



# PHARMAINDUSTRIE

Bedeutung der Luftfeuchtigkeit  
in Produktion und Lagerung

Luftbefeuchtung, Entfeuchtung  
und Verdunstungskühlung

 **condair**





## Notwendigkeit von Luftentfeuchtung in der Pharmaindustrie

Bei der Produktion, Verarbeitung, Verpackung und Lagerung von pharmazeutischen Produkten, die zu einem großen Teil von Menschen zur Behandlung von Krankheiten verwendet werden, ist das Einhalten von strengsten Hygienerichtlinien von entscheidender Bedeutung für eine dauerhaft höchste Produktqualität. Dabei sind für störungsfreie Produktionsprozesse neben einer guten Raumluftqualität in den Laboren, Produktions- und Verpackungsstätten und Lagern oft auch konstante, eng begrenzte Raumtemperaturen und Raumluftfeuchten sicherzustellen. Diese werden aber aufgrund von Feuchteinträgen durch warme, feuchte Außenluft sowie durch die Feuchteabgabe von Personen und Produkten ständig beeinträchtigt. Hier ergibt sich in Abhängigkeit von der Art der pharmazeutischen Produkte und deren Verarbeitung ein breites Spektrum von „hohe Raumtemperatur mit hoher Luftfeuchte“ bis zu „geringe Raumtemperatur mit geringer Luftfeuchte“.

Je kompromissloser die Unversehrtheit und Qualität von Erzeugnissen vor anderen Kriterien dominiert, umso konsequenter müssen Produktions- und Verarbeitungsparameter auf Qualität und einwandfreien Zustand abgestimmt sein: Das gilt insbesondere für die Erzeugnisse der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Eine kontrollierte Luftentfeuchtung zählt hier zu den wichtigsten Voraussetzungen, um höchste Standards dauerhaft einzuhalten.

Die positiven Auswirkungen stabiler Luftfeuchte betreffen dabei gleichermaßen Anwendungen, Prozessphasen und Qualität des Endprodukts. Dies beginnt etwa mit der Einrichtung wirksamer Entfeuchtungslösungen im Zuge der Verarbeitung, Abfüllung und Verpackung der jeweiligen

Erzeugnisse, betrifft die notwendige Trocknung von hygroskopischen Stoffen (um etwa Reaktionen mit entstehendem Kondenswasser vorzubeugen) und reicht bis zur Trocknung von Lagerräumen oder ganzer Silos, z. B. im Anschluss an eine vorangegangene Reinigung.

Ein wesentlicher Qualitätsfaktor in vielen Anwendungen ist dabei die Verarbeitung der ausgewählten Rohstoffe zu Pulvern, Tabletten, Dragees, Flüssigkeiten oder anderen Darreichungsformen. Dabei ist es vor allem wichtig, dass die Rieselfähigkeit von Schüttgütern während der Verarbeitung ständig gewährleistet bleibt. Eine zu hohe Luftfeuchte bildet hier eine ständige Gefahr, insbesondere im Zuge der Verarbeitung hygroskopischer Stoffe. Mobile oder fest installierte Entfeuchtungssysteme sorgen dafür, dass Verklumpungen oder hygroskopische Reaktionen gar nicht erst entstehen und somit der optimale Prozessfluss durchgängig erhalten bleibt.

Neben der Prozessklimatisierung bei den einzelnen Verarbeitungsschritten ist die Entfeuchtung des Lager- und Logistikbereichs eine weitere, dauerhafte Herausforderung. Auch hier muss eine konstant niedrige Luftfeuchtigkeit gewährleistet sein, damit chemische und pharmazeutische Produkte, aber auch deren Verpackungen und Etiketten, unversehrt bleiben.



# 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 bezeichnet die Enthalpie h den gesamten Wärmeinhalt der Luft, bestehend aus der Lufttemperatur und dem in der Luft vorhandenen Wasserdampf. Bei der Feuchte unterscheidet man noch die absolute Feuchte x (g Wasserdampf in der Luft pro kg Luft) und die relative Feuchte. Die relative Feuchte r. F. ( $\phi$ ) gibt an, zu wie viel Prozent die Luft gesättigt ist. Wenn es nun darum geht, für einen Prozess oder zur Sicherstellung von vorgegebenen Soll-Raumluftzuständen Luft zu entfeuchten, folgen daraus zum Beispiel folgende typische Herausforderungen:

