

Klimamanagement in wassertechnischen Anlagen

Luft enthält immer eine gewisse Menge an Wasserdampf. Auf kalten Oberflächen von wasserführenden Anlagenteilen in Hochbehältern, Wasserwerken, Brunnen und Pumpwerken etc. besteht deshalb die latente Gefahr von Tauwasserbildung. Feuchtigkeitsanfall kann durch diffundierenden Wasserdampf auch in Wänden auftreten und damit große Bauwerksschäden verursachen.

Diese technische Information erläutert die wesentlichen Grundlagen der Klimatisierung und Luftentfeuchtung und gibt Hinweise zur Auswahl der richtigen Entfeuchtungsgeräte.

- Problem** Tauwasser (**Abb.1**) verursacht insbesondere
- Korrosion und Schäden (Rost) an maschinellen und elektrischen Einrichtungen (**Abb.2**)
 - Elektrische Störungen durch Kurzschlüsse und Fehlströme bis zum Anlagenausfall
 - Durchfeuchtungsschäden und Korrosion am Bauwerk (**Abb.3**)
 - Schimmelbildung auf Oberflächen und Wänden (**Abb.4**)
 - Unhygienische Zustände in Hochbehältern, Pumpwerken, Schächten, Wasserwerken.

Beispiele

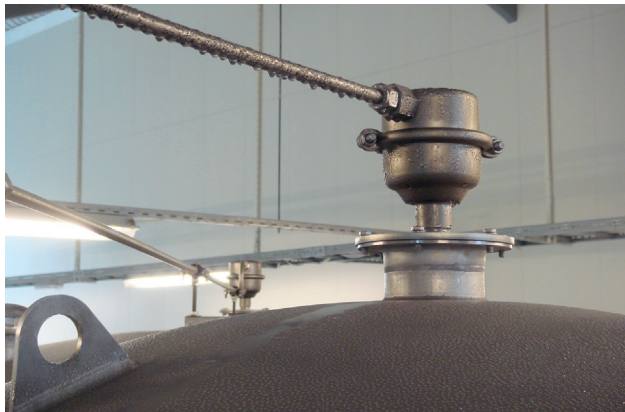


Abb.1: Tauwasserbildung



Abb.2: Korrosion und Rost



Abb.3: Durchfeuchtungsschäden

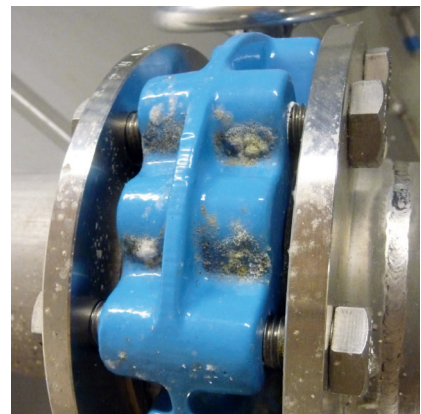


Abb.4: Schimmelbildung

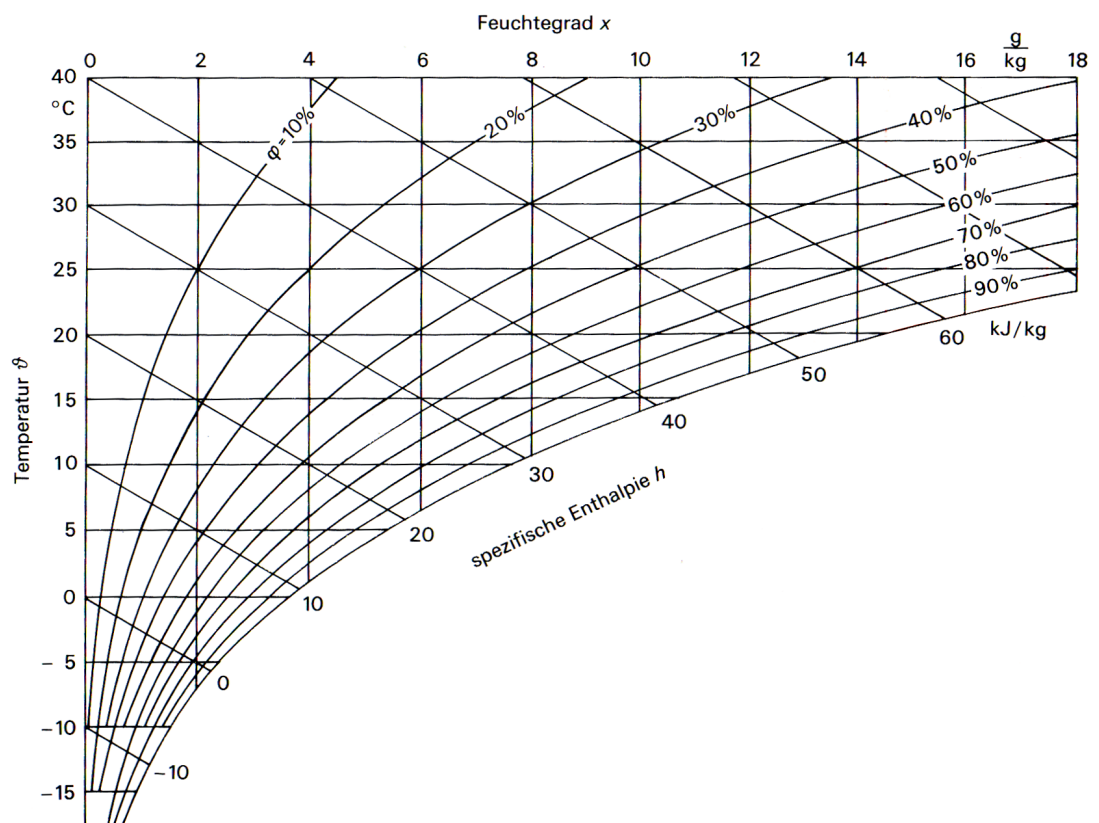
Luftentfeuchtung Durch eine kontrollierte Luftentfeuchtung kann Tauwasserbildung dauerhaft vermieden werden. Luftentfeuchtung dient damit auch dem langfristigen Werterhalt der oft hochwertigen Anlagen und Bauwerke.

Luftfeuchtigkeit

