



ENTFEUCHTUNG

Planungsleitfaden für
Fachplaner

Luftbefeuchtung
Luftentfeuchtung
Verdunstungskühlung

 **condair**

	Seite
Vorwort	3
1. Begriffe und Definitionen	4
1.1 Das Gasgemisch Luft	4
1.2 Luftfeuchte	4
1.3 Wasserdampf-Partialdruck	4
1.4 Relative Luftfeuchte	4
1.5 Absolute Feuchte	4
1.6 Taupunkttemperatur	4
1.7 Dichte	4
2. Das h,x-Diagramm nach Mollier	6
3. Methoden zur Luftentfeuchtung und Trocknung	9
4. Kondensations-Luftentfeuchter	11
4.1 Funktionsweise eines Kondensations-Luftentfeuchters	11
4.2 Dimensionierung	11
4.3 Hinweise zur Planung, der Auswahl und dem Betrieb eines Kondensations-Luftentfeuchters	12
5. Adsorptionstrockner	15
5.1 Funktionsweise eines Adsorptionstrockners	15
5.2 Regeneration	16
5.3 Schleppwärme	16
5.4 Dimensionierung	16
5.5 Hinweise zur Planung, der Auswahl und dem Betrieb eines Adsorptionstrockner	17
5.6 Zusammenfassung	18
6. Berechnungsgrundlagen	19
6.1 Benötigte Angaben zur Planung und Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen im gewerblich/industriellen Bereich	19
6.2 Benötigte Angaben zur Planung und Auslegung von Schwimmbad-Luftentfeuchter	20
6.3 Überschlägige Auslegung eines Luftentfeuchters	21
6.4 Grundlegende Methode zur Berechnung der Entfeuchter- / Trocknerleistung	22
6.5 Berechnung der Entfeuchter- / Trocknerleistung zur Vermeidung einer Taupunktunterschreitung	24
7. Regelung von Luftentfeuchtungssystemen	26
8. Konditionsempfehlungen nach Einsatzgebieten	28
9. Quellenverzeichnis	30



VERFASSTER:
Dipl. Ing Klaus Achenbach
Market Development Manager Central Europe

Planungsleitfaden für Luftentfeuchtungssysteme

VORWORT

Dieser Leitfaden soll Sie bei der Auswahl des geeigneten Luftentfeuchtungssystems für professionelle Anwendungen unterstützen. Die Grundprinzipien der beiden gängigsten Entfeuchtungstechnologien, Luftentfeuchtung durch Kondensation sowie Trocknung durch Sorption, werden erklärt. Mit Kenntnis der Funktionsweise und Einsatzgrenzen lässt sich bereits früh in der Planungsphase die optimale Technologie zur Lösung der jeweiligen Entfeuchtungsaufgabe bestimmen. Zudem werden Hinweise gegeben, welche Rahmenbedingungen

im Vorfeld bauseitig abzuklären und welche Angaben für eine ordnungsgemäße Auslegung erforderlich sind. Abschließend werden einige Berechnungsansätze beispielhaft dargestellt. Für anspruchsvolle Entfeuchtungsaufgaben sollte in jedem Falle ein Fachmann zu Rate gezogen werden, da die in der Praxis üblichen Anlagenkonzeptionen sehr vielfältig sind und gerade größere Luftentfeuchtungsaggregate durch richtige Konfiguration ein enormes Energieeinsparpotenzial bieten.

1. Begriffe und Definitionen

1.1 Das Gasgemisch Luft

Luft kommt in der Natur nur als feuchte Luft vor. Feuchte Luft setzt sich zusammen aus trockener Luft und Wasserdampf. Die trockene Luft ist hierbei ein Gasgemisch aus ca. 78 Vol.-% Stickstoff, 21 Vol.-% Sauerstoff und 1 Vol.-% Argon.

1.2 Luftfeuchte

Der Begriff der Luftfeuchte oder Luftfeuchtigkeit beschreibt den Anteil des Wasserdampfes im Gasgemisch Luft. Der Wert des Wasserdampfgehaltes kann auf verschiedene Arten angegeben werden, wobei im Folgenden nur die, zur Berechnung und Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen relevanten Größen dargestellt werden.

1.3 Wasserdampf-Partialdruck

Jedes der in der Luft enthaltenen Gase übt innerhalb des Gemischs einen gewissen Druck aus (Partialdruck). Der Teildruck des Wasserdampfes ist also der Wasserdampf-Partialdruck p_D .

Durch den Wasserdampfpartialdruck verteilt sich der Wasserdampf gleichmäßig in der Luft. Ein höherer Wasserdampfgehalt – bei gleicher Temperatur – bedeutet auch einen höheren Wasserdampfpartialdruck.

1.4 Relative Luftfeuchte

Die relative Feuchte φ bezeichnet das Verhältnis des Wasserdampfpartialdrucks p_D zum Sättigungsdruck p_s , bei gegebener Temperatur. Sie lässt unmittelbar erkennen, zu welchem Grade die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Die zur Sättigung benötigte Wasserdampfmenge ist temperaturabhängig. Eine Angabe des Feuchtegehalts als relative Feuchte ist daher nur bei gleichzeitiger Angabe der Temperatur aussagekräftig.

$$\varphi = \frac{p_D}{p_s} \text{ bzw. } \varphi = \frac{p_D}{p_s} \times 100 \%$$

$$\text{ebenso } \varphi = \frac{x_D}{x_s}$$

1.5 Absolute Feuchte

Die absolute Luftfeuchte x , auch als Feuchtegehalt bezeichnet, ist als Verhältnis der Feuchte m_w zu der Masse an trockener Luft m_L definiert.

$$x = \frac{m_D}{m_L} \text{ in } \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg tr. Luft}}$$

Da der Sättigungsdruck p_s temperaturabhängig ist, kann die absolute Feuchte x aus den messbaren Größen relative Feuch-

te φ , Temperatur t und Gesamtdruck p der Luft bestimmt werden:

$$x = 0,622 \times \frac{\varphi \times p_s}{p - \varphi \times p_s}$$

Die absolute Feuchte x ist abhängig von Druck und Temperatur und stellt ein direktes Maß für die in einem gegebenen Luftvolumen enthaltene Wasserdampfmenge dar.

1.6 Taupunkttemperatur

Die Taupunkttemperatur ist diejenige Temperatur, bei der aus einem Gasgemisch (=ungesättigte, feuchte Luft) bei isobarer Abkühlung das erste Kondensat ausfällt. Der Taupunkt liegt im h,x -Diagramm (siehe Seite 7) auf dem Schnittpunkt der Linie $x = \text{const.}$ mit der Sättigungslinie.

Wasserdampf kondensiert an Flächen und Körpern, deren Temperatur unterhalb der Taupunkttemperatur liegt.

Zur Entfeuchtung ungesättigter Luft muss die Temperatur der Kühloberfläche (=Verdampfer) eines Kondensations-Luftentfeuchters stets unterhalb der Taupunkttemperatur liegen.

1.7 Dichte

Die Dichte ρ gibt an, welche Masse m eines Stoffes in einem bestimmten Volumen enthalten ist. Die Dichte feuchter Luft lässt sich bestimmen nach:

$$\rho = \frac{p_L}{R_L \times T} + \frac{p_D}{R_D \times T} = \frac{p \times \varphi \times p_s}{R_L \times T} + \frac{\varphi \times p_s}{R_D \times T}$$

Für Anwendungen auf Meereshöhe und in einem Temperaturbereich von 0 – 35°C kann jedoch hinreichend genau mit einem Wert von 1,2 kg/m³ gerechnet werden.

2. Das h,x-Diagramm nach Mollier

Mit Hilfe des Mollier h,x-Diagramms können sämtliche Größen, welche zur Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen benötigt werden, bestimmt werden. Dies sind:

A) Dichte ρ in kg/m^3

Ganz links außen ist die für den jeweils gültigen Gesamtdruck des Diagramms zugehörige Dichte der feuchten Luft in kg/m^3 angegeben.

B) Lufttemperatur t

Die Lufttemperatur in $^{\circ}\text{C}$ ist auf der senkrecht verlaufenden Grundachse aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird hier meist nur ein begrenzter Bereich, in der Regel von ca. -20 bis $+60$ $^{\circ}\text{C}$, dargestellt.

Ausgehend von dem auf der Grundachse aufgetragenen Temperaturwert, verlaufen von links nach rechts die Hilfslinien mit $t = \text{konstant}$.

C) Absolute Feuchte (Feuchtegehalt) x

Die absolute Feuchte in $\text{g/kg}_{\text{tr. Luft}}$ wird auf der oberen horizontalen Achse abgelesen. Von dort verlaufen senkrecht nach unten die Linien mit $x = \text{konstant}$.

