



EISBILDUNG VERMEIDEN

Luftentfeuchtung gegen Kondensat
und Eisbildung in Kühllagern

Luftbefeuchtung, Entfeuchtung
und Verdunstungskühlung

 **condair**

Das Problem mit zu feuchter Luft in Kühllagern

Bei der Lagerung von Lebensmitteln, wie zum Beispiel von Fleisch- und Wurstwaren, Milchprodukten, Teigwaren sowie Tiefkühlspeisen, hat ein optimales Verhältnis zwischen der geeigneten Raumtemperatur und der Luftfeuchte höchste Priorität für eine dauerhaft hochwertige Produktqualität. Oft können Raumzustände, die nur kurze Zeit von den Idealbedingungen abweichen, hohe Schäden hervorrufen.

Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Regelung der Luftfeuchte dar. Es lässt sich nicht vermeiden, dass warme und feuchte Luft, zum Beispiel beim Einbringen oder beim Abtransport von Waren, in das Lager einströmt oder neu im Lager deponierte Produkte Feuchtigkeit an die Luft abgeben. Die dauerhafte und sichere Abführung dieser Feuchte ist für viele Betreiber besonders bei Lagertemperaturen von oft weit unter 0 °C ein permanentes Problem. Wenn Wasser aus der Luft auskondensiert, schlägt es sich als Flüssigkeit beziehungsweise in Tiefkühlslagern als Eis auf Böden, Wänden und auf den Waren nieder. Dies führt zu Schäden an den Produkten und gefährdet die Betriebssicherheit, denn Personen können ausrutschen und sich verletzen oder Stapler auf glattem Eis ins Rutschen geraten.

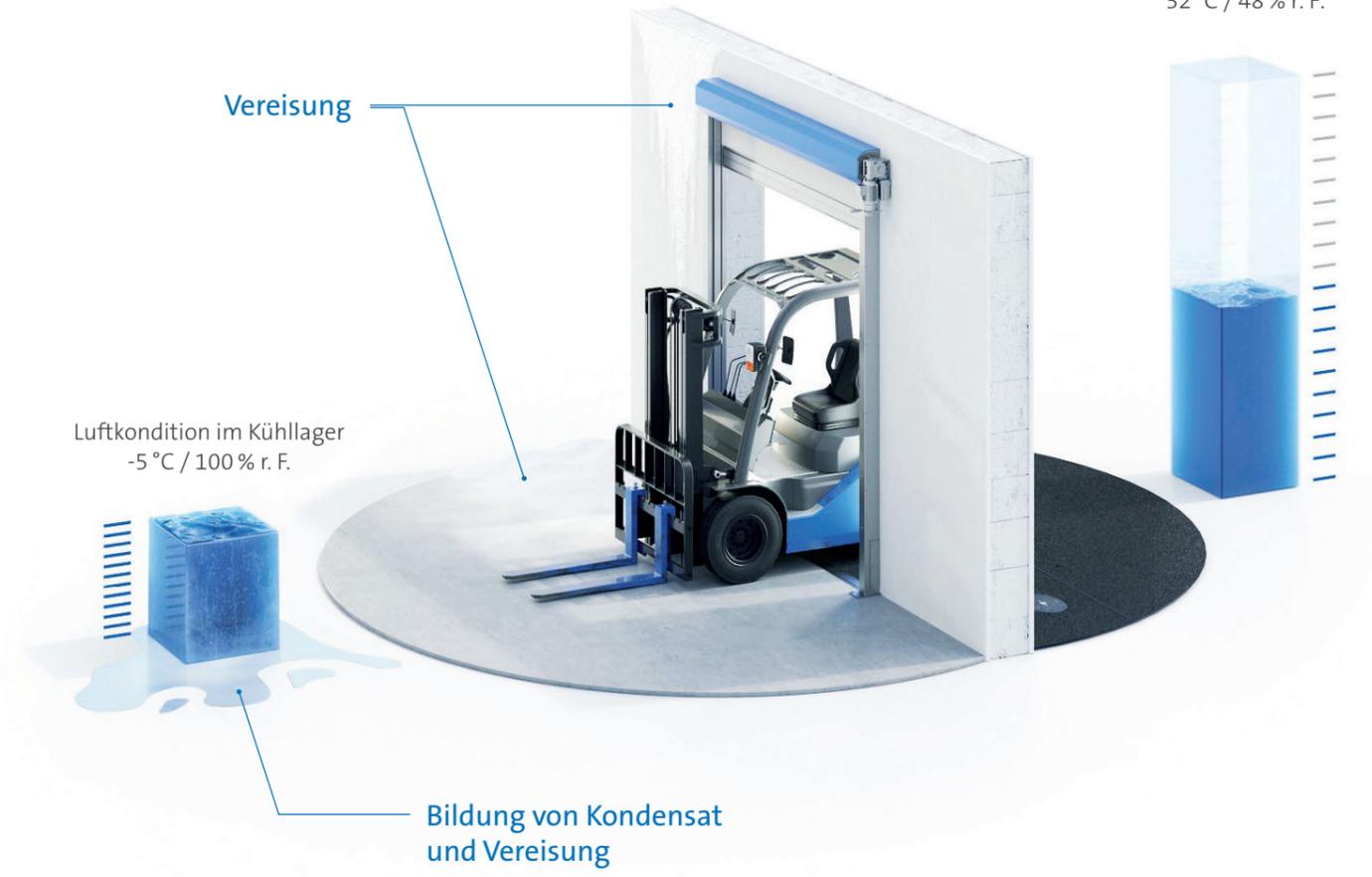
Umluftkühler, welche Luft aus dem Lager ansaugen, diese in einem Wärmeübertrager kühlen und dann zurück in den Lagerbereich ausblasen, sorgen nur für eine geringe Entfeuchtung der Luft.

Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts führen bei dieser Entfeuchtungsmethode rasch zu einer Vereisung des Kühlers und zu einer dann notwendigen Enteisungsphase, in der weder Kühlung noch Entfeuchtung zur Verfügung stehen. Zudem muss der Kühler auf sehr niedrige Betriebstemperaturen (etwa 5 bis 7 K unter der Raumtemperatur) eingestellt werden, um eine Entfeuchtung bei den sehr kalten Raumtemperaturen überhaupt gewährleisten zu können. Dies ist sehr energie- und kostenintensiv.

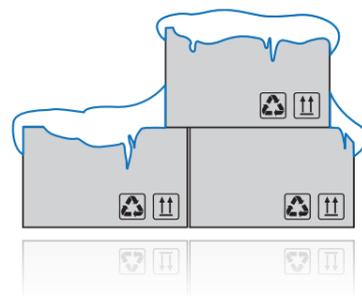
In dieser Broschüre wird als Ergänzung zur konventionellen Luftkühlung der Einsatz eines Adsorptions-Trockners beschrieben und empfohlen. Ein Adsorptions-Trockner trocknet die Luft dauerhaft sehr effizient und wirtschaftlich. Er trägt dazu bei, die dargestellten Probleme von vornherein zu vermeiden.

Ein Highlight ist der Adsorptions-Trockner **DA 500-4000 Freezer**, der aufgrund seiner 100 mm starken, wärmebrückenfreien Gehäusedämmung auch außen aufgestellt werden kann und somit keine wertvolle Lagerfläche beansprucht.

Kondition der Außenluft
32 °C / 48 % r. F.