Feuchtegrad Normale Umgebungs- und Raumluft enthält auf Grund natürlicher Verdunstungsvorgänge grundsätzlich Wasserdampf. Die Menge des maximalen Wasserdampfgehaltes (Sättigung) in der Luft ist abhängig von der Temperatur und wird in g/kg als absolute Luftfeuchtigkeit angegeben. Luft ist in der Regel aber nicht gesättigt. Das Verhältnis der aktuellen absoluten Luftfeuchtigkeit zur maximal möglichen Luftfeuchtigkeit wird prozentual als relative Luftfeuchtigkeit ausgedrückt. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Wasserdampfgehaltes ändert sich auch die relative Luftfeuchtigkeit mit der Temperatur. Wird warme, feuchte Luft abgekühlt, kommt es zur Erhöhung der relativen Feuchte bis zu 100%. Bei darüber hinausgehendem Abkühlen kommt es zu Tauwasserbildung. Dieser Punkt wird als Taupunkt bezeichnet, die entsprechend zugehörige Temperatur als Taupunkttemperatur.

Liegt der Taupunkt der Luft unter der Wassertemperatur kommt es zu Verdunstung des Wassers und zur Trocknung.

Mollier-h-x-Diagramm



Der Zusammenhang zwischen der Temperatur, der Feuchte und der spezifischen Enthalpie der feuchten Luft ist im sogenannten Mollier-h-x-Diagramm zusammengefasst.

In Tabelle 1 sind wesentliche Punkte mit den jeweiligen Zustandsgrößen dargestellt. Es ist klar erkennbar, dass der Taupunkt von der Lufttemperatur und der relativen Feuchte abhängt.

Tabelle 1 Wassergehalt [g/kg], spezifische Enthalpie [kJ/kg] und Taupunkttemperatur [°C] in Abhängigkeit von der Lufttemperatur [°C] und der rel. Feuchte [%].