D) Relative Feuchte

Die aus dem Verhältnis von absolutem Wasserdampfgehalt zu der temperaturab-

hängigen Sättigungs-Wasserdampfmenge konstruierten von links unten nach rechts oben verlaufenden Kurven beschreiben die Linien konstanter relativer Luftfeuchte. Die Linie $\phi = 100\%$ wird als Sättigungslinie bezeichnet.

E) Wasserdampfpartialdruck p_D in mbar

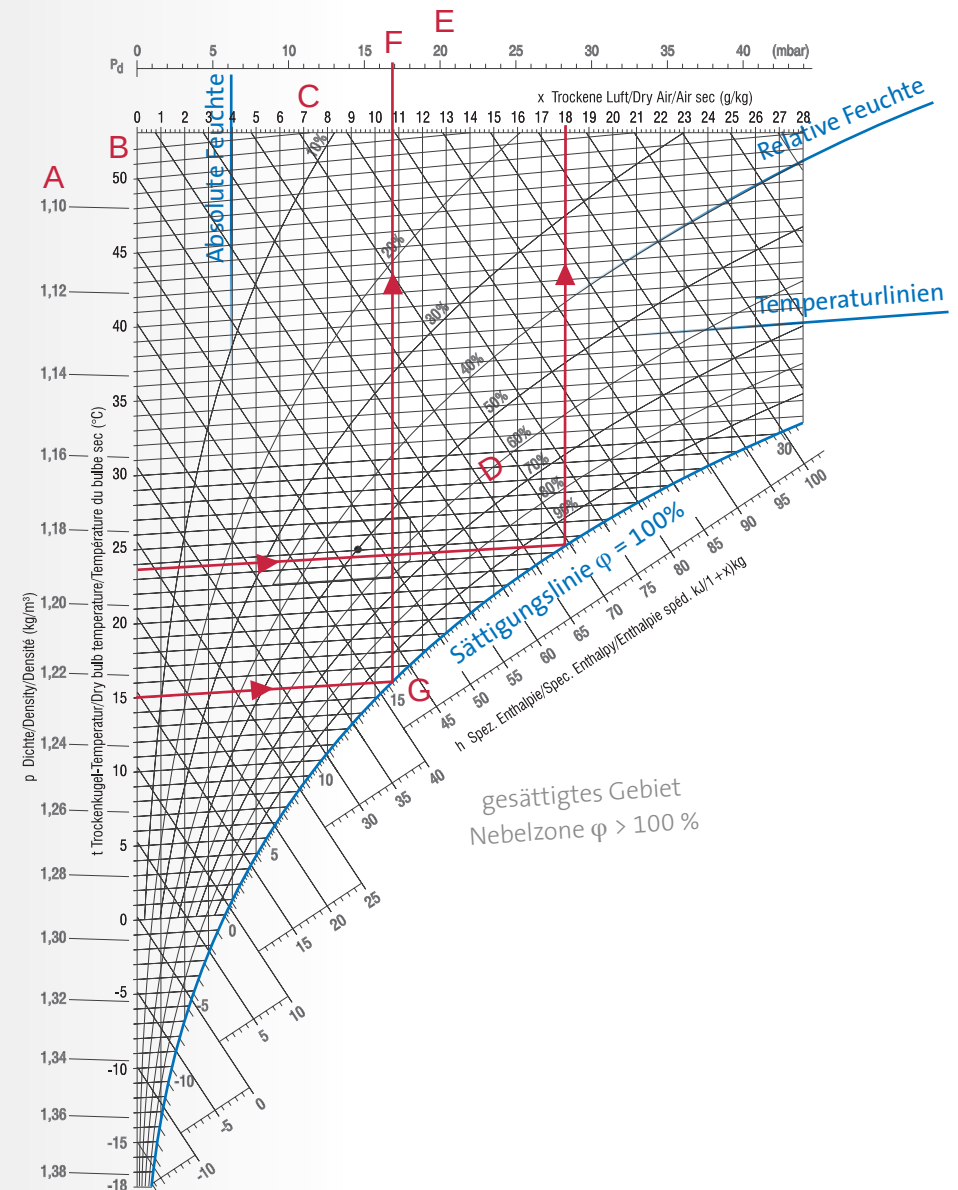
Der Wasserdampfpartialdruck p_D in mbar kann auf der horizontalen Parallelen zur absoluten Feuchte x bestimmt werden.

F) Sättigungsdruck p_s in mbar

Der Sättigungsdruck p_s in mbar ergibt sich aus einer horizontalen Hilfslinie vom Schnittpunkt Temperatur = 100% (Sättigungslinie)

G) Taupunkttemperatur (Sättigungstemperatur)

Der Schnittpunkt einer Linie $x = \text{konstant}$ mit der Sättigungslinie wird als Taupunkt bezeichnet. Die zugehörige, auf der horizontalen Grundachse abzulesende Temperatur ist die Taupunkttemperatur, bei deren Unterschreitung Kondensat anfällt.



3. Methoden zur Luftentfeuchtung und Trocknung

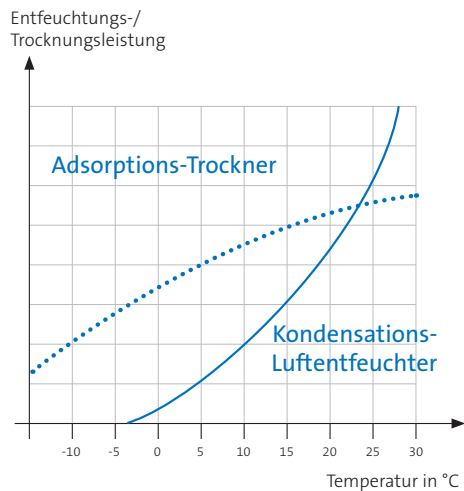
Zur Luftentfeuchtung werden im Wesentlichen zwei Verfahren angewandt:

Trocknung durch Sorption:

Adsorption des in der feuchten Luft enthaltenen Wasserdampfes an hygroskopischen Oberflächen (Silikagel-Rotor). Die vorliegende Broschüre behandelt ausschließlich Entfeuchtungs- und Trocknungslösungen von Stand-Alone-Geräten, daher findet die Entfeuchtung über kaltwassergespeiste Oberflächenkühler, wie sie in RLT-Anlagen zum Einsatz kommen, keine weitere Erwähnung.

Luftentfeuchtung durch Kondensation:

Hierbei erfolgt eine Abkühlung der feuchten Luft unter den Taupunkt indem der Luftstrom über die kalte Oberfläche eines Wärmetauschers geführt wird (Verdampfer eines Kältekreises).



Die nebenstehende Grafik veranschaulicht die Betriebscharakteristika beider Systeme:

