außenluft durch Gebäudeöffnungen, Wasserdampfdiffusion durch Mauerwerk. Zur Bestimmung der

Außenluftzustände können die mittleren Extremwerte aus DIN 4710 herangezogen werden [2]. Bei besonders sensiblen Anwendungen im industriellen Bereich müssen allerdings gegebenenfalls höhere Extremwerte angesetzt werden (z. B. Gewitterfall). Die rechnerische Bestimmung der Infiltration bei Nicht-Wohngebäuden ist meist sehr aufwendig und kann daher oft nur abgeschätzt werden. Für normal dichte Gebäude erweisen sich 20 % vom Raumvolumen als in der Regel vollkommen ausreichend.

Bestimmung der internen Feuchtelasten

Interne Feuchtelasten sind demnach u. a. Feuchteabgabe durch Personen, offene Wasserflächen, Materialfeuchte, Produktions- und Reinigungsprozesse. Der Feuchteintrag durch Personen richtet sich nach deren Aktivitätsgrad und der Raumtemperatur. Allgemein wird empfohlen, hierzu die Werte aus der VDI 2078, Tabelle A1, zu übernehmen. So sind z. B. hier für eine Raumtemperatur von 22 °C folgende Werte angegeben [3]:

- $m_{D\text{Person}}$ bei Aktivitätsgrad I bis II (leicht, sitzend oder stehend): 35 $g_{W/h}$
- $m_{D\text{Person}}$ bei Aktivitätsgrad III (mäßig schwer): 110 $g_{W/h}$
- $m_{D\text{Person}}$ bei Aktivitätsgrad IV (schwer): 185 $g_{W/h}$

Zur Berechnung der, durch eine ruhende, offene Wasseroberfläche abgegebenen Wasserdampfmenge durch Verdunstung (z. B. im Wasserversorgungsbereich), gilt mit hinreichender Genauigkeit:

$$m_{D\text{Becken}} = \varepsilon \cdot A \cdot (p_s - p_D)$$

ε = empirisch ermittelter Verdunstungsbeiwert für

Ruheverdunstung bei offener, nicht bewegter Wasserfläche in $g/(h \cdot mbar \cdot m^2)$

A = Beckenwasseroberfläche in m^2

p_s = Sättigungsdampfdruck in mbar, bezogen auf Beckenwassertemperatur

p_D = Partialdruck des Wasserdampfes in mbar, bezogen auf Raumlufttemperatur

Die notwendigen Werte für p_s und p_D können entsprechenden Tabellen entnommen, oder über Diagramme bestimmt werden. Sämtliche weiteren internen und externen Feuchtelasten, z. B. die Feuchteabgabe durch Produkte, Produktionsprozesse, Infiltration durch Bauwerksundichtigkeiten etc., sind ebenfalls zu bestimmen bzw. vom Betreiber in Erfahrung zu bringen.

Auslegungsbeispiel

In der Produktionshalle eines Industriebetriebes soll zum Schutz der dort installierten Maschinen und Schaltschränke auf eine Raumlufffeuchte von max. 50 % r. F. bei einer Temperatur von 22 °C gehalten werden. Für den Frischwasserbedarf einiger Produktionsprozesse ist ein offenes Wasserbecken mit einer Oberfläche von 250 m^2 vorhanden. Die maximale Temperatur des Wassers beträgt 15 °C. Das Gesamt-Raumvolumen ist 28 000 m^3 . In der Anlage verrichten 35 Personen überwiegend mäßig schwere körperliche Tätigkeiten. Über eine Lüftungsanlage wird die Halle mit 90 000 m^3/h Zuluft, welche über die RLTA-Anlage auf 20 °C und 65 % r. F. vorkonditioniert wird, versorgt. Für den Außenluftzustand (Infiltration) im Sommerfall ist mit Extremwerten von 32 °C und 40 % r. F. auszuliegen. Ansonsten gibt es keine weiteren internen Feuchtelasten.