	40% r.F.		50% r.F.		60% r.F.		70% r.F.		80% r.F.		90% r.F.		100% r.F.	
30 °C	10,61 g/kg	57,3 kJ/kg	13,32 g/kg	64,2 kJ/kg	16,05 g/kg	71,2 kJ/kg	18,8 g/kg	78,2 kJ/kg	21,58 g/kg	85,3 kJ/kg	24,38 g/kg	92,5 kJ/kg	27,21 g/kg	99,7 kJ/kg
	14,9 °C		18,4 °C		21,4 °C		23,9 °C		26,2 °C		28,2 °C		30 °C	
25 °C	7,89 g/kg	45,2 kJ/kg	9,89 g/kg	50,3 kJ/kg	11,9 g/kg	55,4 kJ/kg	13,93 g/kg	60,6 kJ/kg	15,97 g/kg	65,8 kJ/kg	18,03 g/kg	71 kJ/kg	20,1 g/kg	76,3 kJ/kg
	10,5 °C		13,8 °C		16,7 °C		19,1 °C		21,3 °C		23,2 °C		25 °C	
20 °C	5,8 g/kg	34,8 kJ/kg	7,27 g/kg	38,5 kJ/kg	8,75 g/kg	42,3 kJ/kg	10,23 g/kg	46 kJ/kg	11,72 g/kg	49,8 kJ/kg	13,21 g/kg	53,6 kJ/kg	14,71 g/kg	57,4 kJ/kg
	6,0 °C		9,3 °C		12 °C		14,4 °C		16,4 °C		18,3 °C		20 °C	
15 °C	4,22 g/kg	25,8 kJ/kg	5,29 g/kg	28,4 kJ/kg	6,36 g/kg	31,1 kJ/kg	7,43 g/kg	33,9 kJ/kg	8,5 g/kg	36,6 kJ/kg	9,58 g/kg	39,3 kJ/kg	10,67 g/kg	42 kJ/kg
	1,5 °C		4,7 °C		7,3 °C		9,6 °C		11,6 °C		13,4 °C		15 °C	
10 °C	3,04 g/kg	17,7 kJ/kg	3,8 g/kg	19,6 kJ/kg	4,56 g/kg	21,5 kJ/kg	5,33 g/kg	23,5 kJ/kg	6,1 g/kg	25,4 kJ/kg	6,87 g/kg	27,4 kJ/kg	7,64 g/kg	29,3 kJ/kg
	< 0 °C		0,1 °C		2,6 °C		4,8 °C		6,7 °C		8,4 °C		10 °C	
8 °C	2,65 g/kg	14,7 kJ/kg	3,32 g/kg	16,4 kJ/kg	3,98 g/kg	18,1 kJ/kg	4,65 g/kg	19,7 kJ/kg	5,32 g/kg	21,4 kJ/kg	5,99 g/kg	23,1 kJ/kg	6,67 g/kg	24,8 kJ/kg
	< 0 °C		< 0 °C		0,7 °C		2,9 °C		4,8 °C		6,5 °C		8 °C	
6 °C	2,31 g/kg	11,8 kJ/kg	2,89 g/kg	13,3 kJ/kg	3,47 g/kg	14,7 kJ/kg	4,05 g/kg	16,2 kJ/kg	4,63 g/kg	17,7 kJ/kg	5,22 g/kg	19,1 kJ/kg	5,8 g/kg	20,6 kJ/kg
	< 0 °C		< 0 °C		< 0 °C		1 °C		2,8 °C		4,5 °C		6 °C	

Beispiel Die Wassertemperatur in einem Wasserwerk liegt bei 10 °C, die Raumtemperatur beträgt im Winter ca. 12 bis 15 °C bei einer relativen Feuchte von 60%. Laut Tabelle 1 liegt der Taupunkt bei 7,3 °C was bedeutet, dass es zu keiner Kondenswasserbildung kommt. Im Sommer erhöht sich die Temperatur der Luft auf 20 °C bei gleicher relativer Feuchte. Der zugehörige Taupunkt liegt nun aber bei 12 °C mit der Folge, dass Tauwasserbildung auftritt. Um Taupunktunterschreitung zu vermeiden, muss in diesem Fall die relative Feuchte der Luft auf unter 50% abgesenkt werden.