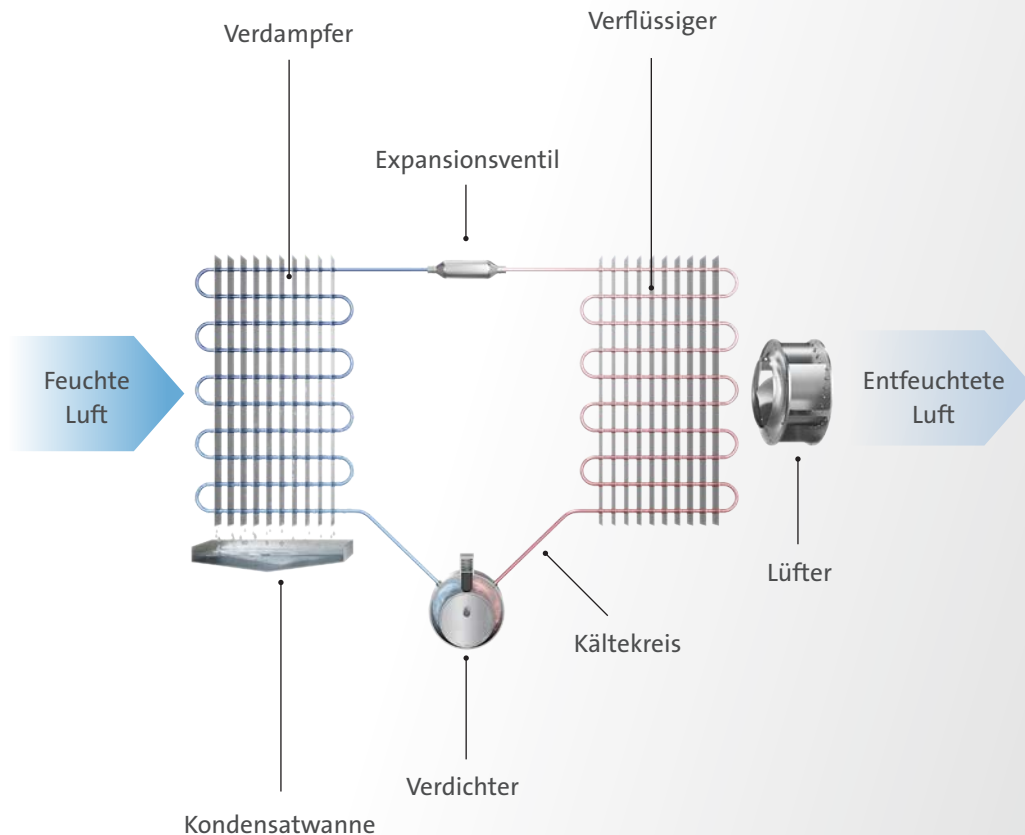


Schwimmbad,
Typischer Einsatzbereich für
Kondensations-Luftentfeuchter



Pharmazeutische Industrie,
Typischer Einsatzbereich für Adsorptions-Trockner

Funktionsbeschreibung eines Kondensationsentfeuchters



4. Kondensations-Luftentfeuchter

Kondensations-Luftentfeuchter als betriebsfertige Aggregate kommen häufig in industriellen und gewerblichen Anwendungen zum Einsatz, ebenso zur Entfeuchtung von Schwimmhallen. Überall dort, wo es um die Einhaltung von Luftfeuchten zwischen 45 und 60 % r.F. geht, stellen Kondensationsentfeuchter eine energieeffiziente und wirtschaftliche Lösung dar. Schwimmbad-Luftentfeuchter sind spezielle Varianten der Kondensations-Luftentfeuchter. Sie sind durch spezielle Maßnahmen (z.B. Beschichtung der Wärmetauscher) gegen chlorhaltige Luft geschützt und können mit zusätzlichen Wärmetauschern für die Raumheizung, Beckenwasserkondensatoren usw. ausgestattet werden. Limitierende Faktoren hinsichtlich des erreichbaren Endfeuchtegehalts sind in erster Linie die Eigenschaften des eingesetzten Kältemittels (Druck, Temperatur) sowie der konstruktive Aufbau des Verdampfer-Wärmetauschers (Bypass-Faktor). Allgemein gilt, dass Kondensationsentfeuchter in Temperaturbereichen zwischen ca. +5 und +36 °C sinnvoll eingesetzt werden können, bei einer erreichbaren relativen Feuchte von ca. 45 % r.F.

4.1 Funktionsweise eines

Kondensations-Luftentfeuchters

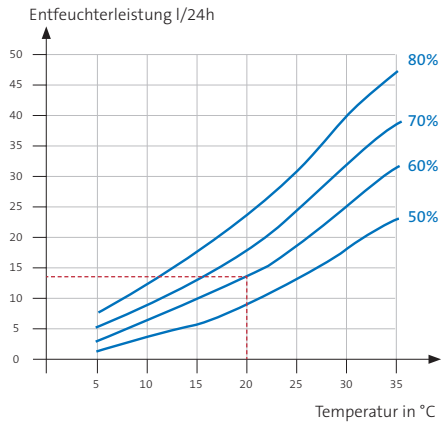
Basis eines jeden Kondensations-Luftentfeuchters ist ein geschlossener Kältekreis, welcher nach dem Wärmepumpenprinzip

arbeitet. Ein Lüfter saugt die feuchte Umgebungsluft an. Diese passiert zunächst einen, zum Schutz der Wärmetauscher installierten, Filter bevor sie über den Verdampfer geführt wird. An dessen kalter Oberfläche wird sie unter ihren Taupunkt abgekühlt, wobei ein Großteil des in ihr enthaltenen Wasserdampfes auskondensiert. Das auskondensierte Wasser wird in einer unter dem Verdampfer installierten Kondensatwanne aufgefangen und dann direkt in den Abfluss geleitet oder in einem entsprechenden Behälter aufgefangen. Anschließend passiert der nun entfeuchtete Luftstrom den Verflüssiger, wo er durch die Kondensationswärme des Kältekreises erwärmt wird. Auch die Abwärme des Lüfters und des Verdichters werden teilweise von dem über den Entfeuchter geführten Luftstrom aufgenommen. Dadurch bedingt ist die entfeuchtete, dem Raum zugeführte, Luft stets wärmer als beim Eintritt in den Entfeuchter.

4.2 Dimensionierung

Nachdem die erforderliche Entfeuchtungsleistung für den konkreten Anwendungsfall rechnerisch bestimmt wurde (siehe Kapitel 6), kann der entsprechende Entfeuchter über sein entsprechendes Leistungsdiagramm ausgewählt werden. Leistung und Wirkungsgrad von Kondensations-Luftentfeuchtern steigen mit zunehmender Temperatur an bzw. nehmen

mit abnehmender Temperatur stark ab. In den technischen Unterlagen sind hinsichtlich der Leistung meist nur Standardwerte bei 30 °C und 80 % r.F., gelegentlich auch bei 27 °C und 60 % r.F. angegeben.



Oft erfolgt sogar nur die Angabe der maximal möglichen Entfeuchterleistung bei 35 °C und 80 % r.F. Diese Angaben sind in Bezug auf die konkret vorhandene Anwendung oft nicht aussagekräftig genug um abschätzen zu können, ob das ausgewählte Gerät unter Auslegungsbedingungen tatsächlich die erforderliche Entfeuchterleistung erbringen kann. Die meisten Hersteller liefern dazu Leistungsdiagramme, mit deren Hilfe die tatsächliche Entfeuchterkapazität unter Auslegungsbedingungen hinreichend genau bestimmt werden kann. Beispiel: ein Kondensationsentfeuchter wird in den Unterlagen mit einer Entfeuchterleistung von 40 l/24h bei 30 °C und 80 % r.F. angegeben. Gemäß Berechnung sollen bei 20 °C und 60 % r.F. 20 l/24h entfeuchtet werden. Die tatsäch-

liche Entfeuchterkapazität bei den gewünschten Konditionen kann im nebstehenden Leistungsdiagramm des Herstellers wie folgt abgelesen werden:

Ergebnis: Statt der gewünschten Entfeuchterleistung von 20 l/24h hat das Gerät bei Auslegungsbedingungen nur eine Kapazität von 13 l/24h. Es wäre also erheblich unterdimensioniert. Das vorgenannte Beispiel verdeutlicht wie wichtig es ist die erforderliche Leistung stets bezogen auf die gewünschten Auslegungsbedingungen zu ermitteln. Einige Hersteller verzichten heutzutage auf die Veröffentlichung von Leistungsdiagrammen und liefern stattdessen auf Anfrage EDV-generierte Datenblätter, welche alle relevanten Leistungsdaten projektspezifisch darstellen.

4.3 Hinweise zur Planung, der Auswahl und dem Betrieb von Kondensations-Luftentfeuchtern

Einsatzgrenzen prüfen: Kondensations-Luftentfeuchter eignen sich in der Regel für einen Betrieb bis ca. 45 % r.F. und einer Temperatur von ca. 5 – 36 °C. Bei abweichenden Konditionen Hersteller kontaktieren oder Adsorptionstrockner einsetzen.

Auslegung: Zur Auslegung immer die gewünschten Raumkonditionen in °C und % r.F. mit angeben.

Leistungsangaben: Leistungsangaben sind nur dann aussagekräftig, wenn sie konkret auf die gewünschten Auslegungsbedingungen bezogen sind. Hierzu vom Hersteller Leistungsdiagramme oder EDV-gestützte Auslegung anfordern.

Elektrische Leistungsaufnahme: Auch ein Vergleich der elektrischen Leistungsaufnahme, welche sich bei Kondensationsentfeuchtern in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte stark ändert, ist nur in Bezug auf den jeweiligen Auslegungszustand hin sinnvoll und aussagekräftig.

Temperaturerhöhung: Alle Kondensations-Luftentfeuchter geben die Abwärme des Kältekreis, der Lüftermotoren sowie der internen Elektrik an die Raumluft wieder ab, was je nach Größe des Gerätes zu einer minimalen Erhöhung der Raumtemperatur bis hin zu einer enormen zusätzlichen Wärmelast führen kann.

Dieser Effekt ist in vielen Anwendungen vollkommen vernachlässigbar oder sogar gewünscht (z.B. im Schwimmbadbereich), kann jedoch bei bestimmten Anwendungen zu Problemen führen. Insbesondere bei großen Anlagen und temperatursensiblen Anwendungen ist der Temperaturaspekt also mit einzuplanen.