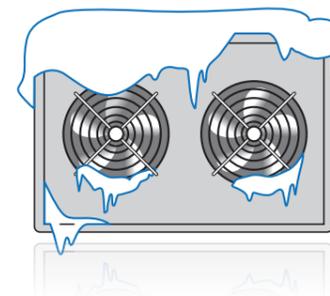
Vereisung des Lagerguts



Vereisung von Anlagen



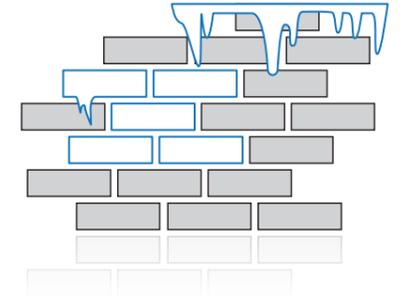
Vereisung von Verdampfern



Nebelbildung



Vereisung von Wand- und Deckenflächen



Ein wenig Thermodynamik: So funktioniert die Luftentfeuchtung

In der Thermodynamik hängen die Größen Enthalpie (h), Temperatur (t) und Feuchte (x) untrennbar miteinander zusammen. Die Darstellung dieser Größen erfolgt in einem sogenannten h,x-Diagramm. Dabei entspricht die Enthalpie h dem gesamten Wärmeinhalt der Luft, bestehend aus der Lufttemperatur und dem in der Luft vorhandenen Wasserdampf. Bei der Feuchte unterscheidet man die absolute Feuchte x (g Wasserdampf in der Luft pro kg Luft) und die relative Feuchte ϕ . Die relative Feuchte gibt an, zu wieviel Prozent die Luft gesättigt ist. Wenn es nun darum geht, für einen Prozess oder zur Sicherstellung von vorgegebenen Soll-Raumluftzuständen, die Luft zu entfeuchten, ergeben sich daraus beispielsweise folgende typische Herausforderungen.

Kühlager A:

Raumtemperatur -15 °C, Feuchte x = 0,9 g/kg, Dichte $\rho = 1,37 \text{ kg/m}^3$

Außenluft im Sommer: +34 °C, 42 % r. F., x = 14 g/kg, Dichte $\rho = 1,15 \text{ kg/m}^3$

Außenluft im Winter: 0 °C, 80 % r. F., x = 3 g/kg, Dichte $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$

Höhe x Breite der Öffnung: 2,5 m • 2 m

Öffnungsdauer: 10 Minuten pro h

Annahme:

Durch das Aus- und Einbringen (Öffnen von Türen und Toren) dringt Außenluft in das Kühlager ein und vermischt sich mit der Raumluft. Wieviel Wasser dabei in den Kühlraum eingetragen wird, ist abhängig von den Luftzuständen und der

daraus resultierenden Dichtedifferenz zwischen der Außenluft und dem Tiefkühlraum, der Größe der Öffnung, wie lange diese geöffnet ist und den Maßnahmen zum Schutz vor Feuchteeintrag, zum Beispiel einer Luftschleieranlage.

Ohne Luftschleieranlage ergibt sich bei den zuvor genannten Vorgaben im Sommer rechnerisch eine Infiltration von 1.251 m³/h Außenluft in das Kühlager. Durch den Betrieb einer Luftschleieranlage mit einer Effizienz von 80 %, wird diese auf 250 m³/h verringert.

Sommerbetrieb:

$250 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,15 \text{ kg/m}^3 \cdot (14 - 0,9) \text{ g/kg} = 3.766 \text{ g/h}$