Luftentfeuchtung und Taupunkt im Wasserwerk

In Wasserwerken liegen die Oberflächentemperaturen der wasserführenden Rohrleitungen, Armaturen und Behälter meist im Bereich von 8 bis 12 °C, in Extremfällen zwischen 1 und 20 °C. Wie bereits ausgeführt kann es insbesondere in den wärmeren Jahreszeiten bei Kontakt von warmer, feuchter Luft mit kalten Oberflächen zur Tauwasserbildung kommen. Um Tauwasser- und Schimmelbildung sicher vorzubeugen, sollte die Luftfeuchtigkeit in Wasserwerken nicht dauerhaft höher als 65-70% r.F. sein.

Je höher die Differenz der Lufttemperatur zur Oberflächentemperatur ist, desto geringer muss die relative Luftfeuchtigkeit sein, um Taupunktunterschreitungen zu vermeiden. Dies gilt auch umgekehrt: Je geringer die Temperaturdifferenz, desto höher kann die Luftfeuchtigkeit sein.

Externer Hygrostat Insbesondere in Wasserwerken mit oft größeren Räumen sollten die Schaltgeräte (Hygrostat oder Taupunktfühler) möglichst extern montiert werden. Ideal für Hygrostate sind Stellen in ca. 1,5 m Höhe und ohne Beeinflussung durch das Gerät bzw. andere Luftströmungen (Heizung, Motorabwärme, etc.). Hygrostate sollten so eingestellt werden, dass der Taupunkt ca. 4-5 K unter der Oberflächentemperatur der Kondensationsflächen liegt bzw. auf max 70%. In Trinkwasserbehältern mit Edelstahltanks entspricht die Raumlufttemperatur in etwa der Wassertemperatur und ist konstant. Hier kann die Luftentfeuchtung mit fest eingestelltem Hygrostaten betrieben werden.

Taupunkt-fühler Über externe Taupunktfühler, welche direkt auf der Rohroberfläche montiert sind, lassen sich Luftentfeuchter bedarfsorientiert und somit energiekostenoptimiert betreiben. Taupunktfühler erkennen die Gefahr einer Taupunktunterschreitung bereits vor auftretender Tauwasserbildung unabhängig von der Lufttemperatur.

Dimensionierung und Geräteauswahl

Für die Luftentfeuchtung in Wasserwerken können Kondensations-Luftentfeuchter oder Adsorptions-Luftentfeuchter eingesetzt werden. Entfeuchter nach dem Kondensationsprinzip arbeiten im Allgemeinen sehr wirtschaftlich. Durch eine Kältemaschine wird eine kühle Platte erzeugt, an der die vorbeiströmende Luft abkühlt, die Feuchtigkeit kondensiert und abgeleitet werden kann. Die Entfeuchtungsleistung und damit die Wirtschaftlichkeit dieser Geräte verringern sich mit abnehmender Temperatur (Gefahr von Eisbildung / Abtauautomatik erforderlich). Im niederen Temperaturbereich (< 3 °C) werden deshalb bevorzugt Adsorptionstrockner eingesetzt.

Dimensionierung von Entfeuchtungsgeräten Im Idealfall arbeiten Luftentfeuchtungsgeräte im Umluftbetrieb, d.h. es wird nur die Luft im Raum entfeuchtet **und** der Zutritt von Außenluft unterbunden. Auch bei abgeschlossenen Räumen ist im Wasserwerksbetrieb normalerweise ein bedingter Luftwechsel (eintretende Außenluft) gegeben. Je nach Abdichtungsgrad der Bauwerkshülle ist von einem stündlichen Luftwechsel L_W von 25 bis 40% des Raumvolumens V_R auszugehen.

Die erforderliche Entfeuchtungsleistung L_E ermittelt sich damit überschlägig wie folgt:

Formel $L_E = V_R \cdot \text{Dichte} \cdot L_W \cdot \text{Differenz Wasserdampfgehalt} \cdot 1/1000 \text{ [kg Wasser/h]}$

Beispiel Raumvolumen $V_R = 2800 \text{ m}^3$, Dichte Luft ca. $1,25 \text{ kg/m}^3$, Luftwechsel $L_W = 0,4$, Außenlufttemperatur 25 °C bei 50% rel. Feuchte, angestrebter Taupunkt 8 °C . Die erforderliche stündliche Entfeuchtungsleistung beträgt demnach:

$$L_E = 2800 \text{ m}^3 \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,4 \cdot (9,89 - 6,67 \text{ g/kg}) = 4508 \text{ g bzw. } 4,5 \text{ kg/h}$$

Die von der Kältemaschine abzuführende Wärmemenge Q_{ENT} in diesem Betriebspunkt ermittelt sich aus der Differenz der zugehörigen Enthalpien multipliziert mit der abgeführten Wassermenge.