Raumluftqualität: Kondensations-Luftentfeuchter sind in der Regel für den Betrieb unter üblichen Raumluftbedingungen, d.h. nicht für aggressive und schadstoffbelastete Luft, geeignet. Stoffe wie Chlor und Ozon können Bauteile angreifen und die Geräte in kurzer Zeit zerstören. Schwimmbad-Luftentfeuchter sind daher

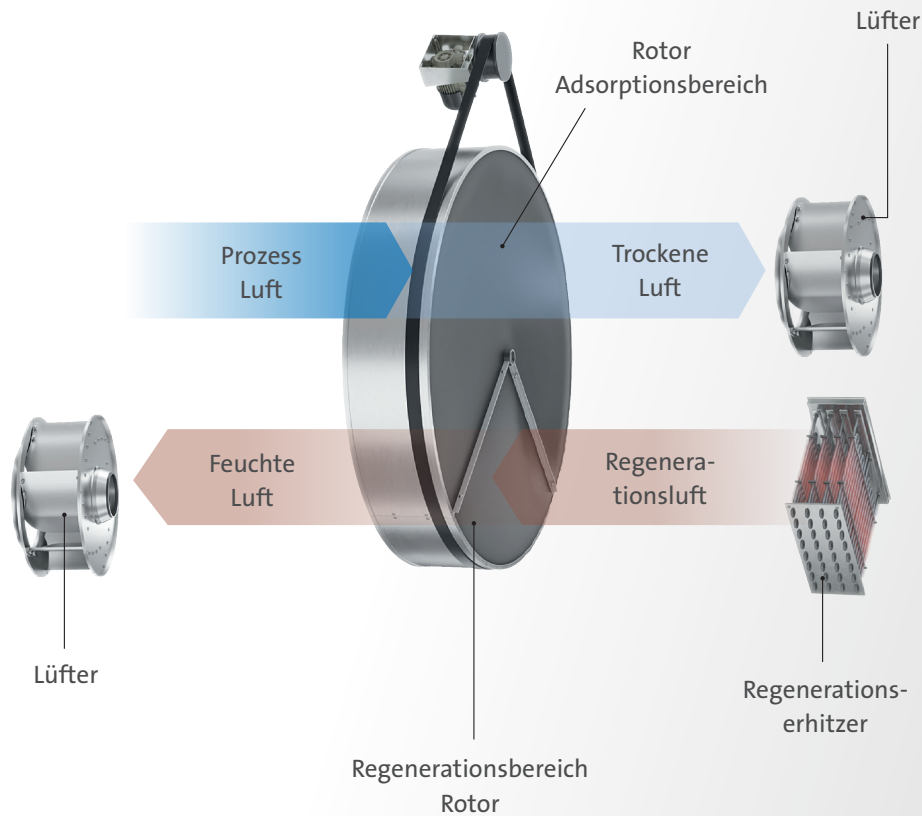
bereits standardmäßig gegen Chlor durch besondere Maßnahmen geschützt. Einige Hersteller sind in der Lage auch für den gewerblichen Bereich Sondergeräte mit speziellen Schutzbeschichtungen gegen z.B. Säure oder salzhaltige Luft zu liefern.

Installation: Kondensations-Luftentfeuchter sind in mobiler oder stationärer Ausführung erhältlich. Mobile Geräte werden fast ausschließlich frei ausblasend betrieben, während große Industrie-Luftentfeuchter zusätzlich auch an ein Lüftungskanalnetz angeschlossen werden können. Hier ist auf ausreichend verfügbare Pressung zu achten.

Kondensat: In den meisten Fällen wird das anfallende Kondensat über den Abfluss abgeführt. Gerade bei leistungsstarken Geräten ist zwingend darauf zu achten, den Anschluss an das Abwassernetz über einen Siphon auszuführen.

Sonderausführungen: Spezialisierte Hersteller liefern Sonderausführungen wie temperaturneutrale Versionen, Sonderbeschichtungen für den Betrieb unter aggressiven Umgebungsbedingungen, spezielle IP-Schutzarten, Heizregister, Hoch- und Niedertemperaturausführungen.

Funktionsbeschreibung eines Adsorptionstrockners



5. Adsorptionstrockner

Adsorptionstrockner kommen dort zum Einsatz wo die Kondensations-Luftentfeuchter physikalisch an ihre Grenzen stoßen und die Einhaltung minimaler absoluter Feuchten bzw. Wasserdampfgehalte gefordert ist. Die Angabe des Wasserdampfgehaltes erfolgt bei dieser Technologie nicht mehr in % r.F., sondern stets in der absoluten Feuchte x in g/kgtr. Luft oder in der zugehörigen Taupunkttemperatur in °C.

Das Prinzip der Sorption beruht auf der Eigenschaft einiger Stoffe, Wasserdampf an ihrer Oberfläche zu binden. Die innere Oberfläche dieser Stoffe liegt in Größenordnungen zwischen 600 und 1000 g/m². In der direkten Umgebung dieser chemischen Stoffe herrscht ein enorm niedriger Wasserdampfpartialdruck. Aufgrund der thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten diffundiert Wasserdampf aus Umgebungen höheren Partialdrucks (in diesem Falle aus der Umgebungsluft) in Gebiete niedrigeren Partialdrucks (Sorptionmittel). Als Sorptionsmittel werden Silicagel, Aluminiumoxide oder auch Molekularsiebe eingesetzt. Die weitere Betrachtung beschränkt sich ausschließlich auf Adsorption mittels Silicagel, da dies im HLK-Bereich das mit Abstand am meisten verbreitete Sorptionsmittel ist.

5.1 Funktionsweise eines Adsorptionstrockners

Feuchte Umgebungsluft (Prozessluft) wird über einen Lüfter angesaugt und

durch einen Adsorptionsrotor geleitet. Der Adsorptionsrotor besteht aus einer gewellten und fein lamellierten Speichermasse mit einer enormen inneren Oberfläche, welche mit dem stark hygroskopischen Silicagel beschichtet ist. Der Gesamtquerschnitt des Rotors ist in einen Trocknungssektor von 270° und einen Regenerationssektor 90° aufgeteilt. Die Sektoren sind gegeneinander abgedichtet. Über einen Motor erfolgt eine kontinuierliche, langsame Drehung des Adsorptionsrotors, die Drehfrequenz liegt in einem Bereich von etwa 5 – 30 Umdrehungen / Stunde. Der Trocknungssektor des Rotors wird kontinuierlich von dem zu trocknenden Luftstrom durchströmt. Hierbei wird der darin enthaltene Wasserdampf fast vollständig adsorbiert. Der 90° Regenerationssektor des Rotors wird im Gegenstrom von Regenerationsluft, welche zuvor über ein Regenerationsregister auf etwa 120 °C erhitzt wurde, durchströmt. Hierdurch wird adsorptiv im Rotor gebundener Wasserdampf wieder ausgetrieben und mit dem Feuchtluftstrom nach außen abgeführt. Der Regenerationsluftstrom beträgt etwa 1/3 des Prozessluftstroms. Dieser Prozess der Adsorption / Desorption kann beliebig oft wiederholt werden, ohne dass der Wirkungsgrad des Sorptionsmittels wesentlich beeinflusst wird. Die Adsorptionskapazität von Silicagel ist so hoch, dass ohne Weiteres Taupunkte von – 70 °C erreicht werden können.

5.2 Regeneration

Um den adsorptiv im Rotor gebundenen Wasserdampf auszutreiben und abzuführen, müssen die auf der Oberfläche des Sorptionsmittels wirkenden Adhäsionskräfte aufgehoben werden. Hierzu muss der Regenerationsluftstrom entsprechend erwärmt werden. Dies geschieht über einen vorgeschalteten Regenerationserhitzer. Bei kleinen Adsorptionstrocknern erfolgt die Regenerationserhitzung stets elektrisch. Bei größeren Aggregaten kann der Regenerationserhitzer wie folgt ausgeführt werden:

- Elektrisch (Standard)
- Mit Dampf
- Mit Heißwasser
- Kombination aus Elektro- und PWW-Heizregister
- Kombination aus Elektro- mit Dampf- oder Heißwasser-Heizregister.