## Beispiel 1: Produktion und Verpackung von Tabletten

Aufgabe: Entfeuchtung eines Luftvolumenstroms auf 20 °C und eine Feuchte von  $\leq 2,9$  g/kg bzw.  $\leq 20$  % r. F. für einen Verpackungsprozess in der Pharmaindustrie (blauer Verlauf im h,x-Diagramm rechts). Prozesse dieser Art erfordern häufig definierte Temperaturen und gleichzeitig sehr geringe Luftfeuchten. Es wird angenommen, dass ein Außenluftvolumenstrom mit einer Temperatur von 32 °C und einer Feuchte von 14 g/kg (47 % r. F.) (Punkt 1) auf einen Zuluftzustand von 20 °C und eine Feuchte von  $\leq 2,9$  g/kg ( $\leq 20$  % r. F.) entfeuchtet werden soll. Dazu wird ein Adsorptions-Trockner eingesetzt. Die Zustandsänderungen der Außenluft zur Zuluft folgen dem Verlauf der blauen Geraden im h,x-Diagramm.

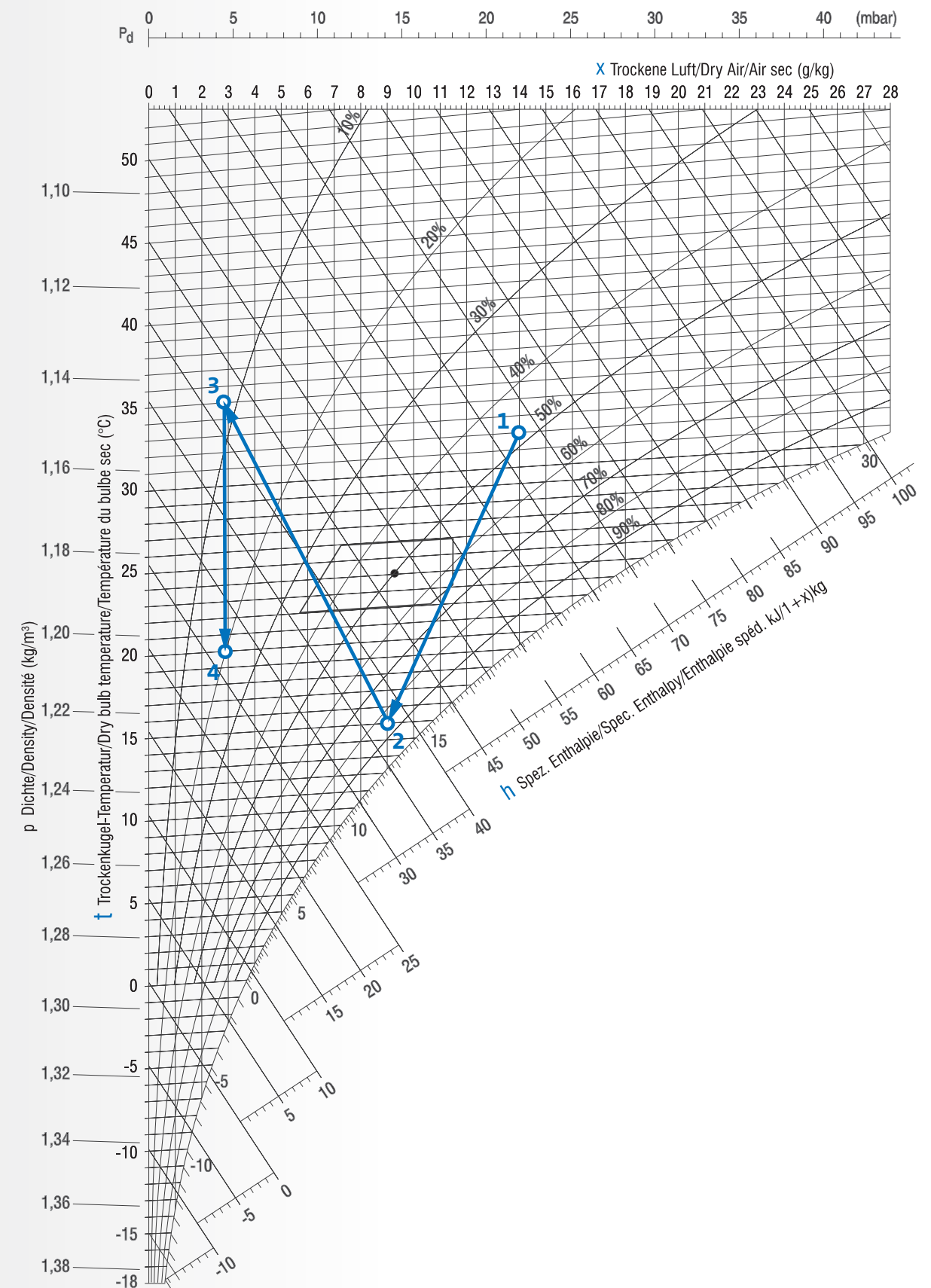
**Schritt 1** der Luftbehandlung besteht in einer Vorkühlung und Vorentfeuchtung der Luft. Bei einer angenommenen Oberflächentemperatur des Kühlregisters von 10 °C ergibt sich hier ein Luftzustand am Registeraustritt/-eintritt (Punkt 2) in den Adsorptionsrotor von 15 °C und 85 % r. F.