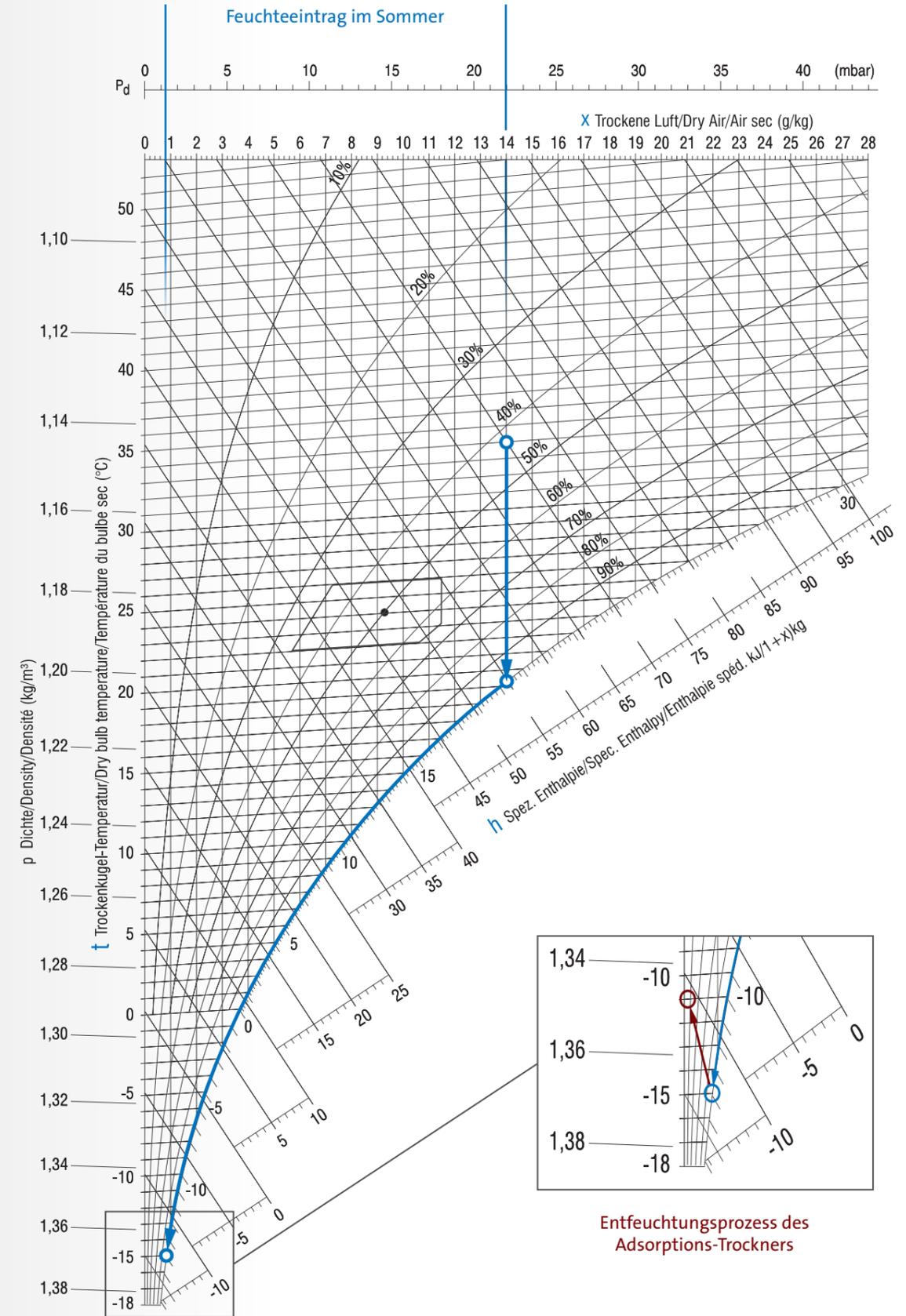
Im Winterbetrieb reduziert sich nicht nur die Menge der Infiltrationsluft aufgrund der geringeren Außenluftfeuchte. Es herrscht auch eine geringere Differenz in der Luftdichte. Dadurch verringert sich die rechnerische Infiltration inklusive Berücksichtigung der Luftschleieranlage auf 150 m³/h.

Winterbetrieb:

$150 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,29 \text{ kg/m}^3 \cdot (3 - 0,9) \text{ g/kg} = 406 \text{ g/h}$

Aufgrund der Raumtemperatur von -15 °C wird sich das aus der Luft kondensierende Wasser nun als Eis auf den Raumumschließungsflächen und den Waren niederschlagen.

Sowohl die Bildung von Kondensat als auch von gefährlichen Eisformationen kann durch den Betrieb von Adsorptions-Trocknern vermieden werden.