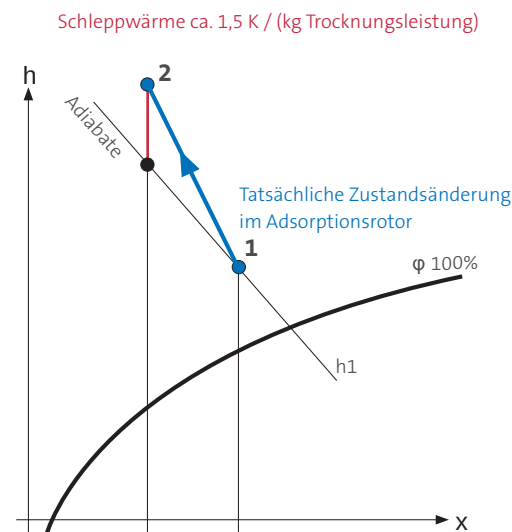
5.3 Schleppwärme

Durch die Beaufschlagung des Rotors mit hohen Temperaturen um 120 °C zur Austreibung des adsorptiv gebundenen Wasserdampfes wird das Speichermaterial des Rotors aufgeheizt. Die Zustandsänderung im Trocknungssektor erfolgt daher nicht ideal adiabat bei konstanter Enthalpie. Die im Rotor verbleibende Wärme wird als Schleppwärme bezeichnet und führt zu einer Überhitzung des Trockenluftstroms um etwa 1,5 K je g/kg Trocknungsleistung. Bei einer angegebenen Schleppwärme von 1,3 K/g/kg beträgt diese Überhitzung z.B. bei einem Trocknungsprozess von 12 auf 4,5 g/kg tr. Luft:

$$1,3 \text{ K/g/kg} \times (12 - 4,5) \text{ g/kg} = 9,75 \text{ K.}$$

Die Kenntnis dieser Tatsache ist wichtig für die Beurteilung der Einbindung eines Adsorptionstrockners in das Gesamt-Klimatisierungskonzept des zu trocknenden Raumes. In den technischen Berechnungen der Hersteller ist die Schleppwärme bereits mit berücksichtigt, und es wird die tatsächliche Temperatur des Trockenluftstroms angegeben.

Die Zustandsänderung bei Trocknung durch Adsorption ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

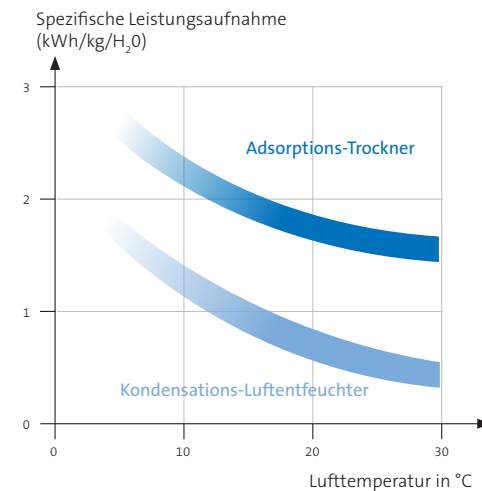


5.4. Dimensionierung

Adsorptionstrockner werden meist in erheblich sensibleren Bereichen eingesetzt als Kondensations-Luftentfeuchter. Aus diesem Grund und hinsichtlich der hohen Wärmeabgabe sowie systembedingten höheren spezifischen Leistungsaufnahmen sollten diese daher stets EDV-gestützt berechnet werden.

5.5 Hinweise zur Planung, der Auswahl und dem Betrieb von Adsorptionstrocknern

Einsatzgebiete: Anders als Kondensations-Luftentfeuchter, deren Einsatzbereich durch die Systemgrenzen des jeweils eingesetzten Kältekreis limitiert sind, unterliegen Adsorptionstrockner keinen Beschränkungen hinsichtlich Temperatur und Feuchte. Allerdings ist deren spezifische Leistungsaufnahme systembedingt stets höher als jene von Kondensations-Luftentfeuchtern. Sie sollten daher dort eingesetzt werden wo besonders niedrige Zuluftfeuchten (< 6 g/kg) oder niedrige Umgebungstemperaturen einen erhöhten Energieaufwand rechtfertigen oder Kondensations-Luftentfeuchter die geforderte Entfeuchtungsaufgabe nicht mehr lösen können. Im nachfolgenden Diagramm von Thiekötter ist ein grober Vergleich hinsichtlich der spezifischen Leistungsaufnahme von kältemittelbetriebenen Kondensationsentfeuchtern gegenüber Adsorptionstrocknern mit rein elektrisch betriebener Regeneration dargestellt.



Anschluss: Die verschiedenen Luftströme der Adsorptionstrockner müssen über Lüftungskanäle geführt werden. Dies geschieht in der Regel über Wickelfalzrohre. Der nach außen führende Feuchtluftkanal sollte isoliert werden. Falls Außenluft als Prozessluft genutzt wird, ist darauf zu achten, dass der Feuchtluftausgang weit genug von der Außenluftansaugung entfernt ist. Die Feuchtluft muss stets nach außen geführt werden.

Regeneration: Größere Adsorptionstrockner verfügen über die Möglichkeit zur Nutzung verschiedener Medien zur Regeneration des Rotors. Falls möglich sollten im Sinne einer maximalen Energieeffizienz bauseitig vorhandene Medien wie Dampf, Heißwasser oder PWW-Warmwasser zur Regeneration oder zu deren Unterstützung genutzt werden.

Temperaturkontrolle: Zum Erreichen besonders niedriger Zuluftfeuchten müssen ggf. Oberflächenkühler vorgeschaltet werden. In temperatursensiblen Bereichen sollte die Temperatur der Zuluft über einen Nachkühler, ggf. in Kombination mit einem Nachheizregister, direkt über den Trockner reguliert werden. Idealerweise liefert der Hersteller des Adsorptionstrockners die benötigten Module anschlussfertig eingebaut ins Trocknergehäuse. Bei der Trocknung unbehandelter Außenluft sollte ein Vorerhitzer zum Frostschutz vorgesehen werden.

Wärmerückgewinnung: Beim Einsatz größerer Adsorptionstrockner wird, im Hinblick auf die systembedingt hohe

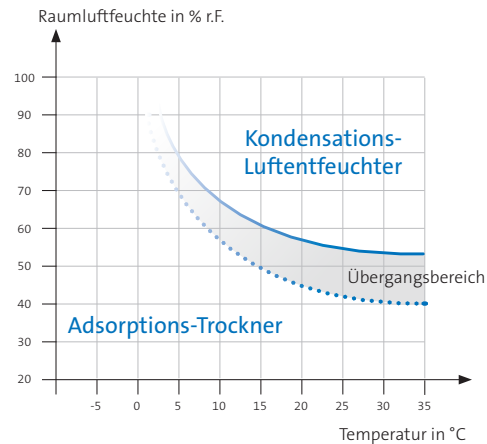
Energieaufnahme der Regenerationserhitzer, der werkseitige Einbau einer Wärmerückgewinnungseinheit empfohlen. Hierbei wird die erwärmte Feuchtluft vor der Abführung nach außen über einen Kreuzstrom-Wärmetauscher geführt, wo sie einen Großteil der in ihr enthaltenen Wärmeenergie an den, zur Regeneration benötigten, Luftstrom abgibt. Dadurch kann die Energieaufnahme des Regenerationserhitzers erheblich reduziert werden.

Luftgekühlte Kondensatoren: Bei entsprechenden Umgebungsbedingungen kann auf der Feuchtluftseite ein luftgekühlter Kondensator eingesetzt werden. Dadurch kann die Feuchtluftabführung über Lüftungsleitungen nach außen entfallen. Wirksam bei niedrigen bis mittleren Umgebungstemperaturen.

5.4. Zusammenfassung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die, den beiden gängigsten Entfeuchtungstechnologien zugrundeliegenden, physikalischen Grundlagen erklärt und Hinweise zu Planung und Anwendung gegeben.

Grundsätzlich muss im Einzelfall abgewogen werden welches der beiden Systeme für die konkrete Anwendung am geeignetsten ist.



Das obenstehende Diagramm gibt einen groben Überblick darüber in welchen Bereichen der Einsatz von Adsorptionstrocknern sinnvoll ist. Insbesondere bei Entfeuchtungsaufgaben, welche sich hinsichtlich der Parameter Temperatur und Endfeuchte im Grenzbereich befinden, sollte stets ein Fachmann zur weiteren Beurteilung und Auswahl des geeigneten Systems hinzugezogen werden.

6. Berechnungsgrundlagen

Ziel eines jeden Einsatzes von Luftentfeuchtern ist stets, den Feuchtegehalt der Luft zu kontrollieren. Zur Berechnung genügen wenige Formeln und Berechnungsmethoden. Welcher Berechnungsansatz gewählt werden muss, hängt nicht zuletzt von der geplanten Anwendung des Luftentfeuchtungssystems ab. Mögliche Anwendungen können u.a. sein:

- Einfache Kontrolle / Reduzierung der Raumluftfeuchte, z.B. in der Lagerhaltung, zum Schutz vor Korrosion, in Archiven etc.
- Schutz vor Kondensatbildung auf kalten Oberflächen, z.B. Rohrleitungen und Installationen im Wasserversorgungsbereich, Lebensmittelindustrie etc.
- Produkttrocknung
- Sicherstellung optimaler Bedingungen in Produktionsprozessen.
- Trocknung von Außenluft inklusive Kontrolle der Temperatur direkt über den Trockner.
- Einsatz im Niedertemperaturbereich, z.B. in Eissporthallen und Kühlräumen

Abführung durch Verdunstung bedingter Wasserdampfmengen, z.B. in Schwimmbädern, aber auch in der Wasserversorgung.