Im **Schritt 2** erfolgt im Adsorptions-Trockner die Trocknung der Luft auf eine Feuchte von rund  $\leq 2,9$  g/kg, wodurch die Temperatur auf etwa 35 °C ansteigt (Punkt 3). Beim letzten **Schritt 3** wird die nun trockene Luft auf die Solllufttemperatur von 20 °C nachgekühlt (Punkt 4).

## Beispiel 2: Rohstofflager für Impfstoffe

Aufgabe: Sicherstellen einer Luftfeuchte von 50 % r. F. (7,3 g/kg) bei einer Raumtemperatur von 20 °C in einem Rohstofflager für Impfstoffe (nicht im h,x-Diagramm dargestellt). Eine stetige Frischluftzufuhr durch eine Lüftungsanlage führt im Sommer zu einem definierten Feuchteeintrag, da das Lüftungsgerät die Außenluft nicht ausreichend vorentfeuchtet. Hierbei werden 2.000 m<sup>3</sup>/h vorkonditionierte Außenluft mit einer Feuchte von 10,2 g/kg in den Raum geführt. Dies entspricht einer Feuchtelast von 6,96 kg/h (= 2.000 m<sup>3</sup>/h \* 1,2 kg/m<sup>3</sup> \* (10,2 - 7,3) g/kg / 1.000 g/kg). Zur ständigen Entfeuchtung der Raumluft wird ein Kondensationsluftentfeuchter mit einem Luftvolumenstrom von 4.200 m<sup>3</sup>/h dezentral im Raum installiert. Dieser saugt die Luft mit 7,3 g/kg im Raum an und entfeuchtet diese auf eine Feuchte von 5,6 g/kg. Dies entspricht einer Entfeuchtungsleistung von 7,3 kg/h und kompensiert den Feuchteeintrag durch den Frischlufteintrag.

Nach diesen kurzen theoretischen Grundlagen folgen auf den nächsten Seiten weitere Beispiele für die Lufttrocknung in der Pharmaindustrie. Vertiefende Informationen zu typischen Einsatzbereichen, technischen Arbeitsweisen und Eigenschaften von Kondensations- und Adsorptions-Trocknern lesen Sie auf den Seiten 10 bis 11.



# Hygroskopische Rohstoffe schützen, Wirkstoffe erhalten

Schon geringfügige Abweichungen von der jeweils „idealen“ Rohstofffeuchte können sich auf die spezifischen Eigenschaften der dabei eingesetzten Materialien sowie auf den gesamten Kontext der Produktionsprozesse auswirken, innerhalb der sie verarbeitet werden. Gerade in der Weiterverarbeitung, in der vorausgehenden und folgenden Lagerung kann eine zu hohe Feuchtigkeit im Raum die angestrebte Wirksamkeit der Rohstoffe im Prozess reduzieren oder auch die Förder- und Transportwege im Zuge ihrer Verarbeitung etwa durch Verklumpungen beeinträchtigen. Die Folge davon ist, dass das gewünschte Endprodukt nicht oder nicht ohne Qualitätseinbußen hergestellt werden kann. Die Bestimmung der optimalen Raumluftfeuchte im Zuge chemischer oder pharmazeutischer Verarbeitungsprozesse steht in direkter Abhängigkeit vom Gesamtprozess. Häufig geht es dabei um „physikalische“ Beeinträchtigungen. So muss etwa das spezielle Riesel- und Schüttverhalten von Pulvern oder Granulaten während der Produktion auf einem konstanten, verarbeitungsgauglichen Level gehalten werden. Dies gilt insbesondere für hygroskopische Materialien wie beispielsweise Kochsalz, Natrium- oder Kaliumhydroxide, Nitrate, Sulfate, Phosphate oder auch eine ganze Reihe spezifischer Pharmawirkstoffe.