Sie beträgt im Beispiel (gemäß Tabelle 1):

$$Q_{ENT} = (50,3 - 24,8 \text{ kJ/kg}) \cdot 4,5 \text{ kg/h} = 114,75 \text{ kJ/h}$$

Leistungsaufnahme von Entfeuchtern Die max. Leistungsaufnahme eines Luftentfeuchtungsgerätes setzt sich aus der Lüfterleistung und der Motorleistung der Kälteanlage zusammen zuzüglich etwaiger Heizregister für die Abtauung. Die erforderliche Kälteleistung hängt unmittelbar mit der Temperatur bzw. der spezifischen Enthalpie der zu entfeuchtenden Luft zusammen (siehe Tabelle bzw. Mollier-h-x-Diagramm und obiges Beispiel).

Bei einer hohen Temperatur muss eine deutlich größere Wärmemenge entzogen werden als bei niedriger Temperatur. Zum Vergleich von Luftentfeuchtungsgeräten ist daher die

alleinige Fokussierung auf die Entfeuchtungsleistung oder die Leistungsaufnahme ungeeignet. Letztlich arbeiten alle Kondensationstrockner nach dem gleichen Prinzip und unterliegen den gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Fakt ist: Unabhängig von der angegebenen Motorleistung oder max. Stromaufnahme nimmt ein Kondensationstrockner neben der Lüftungsleistung im Wesentlichen nur die jeweils für die Abführung der Wärmemenge erforderliche Kälteleistung an Energie auf.

Luftumwälzung

Neben der optimalen Entfeuchtung kommt der Luftumwälzung - insbesondere in großvolumigen und in hohen Gebäuden - eine große Rolle zu. Durch Temperaturschichtungen und schlecht durchströmte Bereiche kann es sonst dennoch zu partieller Tauwasserbildung kommen.

Bei Geräten mit hoher Pressung (> 300 Pa) und mit Luftaustrittsrohren zur gezielten Strömungsführung ist in den meisten Anwendungsfällen ein zentral aufgestelltes Gerät ausreichend.

Tiefere Schächte und insbesondere mit Gitterrosten abgedeckte Bereiche sind gesondert zu prüfen. Gitterroste bilden eine Barriere für die Luftumwälzung. Hier muss gegebenenfalls mittels gerichteter Luftströmungen über Rohrsysteme oder mit Umluftsystemen für einen kontinuierlichen Luftaustausch gesorgt werden.

Bei hohen Gebäuden wie Edelstahlhochbehältern sind Geräte mit Luftaustritt nach oben über justierbare Rohre bzw. Bogen zur Einstellung einer gerichteten Strömung bevorzugt zu verwenden. Diese Entfeuchter können mittig aufgestellt und idealerweise mittels Hygrostat betrieben werden.



Ermittlung des Umwälzvolumens

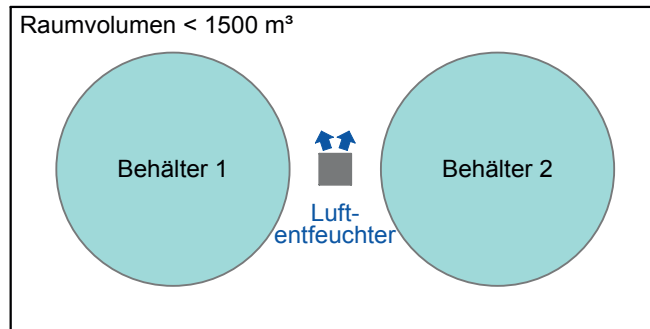
Zur Sicherstellung einer guten Luftentfeuchtung sollte das Raumvolumen des geschlossenen Gebäudes bzw. zu entfeuchtenden Raumes ca. einmal pro Stunde umgewälzt werden. Die vollständige Luftumwälzung ist wichtig, da nur dadurch ein guter Feuchtigkeitstransport durch natürliche Konvektionsvorgänge ermöglicht wird.