Abgesehen von sehr einfachen und unkritischen Anwendungen, z.B. der Feuchtigkeitskontrolle in weitgehend geschlossenen Räumen ohne interne Feuchtequellen und besondere Anforderungen, bei denen man durchaus mittels einer überschlä-

gigen Berechnung ein entsprechendes Gerät bestimmen kann, sollten Luftentfeuchtungssysteme im professionellen Anwendungsbereich stets sorgfältig berechnet und ausgelegt werden. Bevor die verschiedenen Berechnungsarten dargestellt werden, soll das folgende Kapitel zunächst einen Überblick über die zur Berechnung und Auslegung benötigten Daten geben.

6.1 Benötigte Angaben zur Planung und Auslegung von Luftentfeuchtungssystemen im gewerblich / industriellen Bereich

Anwendung / Beschreibung der Entfeuchtungsaufgabe:

Bei einer genauen Angabe zur geplanten Anwendung kann oft bereits im ersten Schritt die passende Entfeuchtungstechnologie bestimmt werden.

Raumvolumen in m³

Gewünschte Konditionen nach Entfeuchtung in °C und % r.F. / benötigte absolute Endfeuchte in g/kg_{tr.Luft}

Ungünstigste Temperatur- und Feuchtwerte in °C und % r.F. vor Entfeuchtung / Startfeuchte in g/kg_{tr.Luft}

Mechanische Lüftung / RLT: Falls vorhanden, Angaben zu Volumenstrom und Zuluft-Konditionen (Sommer).

Außenluftkonditionen im Sommerfall:

Wird zur Berechnung der durch die Außenluft zugeführten Feuchtelast benötigt, sei es durch mechanische AUL-Zuführung oder Infiltration.

Standort der Anlage: Wird vom Hersteller zur Bestimmung der Extremwerte der Außenluftkonditionen benötigt, falls diese Werte nicht vom Kunden vorgegeben sind.

Höhe über Meeresspiegel: Die thermodynamischen Rahmenbedingungen ändern sich mit zunehmender geodätischer Höhe, d.h. mit abnehmendem Luftdruck. Relevant vor allem für sehr sensible Anwendungen und bei sehr hoch gelegenen Installationsorten.

Angabe zu internen Feuchtelasten: Feuchteabgabe von Produkten, durch Produktion, durch Reinigungsarbeiten etc.? Anzahl der Personen im Raum?

Offene Wasserflächen: Falls vorhanden, Angabe der Wassertemperatur und Wasseroberfläche zur Berechnung der Verdunstung.

Klimatisierung: Ist bauseits eine Temperaturkontrolle vorhanden? Wie temperatursensitiv ist die Anwendung? Wird ggf. eine Nachkühlung benötigt?

Trocknung von Außenluft: Falls ganzjährig Außenluft getrocknet werden soll, sind neben den Extremwerten für den Sommer auch die Konditionen für den Winterfall anzugeben, da eventuell ein Vorerhitzer zum Frostschutz installiert werden muss.

6.2 Benötigte Angaben zur Planung und Auslegung von Schwimmbad-Luftentfeuchtern

Beckenoberfläche in m²

Raumvolumen in m³

Beckenwassertemperatur in °C

Raumtemperatur in °C: Die Raumtemperatur sollte stets min. 2 K über der Wassertemperatur liegen!

Nutzungsart:

z.B. Privatbad, Therapiebad, Whirlpool etc. Die Nutzungsart hat erheblichen Einfluss auf die Bewegung der Wasseroberfläche und somit auf die Verdunstung. In der Berechnung wird sie über einen entsprechenden Aktivitätsindex berücksichtigt.

Nutzungsdauer in h/Tag

Angaben zur eingesetzten

Desinfektionsmethode:

Neben Chlor werden zunehmend auch andere Chemikalien, wie z.B. Ozon, zur Desinfektion eingesetzt. Diese sind teilweise sehr aggressiv gegenüber den bei Luftentfeuchtern eingesetzten Bauteilen, so dass es besonderer Beschichtungen bedarf.

Rechenbeispiel

6.3 Überschlägige Auslegung eines Luftentfeuchters

Bestimmung der Entfeuchterleistung nach Raumvolumen

L_E [l/h] = Entfeuchterleistung
 V_R [m³] = Raumvolumen
 f = Als überschlägiger Faktor ist 2 bis 3 einzusetzen

$$L_E = \frac{V_R \times f}{1000}$$

Bei einfachen Anwendungen ohne besondere Anforderungen oder zu einer ersten groben Abschätzung der Gerätegröße ist es oft nicht erforderlich detaillierte Berechnungen anzustellen. Hier kann eine einfache, überschlägige Berechnung anhand von Erfahrungswerten erfolgen. Die Formel kann für Feuchtebereiche bis 50% r.F. genutzt werden.

Benötigte Angaben:

Raumvolumen V in m³

Gewünschte Raumkonditionen in °C und % r.F.

Faktoren auf Erfahrungsbasis:

$f = 1,5$ bei einem angenommenen Luftwechsel von ca. $0,3 \frac{1}{h}$, z.B. für Lagerräume, Keller

$f = 2,0$ bei einem angenommenen Luftwechsel von $0,5 \frac{1}{h}$, z.B. zur Regulierung des Raumklimas

$f = 4,0$ falls große Feuchtemengen abzuführen sind z.B. nach Wasserschaden

Berechnung:

Raumvolumen $V_R = 1200 \text{ m}^3$

Lager, geringer Luftwechsel, daher kann für $f = 1,5 \frac{1}{h}$ angesetzt werden

Raumkonditionen ca. 20 °C und 55 % r.F.

$$L_E = \frac{1200 \text{ m}^3 \times 1,5}{1000} = 1,8 \text{ l/h}$$

Es wird ein Luftentfeuchter benötigt, welcher eine Leistung von min. 1,8 l/h bei 20 °C und 55 % r.F. hat.

Diese Methode sollte nur zur überschlägigen Abschätzung genutzt werden. Für komplexe Entfeuchtungsaufgaben ist in jedem Falle eine detailliertere Berechnung unter Berücksichtigung sämtlicher inneren und äußeren Lasten durchzuführen. Die Berechnungsfaktoren sind Erfahrungswerte und können je nach Hersteller abweichend angegeben sein.

Rechenbeispiel

6.4 Grundlegende Methode zur Berechnung der Entfeuchter- / Trocknerleistung

Um die Raumluftfeuchte kontrollieren zu können, müssen sämtliche inneren und äußeren Feuchtelasten bekannt sein bzw. berechnet werden. Die benötigte Leistung des auszuliegenden Kondensations-Luftentfeuchters bzw. Adsorptionstrockners ergibt sich dann aus der Summe sämtlicher inneren und äußeren Lasten:

Entfeuchterleistung

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

Wasserdampfeintrag durch Lüftung

$$\dot{m}_{D \text{ Lüftung}} = p \times V \times n \times (X_{AUL} - X_{SOLL})$$

$\dot{m}_{D \text{ Lüftung}} [\text{g}_w/\text{h}]$ = Wasserdampfeintrag durch Lüftung

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

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

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

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

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

Externe Feuchtelasten sind z.B.: Mechanische Lüftung mit Außenluftanteil, Infiltration von Außenluft durch Gebäudeöffnungen, Wasserdampfdiffusion durch Mauerwerk etc. Interne Feuchtelasten sind demnach: Feuchteabgabe durch Personen, offene Wasserflächen, Materialfeuchte, Produktions- und Reinigungsprozesse etc.

Der Feuchteeintrag durch Personen richtet sich nach deren Aktivitätsgrad und der Raumtemperatur. Angaben hierzu findet man in der VDI 2078, Tabelle A1. Beispielhaft seien hierfür eine Raumtemperatur von 20 °C folgende Werte angegeben:

$\dot{m}_{D \text{ Person}}$ bei Aktivitätsgrad I bis II (leicht, sitzend oder stehend): 35 g_w/h

$\dot{m}_{D \text{ Person}}$ bei Aktivitätsgrad III (mäßig schwer): 110 g_w/h

$\dot{m}_{D \text{ Person}}$ 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 $\dot{m}_{D \text{ Becken}} = \epsilon \times A \times (p_s - p_D)$.