Ebenso negativ kann sich eine Kondensatbildung an Pulvern auswirken, die zu Lacken weiterverarbeitet werden, oder auch bei chemischen Kunststoffen, die in der Lage sind, ein Mehrfaches ihres Eigengewichts an Flüssigkeit aufzunehmen und – entsprechend überdimensioniert – eine Weiterverarbeitung „blockieren“ oder zu unbrauchbaren Endprodukten führen.

Eine präzise auf die jeweiligen Anwendungsparameter eingestellte Reduzierung der Luftfeuchte in industriellen chemischen oder pharmazeutischen Verarbeitungsprozessen ist daher eine absolute Notwendigkeit!

**Damit Schüttgut rieselfähig bleibt**  
Starke Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit oder eine generell zu hohe Feuchtigkeit in der Produktionsumgebung von Schüttgütern können die Rieselfähigkeit der zu befördernden Stoffe massiv beeinträchtigen oder sogar gänzlich zunichtemachen. Die gilt insbesondere für Materialien in Granulatform oder solche mit pulvriger Konsistenz. Damit hygroskopisches Schüttgut nicht an den Bändern oder Pressen verklebt oder durch Klumpenbildung Förderwege verstopft, muss die Umgebungsluft in der chemischen oder pharmazeutischen Industrie auf jeweils produkt- und verfahrensspezifische Konditionen vorentfeuchtet sein. Mit modernen, auf hohem technologischen Niveau ausgestatteten Adsorptions-Trocknern gelingt das zuverlässig. Eine vorentfeuchtete Umgebungsluft sorgt dafür, dass die Rieselfähigkeit der Rohstoffe von der Erstlagerung in den Silos über den Transport auf den Förderbändern bis zur Endlagerung erhalten bleibt. So kann die Weiterverarbeitungsqualität erhalten bleiben und mögliche Kosten für die Anlagenreinigung gespart werden.



# Vollisolierter Adsorptions-Trockner für Kühllager

Wenn in Kühllagern für pharmazeutische Produkte 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 der Schleuse zum oder dem Kühllager selbst an, entfeuchtet diese unter den Taupunkt und bläst dann die entfeuchtete, trockene Luft in den Raum, idealerweise in eine Luftschleieranlage oder direkt an die Umluftkühler zurück.



Vollisierte Ausführung ermöglicht Außenaufstellung  
Condair DA 500-4000 Freezer

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 Kühllager 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.

# Hygienische Produktionsbedingungen

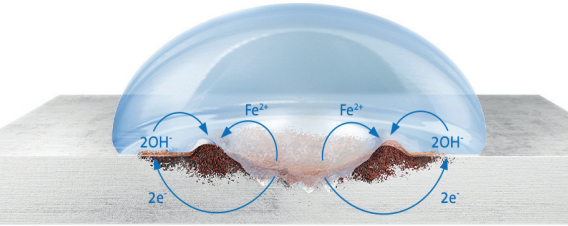
**Kondensatkontamination**  
Eine präzise, anwendungsoptimierte Luftentfeuchtung spielt zur Einhaltung hoher Hygienestandards, wie sie in der pharmazeutischen und chemischen Industrie gefordert sind, eine maßgebliche Rolle. Tendenziell müssen bei der Herstellung von oft schnell verderblichen Produkten die Raumtemperaturen in den Produktions-, Labor- oder Lagerräumen eher auf niedrigem Niveau gehalten werden. Dringt dann, etwa durch die (notwendige) Öffnung der Raumzugänge, wärmere Luft in den Raum ein, kann sich die damit gleichzeitig eindringende Feuchtigkeit schnell als Kondensat an Decken, Wänden oder an den Oberflächen der Geräte und Einrichtungsgegenstände absetzen. An den Stellen, wo sich dauerhaft Feuchtigkeit niederschlägt, wird der Boden für die Bildung von Mikroorganismen wie Pilzen und Bakterien bereitet. Ähnlich negativ wirkt sich die kondensierende feuchte Luft vorwiegend an den metallischen Bestandteilen von Geräten oder Einrichtungsgegenständen aus. Dies begünstigt die Entstehung von Korrosionsschäden, birgt Gefahren der Kontamination durch Kondenswasser und erschwert so das Einhalten der geforderten Hygienebestimmungen.