Entfeuchtungsprozess des Adsorptions-Trockners

Vollisolierter Adsorptions-Trockner ermöglicht Außenaufstellung

Adsorptions-Trockner werden eingesetzt, wenn eine geringe Luftfeuchte unter etwa 10 % r. F., oft auch bei sehr niedrigen Temperaturen, erreicht werden soll. Der technische und energetische Aufwand für die Entfeuchtung von Luft durch eine Unterschreitung des Taupunktes, also dem Funktionsprinzip eines Kondensationsentfeuchters, ist unter diesen Voraussetzungen enorm und dementsprechend schwer bis nicht realisierbar. Hingegen werden bei Adsorptions-Trocknern die Eigenschaften von Silicagelen genutzt, welche eine wirksame Trocknung der Luft auch bei niedrigen Temperaturen ermöglichen.

Der Prozessluftventilator fördert die zu trocknende Luft in das Gerät. Nach einem Luftfilter erreicht die Luft den sich langsam drehenden Sorptionsrotor. Dieser besteht zu mehr als 82 % aus Silicagel auf einer luftdurchlässigen Glasfaser-Wabenstruktur. Das Silicagel ist aufgrund seiner extrem großen inneren Oberfläche, von bis zu 800 m² pro Gramm, sehr hygroskopisch und kann daher große Mengen an Wasser aus der Prozessluft auf der Oberfläche aufnehmen und in seiner inneren Struktur speichern. Bei der Strömung der Luft durch den Sorptionsrotor finden gleichzeitig zwei Prozesse statt: Die Prozessluft kann sehr stark entfeuchtet werden. Dabei steigt aber je nach Entfeuchtungsintensität die Lufttemperatur unter Umständen stark an. Daher ist es oft nötig, die nun entfeuchtete, aber warme Luft vor ihrer Rückführung in den Raum zu kühlen.

Damit dieser Entfeuchtungsprozess funktioniert, muss der Sorptionsrotor kontinuierlich regeneriert werden. Ihm muss also ständig die im Silicagel eingelagerte Feuchte wieder entzogen werden. Dies geschieht mit Regenerationsluft, die von der anderen Seite kommend im Gegenstrom den Sorptionsrotor durchströmt. Die Regenerationsluft wird erhitzt und die relative Luftfeuchte dadurch so weit gesenkt, dass Wasser aus dem Silicagel ausgetrieben und als Dampf in der Luft gebunden werden kann (Desorption).

Die nun feuchte Regenerationsluft verlässt den Adsorptions-Trockner und wird, gegebenenfalls nach einer ergänzenden Wärmerückgewinnung, nach außen abgeführt. Als Medien zur Beheizung der Regenerationsluft werden Heißwasser, Dampf, Gasbrenner oder elektrische Energie eingesetzt.

Überall, wo sehr geringe Feuchten bei sehr geringen Temperaturen erforderlich sind, kommen Condair Adsorptions-Trockner der Baureihe DA zum Einsatz. Der Sorptionsrotor behält seine Kapazität bei optimalen Betriebsbedingungen praktisch dauerhaft bei und ermöglicht einen sicheren Betrieb bis zu Temperaturen von -30 °C sowie das Erzielen selbst minimalster Feuchten. Neben 30 Standardausführungen mit Entfeuchtungsleistungen von 0,6 bis 182 kg/h für Prozessluftströme von 120 bis 27.000 m³/h sind die DA-Trockner auch in vielfältigen Sonderausführungen erhältlich. So können die Geräte bereits werkseitig mit Vor- und/oder Nachkühlregistern, Wärmeübertrager- oder Kondensationsmodulen ausgestattet werden. Die Steuerung aller im Adsorptions-Trockner ablaufenden Prozesse auf die Sollkonditionen der Zuluft erfolgt in Abhängigkeit von den aktuellen Betriebsbedingungen entweder über die bauseitige MSR oder optional über die im Gerät integrierte SPS.