ϵ = empirisch ermittelter Verdunstungsbeiwert für Ruheverdunstung bei offener, nicht bewegter Wasserfläche in $\text{g}/(\text{h} \times \text{mbar} \times \text{m}^2)$

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 Kunden zu erfragen.

Beispiel:

In der Produktionshalle eines Industriebetriebes soll zum Schutz der dort installierten Maschinen und Schaltschränke auf eine Raumluftfeuchte von max. 50 % r.F. bei einer Temperatur von 20 °C gehalten werden. Für den Frischwasserbedarf einiger Produktionsprozesse ist ein offenes Wasserbecken einer Oberfläche 250 m^2 vorhanden. Die maximale Temperatur des Wassers beträgt 15 °C. Das Gesamt-Raumvolumen ist 15000 m^3 . In der Anlage verrichten 15 Personen überwiegend mäßig schwere körperliche Tätigkeiten. Über eine Lüftungsanlage wird die Halle mit 12000 m^3/h Außenluft versorgt. Für den Sommerfall ist mit Extremwerten von 32 °C und 40 % r.F. auszuliegen. Ansonsten gibt es keine weiteren internen Feuchtelasten.

Benötigte Angaben:

$$p = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$V = 15000 \text{ m}^3$$

$$n = 12000 \text{ m}^3 / 15000 \text{ m}^3 = 0,8$$

$$X_{AUL} = 12,1 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{tr.Luft}}$$

$$X_{SOLL} = 7,36 \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{tr.Luft}}$$

Berechnung:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{D \text{ Lüftung}} &= 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 15000 \text{ m}^3 \times 0,8 \text{ 1/h} \times (12,1 - 7,36) \text{ g}_w/\text{kg}_{\text{tr.Luft}} \\ &= 68256 \text{ g}_w/\text{h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{D \text{ Person}} &\text{ bei Aktivitätsgrad III (mäßig schwer) bei } 20^\circ\text{C} \\ &= 110 \text{ g}_w/(\text{h} \times \text{Person}) \times 15 \text{ Personen} = 1650 \text{ g}_w/\text{h} \end{aligned}$$

$$A_{\text{Becken}} = 250 \text{ m}^2$$

$$p_s = 17,04 \text{ mbar}$$

$$p_D = 11,7 \text{ mbar}$$

$$\epsilon = 5$$

$$\dot{m}_{D \text{ Becken}} = 5 \text{ g}/(\text{h} \times \text{mbar} \times \text{m}^2) \times 250 \text{ m}^2 \times (17,04 - 11,7) \text{ mbar} = 6675 \text{ g}_w/\text{h}$$

$$\begin{aligned} L_E = \dot{m}_{D \text{ Gesamt}} &= (\dot{m}_{D \text{ Lüftung}} + \dot{m}_{D \text{ Personen}} + \dot{m}_{D \text{ Becken}}) \\ &= (68256 + 1650 + 6675) \text{ g}_w/\text{h} \\ &= 76581 \text{ g}_w/\text{h} \\ &= 76,58 \text{ kg}/\text{h} \end{aligned}$$

Ergebnis: Das auszuwählende Luftentfeuchtungssystem muss eine Entfeuchterleistung von 76,58 kg/h bzw. 1838 kg/d bei 20 °C und 50 % r.F. aufweisen.

Rechenbeispiel

6.5 Berechnung der Entfechter- / Trocknerleistung zur Vermeidung von Taupunktunterschreitung

Ein häufiger Einsatzbereich von Luftentfeuchtungssystemen ist die Vermeidung von Kondenswasserbildung auf kalten Anlagenteilen, Rohrleitungen, Armaturen. Hierzu reicht aus, die Unterschreitung des Taupunktes auf den kalten Bauteilen zu verhindern.

Dies kann durch einen Taupunktfühler geschehen, welcher auf einem gefährdeten Anlagenteil montiert wird. Das Luftentfeuchtungssystem geht dann nur in Betrieb, wenn Taupunktunterschreitung droht. Einsetzbar ist diese Methode dann, wenn keine weiteren Feuchtelasten vorhanden sind und keine generelle Absenkung der Raumluftfeuchte, erforderlich ist.

Die Berechnung hierzu erfolgt unter der Berücksichtigung der SOLL-Taupunkttemperatur

$$t_{TP,SOLL} = t_o - 2$$

t_o [°C] = Oberflächentemperatur des zu schützenden Bauteiles in °C. Bei Rohrleitungen kann hier die Temperatur des durchlaufenden Mediums angenommen werden.

$t_{TP,SOLL}$ [°C] = Soll-Taupunkttemperatur. Diese sollte mindestens 2 K unter der Oberflächentemperatur des zu schützenden Bauteils liegen.

Beispiel: In einem Raum einer Wasserversorgungseinrichtung mit einem Raumvolumen von 900 m³, einer Temperatur von 15 °C und einer Raumluftfeuchte von 80 % r.F., sollen die, mit kaltem Frischwasser durchflossenen Rohrleitungen, vor Kondensatanfall geschützt werden. Die Wassertemperatur beträgt 9 °C. Der Raum ist dicht, es sind keine weiteren Feuchtelasten vorhanden.

Benötigte Angaben:

$V_R = 900 \text{ m}^3$; $t_R = 15 \text{ °C}$; $\phi_R = 80\% \text{ r.F.}$; $t_o = 9 \text{ °C}$ (Oberflächentemperatur der Rohrleitung)

Aus nebenstehendem h,x-Diagramm können folgende Werte abgelesen werden:

$$x_R = 8,6 \text{ g}_W/\text{kg}_{tr.Luft}$$

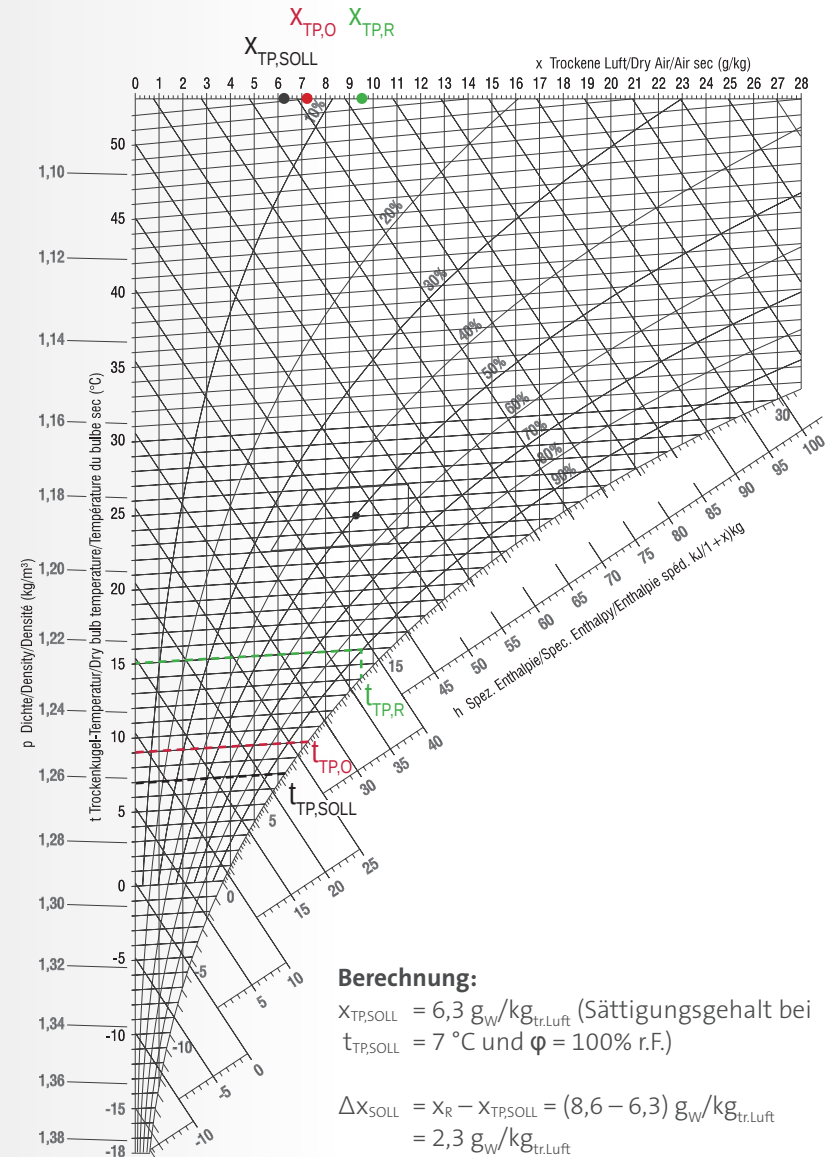
$$t_{TP,R} = 11,5 \text{ °C} \text{ (Taupunkttemperatur bei } t_R = 15 \text{ °C und } \phi_R = 80\% \text{ r.F.)}$$

$$x_o = 7,2 \text{ g}_W/\text{kg}_{tr.Luft} \text{ (Sättigungsgehalt bei } t_o = 9 \text{ °C und } \phi = 100\% \text{ r.F.)}$$

An der Oberfläche der Anlagenteile kondensiert somit die Differenz von $x_R - x_o$ aus:

$$\Delta x = x_R - x_o = (8,6 - 7,2) \text{ g}_W/\text{kg}_{tr.Luft} = 1,4 \text{ g}_W/\text{kg}_{tr.Luft}$$

Um ein Auskondensieren des Wasserdampfes auf den Anlagenteilen zu vermeiden, ist eine Entfeuchtung auf eine Taupunkttemperatur von 2 K unterhalb der Oberflächentemperatur vorzunehmen.