Nebenräume oder schlecht durchströmte Raumbereiche müssen bei Bedarf durch separate Entfeuchter bedient werden. Die Luftumwälzung dieser Geräte ist auf die jeweiligen Raumgrößen abzustimmen. Luftentfeuchter sind so zu platzieren, dass Kurzschlussströmungen vermieden und eine gute Umwälzung erreicht wird. Bei großen Flächen (großes Volumen bei niederen Räumen) sind Rohrleitungen zur gezielten Strömungsführung vorteilhaft.

Bei stationärer Aufstellung sollten ausreichend dimensionierte Ablaufleitungen für die Kondensatableitung (Gefahr des Zuwachsens) vorgesehen werden.

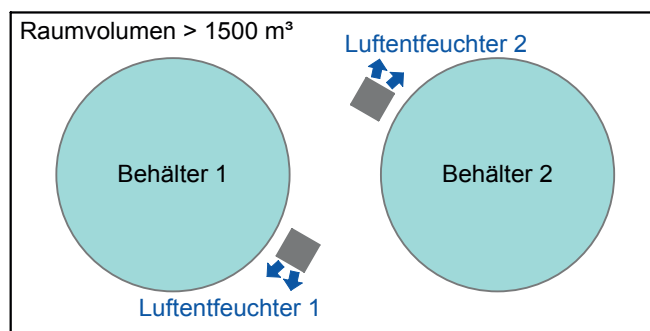
Das Raumvolumen V_R ergibt sich durch das Bruttovolumen abzüglich des Volumens der Einbauten wie z.B. Behälter etc.

Geräteanzahl Bei einem Raumvolumen bis zu ca. 1500 m³ kann mit einem zentral aufgestellten Entfeuchter eine ausreichende Luftentfeuchtung gewährleistet werden. Die Umwälzleistung muss dabei gleich oder größer als das Raumvolumen sein (siehe Datenblatt Luftentfeuchter).



Aufstellung von einem Luftentfeuchter

Bei größeren Raumvolumen als 1500 m³ sollten mehrere Entfeuchter eingesetzt werden. Gegebenenfalls kann auch mit Deckenventilatoren für eine gute Luftumwälzung gesorgt werden. Bei den größeren Raumvolumen sollten ausschließlich die Geräte mit höherer Leistung eingesetzt werden.



Aufstellung von zwei Luftentfeuchtern

Lüftung und Heizung Ein Luftwechsel kann im Wasserwerksbetrieb unter bestimmten Voraussetzungen erforderlich werden (Zuführung und Ableitung von Kühlluft, Ableitung von Gasen und Dämpfen, Luftausgleich bei Wasserspiegeländerungen in Behältern etc.).

Um die Entfeuchtung durch die Lüftung nicht zu beeinflussen, müssen entsprechende Anlagenteile in separaten Räumen aufgestellt bzw. abgeschottet werden und direkt nach außen belüftet werden. Natürliche Lüftung ist stellenweise nur noch bei Schächten üblich, wobei auch hier die Luftentfeuchtung - kombiniert mit einer Zwangslüftung über Ventilatoren - im Bedarfsfalle vorteilhafter ist. Aus energetischen Gründen ist die Beheizung auf Betriebs- und Chemikalienräume (z.B. Natronaugelagerung, etc.) sowie Schaltwarten zu begrenzen. Zur Luftentfeuchtung ist die Beheizung aus energetischen Gründen nicht geeignet.

Fazit Entfeuchtungsgeräte nutzen mehr als sie kosten. Sie sind im Betrieb weitgehend wartungsfrei. Gerät, Filter und Ablaufleitungen sind regelmäßig zu reinigen bzw. zu wechseln. Die Geräte sollten mit Betriebsstundenzählern ausgestattet sein, um einen etwaigen Leistungsabfall oder zu hohe Laufzeiten infolge falscher Einstellungen erkennen zu können.

Das zeitweilige Abschalten von Luftentfeuchtern ist im Hinblick auf ein kontinuierliches Raumklima zwingend zu vermeiden.