Eine besondere Ausführung des Adsorptions-trockners ist der **DA 500-4000 Freezer**. Ergänzend zu den zuvor beschriebenen Komponenten eines Standard-Adsorptions-trockners, ist diese Geräteserie mit einem 100 mm stark gedämmten Gehäuse aus Edelstahl AISI 304 ausgestattet. Diese Technik wurde über viele Jahre entwickelt, optimiert und kritische Wärmebrücken wurden beseitigt. Auch findet eine optimale Abstimmung der einzelnen Komponenten statt (Ventilatoren / Rotor / Heizelemente), um für die jeweilige Anwendung die beste, effizienteste und wirtschaftlichste Lösung zu projektieren.

Anwendungsbeispiel: Tiefkühlager



Wenn in Kühlagern mit Innentemperaturen von oft weit unter 0 °C Feuchteprobleme auftreten, werden diese schnell sichtbar. Beim Einströmen von wärmerer, feuchterer Luft in den kalten Kühlraum kondensiert Wasser aus der Luft aus und schlägt sich dann an Böden, Decken und Wänden als Eis nieder. Besonders an den Verdampfern der Kälteanlage und im Bereich des Docks bilden sich schnell große Eisformationen, die dann aufwändig manuell entfernt werden müssen. Und wenn Verdampfer vereisen, steigt dadurch der Druckverlust gegenüber der Luft, die ständig im Umluftverfahren gekühlt werden muss. Daraus folgen geringere Luft- und Kühlleistungen, häufige Abtauzyklen und höhere Betriebskosten. Gleichzeitig steigt, insbesondere mit der Eisbildung auf dem Boden, die Gefahr, dass Personen ausrutschen und sich verletzen oder Stapler nicht mehr sicher fahren können.

Diese Probleme werden verhindert, indem die Luft im Tiefkühlager konsequent mit einem Adsorptions-Trockner entfeuchtet wird. Ein solcher Adsorptions-Trockner saugt ständig Raumluft aus dem Kühlraum an, entfeuchtet diese unter den Taupunkt und bläst dann die entfeuchtete, trockene Luft in den Raum oder idealerweise direkt an die Umluftkühler

zurück. So wird eine unerwünschte Kondensation von Wasser aus der Luft und eine Eisbildung im Lager sicher und dauerhaft verhindert. Aufgrund des meist sehr hohen Temperaturunterschieds zwischen der Außenluft und dem Kühlraum, ist es im Normalfall sinnvoll, den Adsorptions-Trockner direkt im Kühlraum aufzustellen. Dadurch vermeidet man Leistungsverluste infolge des Wärmedurchgangs vom kalten Inneren des Trockners zur warmen Außenluft. Da sich aber Probleme mit auskondensierender Feuchte im Kühlraum oft erst im späteren Betrieb einstellen und dann rasch behoben werden müssen, gibt es im Lager häufig keinen Platz mehr zur nachträglichen Installation eines Adsorptions-Trockners.

Für solche Fälle hat Condair einen DA Adsorptions-Trockner mit einer 100 mm starken Isolierung im Programm, der auch eine Installation außerhalb des Kühlraums ermöglicht. Die enorme Dämmung verhindert das Eindringen von Wärme in den im Adsorptions-Trockner ablaufenden Trocknungsprozess und gewährleistet so einen sicheren und effizienten Betrieb. Diese Art der Anwendung benötigt jedoch viel Erfahrung und muss exakt geplant und ausgeführt werden.

Anwendungsbeispiel: Prüfstand



Es ist nicht ungewöhnlich, dass bei Prüfständen für vorgegebene Messungen Temperaturen von +35 °C bis zu -20 °C eingehalten werden müssen. Unabhängig von der Temperatur muss an diese Extremzustände aber auch die Feuchtigkeit angepasst werden.

Dazu eignen sich Adsorptions-Trockner besonders, denn sie können mittels Sorptionsprinzip, über den gesamten Temperaturbereich hinweg, die Luft sicher und effizient entfeuchten.