Somit ergibt sich eine Entfechterleistung von

$$LE = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 900 \text{ m}^3 \times (8,6 - 6,3) \text{ g}_W/\text{kg}_{tr.Luft} = 2484 \text{ g}_W/\text{h} = 2,48 \text{ kg/h.}$$

Ergebnis: das auszuwählende Luftentfeuchtungssystem muss eine Entfeuchtungsleistung von 2,48 kg/h bzw. 59,5 kg/d bei 15 °C und 80 % r.F. aufweisen.

7. Energieeffiziente Steuerung mit Taupunkt-, oder Oberflächenfühler

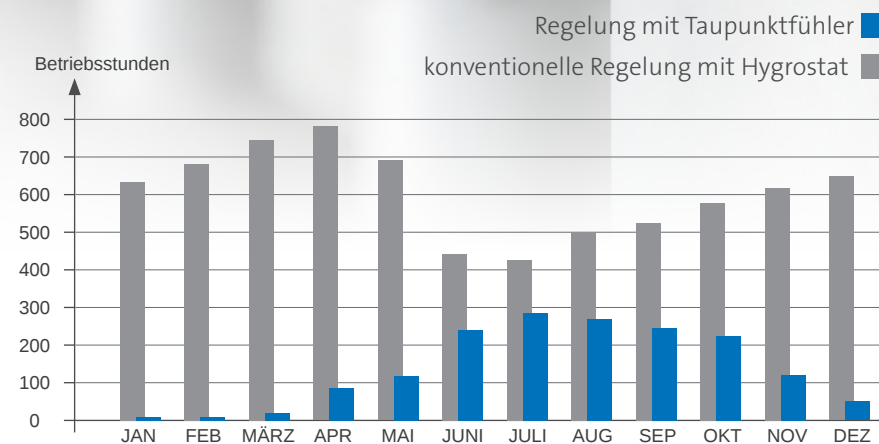
Eine direkte Regelung der Feuchte findet aufgrund der zwar verschieden ausgeprägten, aber stets vorhandenen Trägheit nicht statt. Über die entsprechenden Mess- und Regelemente werden der Verdichter- und Lüfterbetrieb bei Kondensations-Luftentfeuchtern, sowie die Regenerationsregister und Lüfter bei Adsorptionstrocknern angesteuert. Folgende Möglichkeiten zur feuchte-abhängigen Steuerung von Luftentfeuchtungssystemen sind realisierbar:

Hygrostate: Verfügbar als elektronische oder mechanische Variante, in vielen verschiedenen Ausführungen. Sowohl ein EIN / AUS-Betrieb ist möglich, als auch die Ansteuerung des Verdichters oder des Regenerationsregisters ohne Abschaltung der Lüfter.

Taupunktfühler: Aktivierung des Luftentfeuchtungssystems bei Taupunktunterschreitung.

Kombinierte Temperatur / Feuchtefühler: Bei Notwendigkeit einer zusätzlichen Temperaturkontrolle.

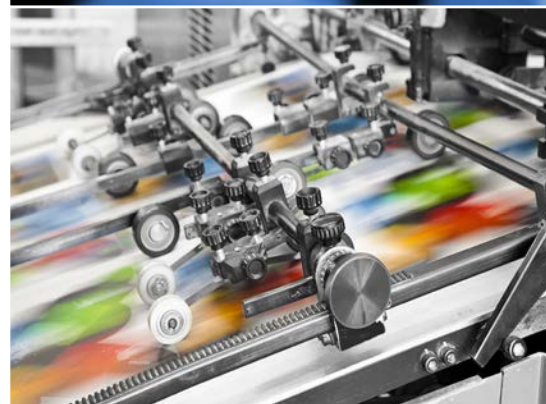
Welch enormes Energieeinsparpotenzial eine professionelle und anwendungsgerechte Auslegung in Kombination mit der entsprechenden Regelstrategie bietet, zeigt das Beispiel des Vergleichs einer Taupunktregelung gegenüber einer Regelung der Raumluftfeuchte unter identischen Bedingungen auf der gegenüberliegenden Seite.



Beispielhafte Verringerung der Betriebsstunden durch bedarfsoptimierte Regelung in einem Wasserwerk

8. Konditionsempfehlungen nach Einsatzgebieten

Branche	Einsatzgebiet	relative Feuchte	Temperatur
Antiquitäten	Lagerung und Reparatur	45-50 %	20-24 °C
Automobilindustrie	Fertigung	45-55 %	22-25 °C
	Lackierwerk	50-55 %	22-25 °C
Bibliothek	Bücherlager	40-50 %	21-25 °C
	Lesesäle	35-55 %	21-25 °C
Krankenhaus	Operationssaal	50-60 %	22-26 °C
	Patientenzimmer	40-50 %	20-22 °C
	Säuglingsstation	50 %	24 °C
Möbelindustrie	Furnierlagerung	50-60 %	15-18 °C
	Herstellung von Möbel	40-50 %	18-22 °C
	Herstellung von Spannplatten	50-55 %	12-20 °C
	Lagerung von Holzmöbel	50-55 %	12-18 °C
Mode	Gerberei	65-70 %	10-20 °C
	Lagerung von Pelzen	50-60 %	5-10 °C
	Spinnerei / Seide	50-65 %	20-25 °C
Museen	Gemälde	40-55 %	18-24 °C
Papierindustrie	Lagerung	50-60 %	15-20 °C
	Rotationsdruck	60 %	20-25 °C
	Siebdruck	50-60 %	22-24 °C
	Verarbeitung (Binden / Schneiden)	50-60 %	22-30 °C
Pharmaindustrie	Lagerung von Rohstoffen	30-40 %	21-27 °C
	Penizillin-Herstellung	60 %	25 °C
	Tablettenpresse	35-50 %	21-27 °C
Reinraumtechnik	Mikro-Elektronik	40-45 %	22 °C
	Waver-Produktion	40-45 %	22 °C
Süßwarenindustrie	Lagerung von Hefe	60-75 %	0-5 °C
	Lagerung von Mehl	50-60 %	15-25 °C
	Lagerung von Schokolade	60-65 %	18-21 °C
	Lagerung von Trockenfrüchten	50 %	10-13 °C
	Lagerung von Zucker	35 %	25 °C
Tabakindustrie	Lagerung von Rohtabak	60-65 %	21-23 °C



9. Quellenverzeichnis

- [1] Henne, Erich: Luftbefeuchtung, Oldenbourg Verlag München / Wien, 1995
- [2] Cerbe, Günter / Hoffmann, Hans-Joachim: Einführung in die Thermodynamik, Carl Hanser Verlag München / Wien 1996
- [3] Recknagel / Sprenger / Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Industrieverlag GmbH München 2013
- [4] Reinmuth, Friedrich: Raumlufttechnik, Vogel Verlag Würzburg, 1996
- [5] Siemens Building Technologies: Das h,x-Diagramm, Aufbau und Anwendung, Siemens Building Technologies AG
- [6] VDI-Richtlinie 2089 Blatt 1 Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern, VDI-Verlag Düsseldorf, 2010
- [7] VDI-Richtlinie VDI 2078 Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen, VDI-Verlag Düsseldorf, 2015
- [8] Steiner, Reinhard: Branchendokumentation 208 Luftentfeuchtung – Lufttrocknung, Offenbach 1988
- [9] DVGW-Merkblatt W 621: Entfeuchtung, Lüftung, Heizung in Wasserwerken, DVGW Eschborn, 1993
- [10] Werksunterlagen Condair GmbH, Garching
- [11] Werksunterlagen Cotes A/S, Slagelse DK