Entfeuchter für Wasserwerke

Die Luftentfeuchter der Typenreihe HDE wurden sowohl für den gewerblichen Einsatz als auch für den Wasserwerksbereich entwickelt. Aus diesem Grunde sind die Entfeuchter mit einem korrosionsbeständigen Edelstahlgehäuse in Schutzart IP54 und besonders großen und stabilen Transporträdern ausgestattet. Die großzügig dimensionierten Ventilatoren sorgen für eine großvolumige Luftumwälzung und somit für eine hervorragende Entfeuchtungsleistung in großen und hohen Räumen. Die vollelektronische Regelung gewährleistet einen effizienten Entfeuchtungsprozess auch bei niedrigen Betriebstemperaturen.

Externe Hygrostate oder Taupunktfühler können angeschlossen werden. Das Kondensat wird über einen Schlauch permanent abgeleitet. Sämtliche Anschlüsse und Schalter sind geschützt auf der Gehäuserückseite angebracht.

Einsatzbereiche Betrieb unter normalen atmosphärischen Bedingungen und Umgebungstemperaturen zwischen 1 °C bis 35 °C, bei einer relativen Luftfeuchte von 40% bis 99%.

- Ausführung**
- Edelstahlgehäuse
 - Heißgasabtauung
 - Schutzart IP54
 - vollelektronischer Regler
 - reinigbarer Luftfilter
 - Anzeige der Betriebsstunden im Regler
 - stoßgeschützter Filter/Verdampfer
 - Kältemittel R410A
 - Kondensatpumpe optional möglich
 - externer Hygrostat, Taupunktfühler optional

HDE 150 / HDE 210



HDE 370



**Technische
Daten -
Entfeuchter**

Entfeuchter	HDE150	HDE210	HDE370
HE-Artikelnummer	151614	151615	151616
Entfeuchtungsleistung bei 8 °C / 70% r.F. [l/d]	11,9	26,2	30,9
Entfeuchtungsleistung bei 12 °C / 70% r.F. [l/d]	15,9	32,1	38,8
Entfeuchtungsleistung bei 20 °C / 60% r.F. [l/d]	21,5	39,4	48,0
Entfeuchtungsleistung bei 27 °C / 60% r.F. [l/d]	29,6	53,0	65,3
Entfeuchtungsleistung max. 30 °C / 80% r.F. [l/d]	40,8	71,7	93,2
Leistungsaufnahme bei 10 °C / 70% r.F. ca. [W]	200	770	920
Leistungsaufnahme max. [W]	330	1010	1510
Spannung [V / Hz]	230 / 50	230 / 50	230 / 50
Luftumwälzung max. [m³/h]	600	800	1000
Erhöhte Pressung ext. [Pa]	-	-	300
Schalldruckpegel [dB(A)]	47	48	57
Gewicht, netto [kg]	50	56	82
Abmessungen incl. Räder und Griff (Höhe x Breite x Tiefe) [mm]	915 x 545 x 490	965 x 545 x 490	1100 x 610 x 635

Lieferumfang: Raumluftentfeuchter mit steckerfertigem externem Hygrostat

Achtung Die im Lieferumfang des HDE370 enthaltenen Strömungsrichter (2 x Edelstahlbogen mit Muffen bzw. Prallteller) müssen zwingend aufgebaut werden. Ein Betrieb ohne die Strömungsrichter führt zu einer zu hohen Überströmgeschwindigkeit am Verdampfer mit der Folge, dass die Leistung vermindert werden kann.

**Taupunkt-
wächter
TW Ö/S**

Mittels Taupunkt wächter können die Luftentfeuchter bei höheren Temperaturen effizient und wirtschaftlich betrieben werden. Der Taupunkt wächter wird auf kalten Oberflächen oder direkt auf Rohrleitungen montiert. Er kann als Feuchtefühler, Taupunkt fühler oder Grenzwertschalter eingesetzt werden und der Entfeuchter damit so betrieben werden, dass dieser bereits vor Betauung der Rohroberfläche durch den Schaltausgang des Taupunkt wächters aktiviert wird. Zum Betrieb des Taupunkt wächters ist eine 24 V AC Spannungsversorgung vom Entfeuchter erforderlich.



**Technische
Daten -
Taupunkt wächter**

Taupunkt wächter	TW Ö/S
HE-Artikelnummer	151617
Kapazitiver Sensor	für Arbeitsbereich 75-100% r.F.
Temperaturbereich	0-50 °C
Ausgangssignal	Potentialfreier Wechselkontakt 24 V AC
Schutzart	IP65