Benötigte Angaben zur Auslegung

- Dichte $\rho = 1,2 \text{ kg}/m^3$
- Raumvolumen $V = 28\,000 \text{ m}^3$

- Luftwechsel $n = 98\,000 \text{ m}^3/28\,000 \text{ m}^3 = 3,5$
- Absolute Feuchte der Außenluft bei 32 °C und 40 % r. F. nach DIN 4710 $X_{AUL} = 12,1 \text{ g}_{W/kgtr.Luft}$
- Absolute Feuchte der Zuluft bei ZUL-Zustand 20 °C und 65 % r. F. $x_{ZUL} = 9,6 \text{ g}_{W/kgtr.Luft}$
- Absolute Soll-Feuchte (bei 22 °C und 50 % r. F.) $x_{SOLL} = 8,3 \text{ g}_{W/kgtr.Luft}$

Berechnung der externen Feuchtelasten

$$m_{D\text{Lüftung}} = 1,2 \text{ kg}/m^3 \cdot 28\,000 \text{ m}^3 \cdot 3,5 \text{ 1/h} \cdot (9,6 - 8,3) \text{ g}_{W/kgtr.Luft} = 152\,880 \text{ g}_{W/h}$$

$$m_{D\text{Infiltration}} = 0,2 \cdot 28\,000 \text{ m}^3 \cdot (12,1 - 8,3) \text{ g}_{W/kgtr.Luft} = 21\,280 \text{ g}_{W/h}$$

Berechnung der internen Feuchtelasten

- Aus DIN 4710 $m_{D\text{Person}}$ bei Aktivitätsgrad III (mäßig schwer) bei 22 °C = 125 $g_{W/(h \cdot x \text{ Person})}$ x 35 Personen = 4375 $g_{W/h}$
- Wasseroberfläche $A_{\text{Becken}} = 250 \text{ m}^2$
- Sättigungsdampfdruck p_s bei Wassertemperatur 15 °C = 17,04 mbar
- Wasserdampfpartialdruck bei Raumtemperatur 22 °C und 50 % r. F. $p_D = 13,2 \text{ mbar}$
- $\varepsilon = 5$ (für unbewegte Wasseroberflächen)

$$m_{D\text{Becken}} = 5 \text{ g}/(h \cdot mbar \cdot m^2) \cdot 250 \text{ m}^2 \cdot (17,04 - 13,2) \text{ mbar} = 4800 \text{ g}_{W/h}$$

$$L_E = m_{D\text{Gesamt}} = (m_{D\text{Lüftung}} + m_{D\text{Infiltration}} + m_{D\text{Personen}} + m_{D\text{Becken}}) = (152\,880 + 21\,280 + 4375 + 4800) \text{ g}_{W/h} = 183\,335 \text{ g}_{W/h} = 183,3 \text{ kg}/h$$

Ergebnis

Das auszuwählende Luftentfeuchtungssystem muss eine Entfeuchtungsleistung von 183,3 kg/h bei 22 °C und 50 % r. F. aufweisen. Durch die Beispielrechnung wird auch deutlich, dass ein Großteil der Entfeuchtungsleistung zur Beseitigung der Außenluftfeuchte im Sommer benötigt wird. Wenn man weiß, welche Daten erforderlich sind und diese zur Verfügung hat, sind die Berechnungsgänge zur Größenbestimmung des Entfeuchtungssystems sicher nicht sehr kompliziert. Zur Auslegung eines ausreichend großen und dennoch möglichst energieeffizient arbeitenden Systems empfiehlt es sich jedoch, bereits in der Planungsphase einen Experten hinzuzuziehen.

Literatur:

- [1] Dipl.-Ing. Klaus Achenbach: Planungsleitfaden Luftentfeuchtung, Condair GmbH, Garching, Oktober 2016
- [2] DIN 4710 : Statistiken meteorologischer Daten zu Berechnung des Energiebedarfs von Heiz- und raumlufftechnischen Anlagen in Deutschland, Berlin, Beuth Verlag 2003
- [3] VDI 2078 Ausgabe Juli 1996 : Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen, VDI-Verlag, Düsseldorf 2015

Autor: Achim Ochs, Vertrieb Luftentfeuchtung, Condair GmbH

www.condair.de