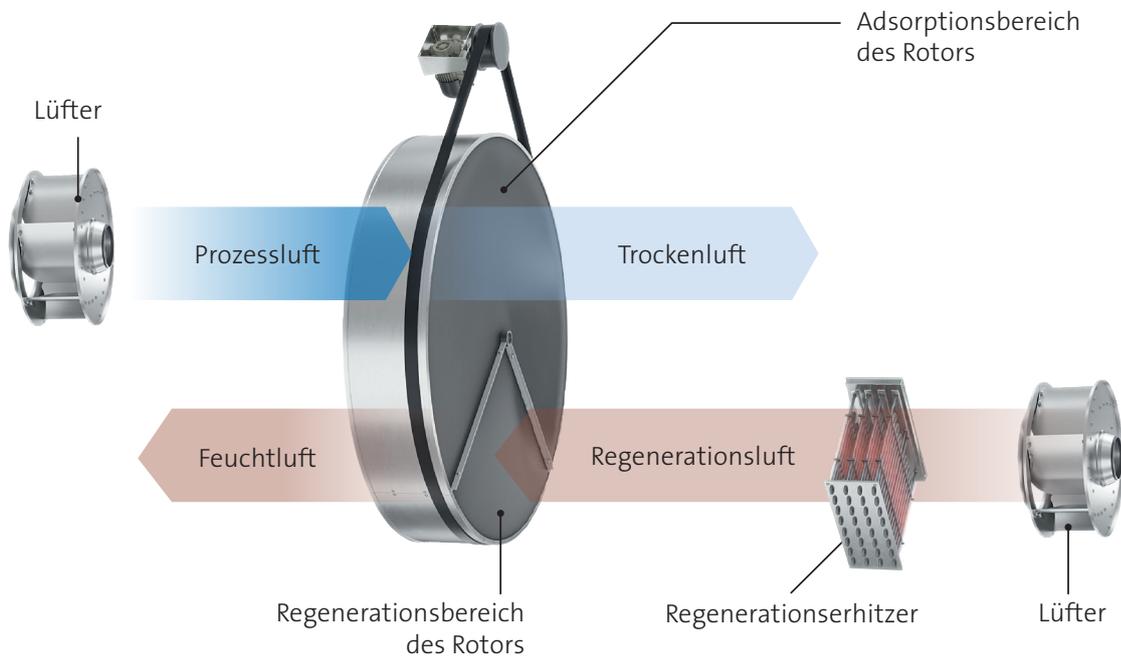
Aufgrund der sehr großen Temperaturbandbreite an Prüfständen ergibt sich folgendes Problem: Bei kühlen Prozesslufttemperaturen kühlt auch das Gehäuse des Adsorptions-Trockners stark ab und es bildet sich aus dem Kondensat der Raumluft auf dem Gehäuse zunächst Kondensat und schließlich sogar Raureif. Dies kann sich auch auf das Elektrofach und die Regenerationssektion ausbreiten. Die Vereisung als gegeben hinzunehmen und die Geräte bestenfalls mit einer Kondensatwanne auszustatten, stellt

hierbei unter professionellen Gesichtspunkten sicher keine dauerhaft akzeptable Lösung dar.

Eine Alternative ist, die kalte Luft vor dem Eintreten in den Adsorptions-Trockner vorzuwärmen, im Anschluss zu entfeuchten und im Nachgang wieder stark auf die Solltemperatur zu kühlen. Dies ist ein extrem hoher energetischer Aufwand, da nicht nur ständig die Luft zusätzlich fühlbar stark erwärmt und anschließend abgekühlt werden muss, auch das Erwärmen der Luft führt zu einem Abfallen der relativen Luftfeuchte und folglich wird auch der Entfeuchtungsprozess ineffizienter.

Denn eine niedrigere relative Feuchte [% r. F.] bei gleichbleibender absoluter Feuchte [g/kg] verlangt einen höheren Energieaufwand im Regenerationsprozess und resultiert in sehr hohen Feuchtlufttemperaturen.

Funktionsprinzip Adsorptions-Trockner



Umfassende Isolierung Condair DA Freezer