**Wie Korrosion entsteht**  
Bei ausreichend trockener Luft kann Eisen nicht rosten. Wenn sich jedoch Feuchtigkeit am Metall absetzt, beginnen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) zu Hydroxidionen (OH<sup>-</sup>) zu reagieren. Um die für diese Reaktion benötigten Elektronen auszugleichen, oxidiert das Eisen. Das heißt, es gibt seine Elektronen ab, die dann vom Sauerstoff aufgenommen werden. Bei diesem Prozess entsteht Eisenoxid, also Rost. Dort, wo Elektronen entzogen wurden, entsteht ein Elektronenmangel und es lösen sich positiv geladene Eisen-Atome (Fe<sup>2+</sup>). Diese wandern in den Wassertropfen und verbinden sich dort mit den negativ geladenen Hydroxidionen (OH<sup>-</sup>). Im ersten Schritt entsteht dann durch unterschiedliche Ladungen Eisen(II)-Hydroxid.

Weitere Reaktionen mit Wasser, Sauerstoff und Hydroxidionen führen zu immer weiterlaufenden Reaktionen, aus denen Eisen(III)-Oxid und Eisen(III)-Hydroxid entstehen. Diese setzen sich auf der Metalloberfläche ab und geben dem Rost sein typisches Erscheinungsbild. Anders als bei Metallen wie Aluminium wird der Prozess erst dann gestoppt, wenn kein Eisen mehr vorhanden ist.

**Korrosionsschäden**  
An den oft sehr großen Oberflächen von mit kaltem Wasser durchflossenen Rohrleitungen und Armaturen setzt sich schnell Kondenswasser ab – umso mehr, je niedriger die Temperaturen an diesen Oberflächen sind. Die Folgen davon können weitreichend und in der Konsequenz kostspielig sein. Durch eine dauernde Einwirkung von Feuchtigkeit setzt an den betroffenen Stellen mit der Zeit Rost an. Schlimmer noch: Je nachdem, wo sich die Leitungssysteme befinden, kann das kondensierte Wasser auch in sich darunter befindende Produktions- oder Lagerbehälter gelangen und dort, je nach Funktion der Anlagenelemente im Produktionsprozess, erhebliche Schäden anrichten.

Der Einsatz von Luftentfeuchtungssystemen auf Basis von Adsorptions- oder Kondensationstechnologien beugt Kondensation, Korrosion und Schimmelbildung vor und verhindert so dauerhafte Schädigungen der Produkte und Produktionsanlagen.



# Verbesserung von Fertigungs-Qualität und -Konsistenz

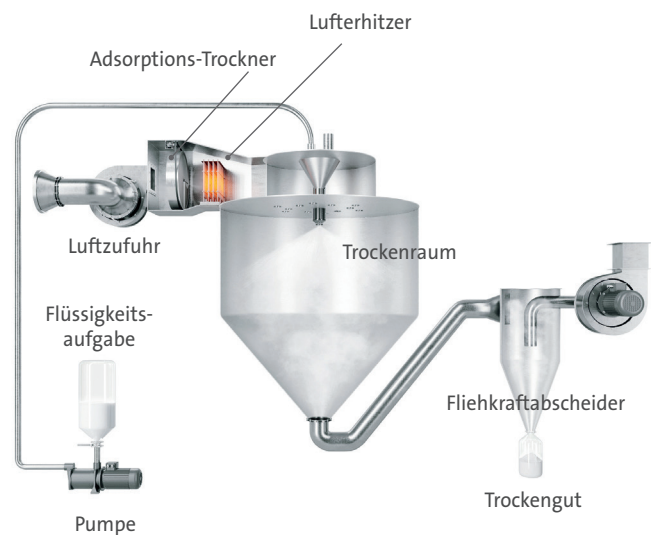
## **Sprühtrocknung zur Herstellung von pulverförmigen Pharmaprodukten**

In vielen Bereichen der Pharmawirtschaft und in der Chemie werden Produkte in industriellen Prozessen zu Pulvern verarbeitet. Diese kommen dann als fertige Waren in den Handel oder werden als Grundsubstanzen zur Herstellung weiterer Produkte verwendet, zu Beispiel zu Tabletten, Dragees oder zu medizinischen Pulvern.

Für die Herstellung solcher Pulver in hoher Qualität, spielt der Prozess der Sprühtrocknung seit vielen Jahrzehnten eine wichtige Rolle. Er ist sehr effizient, produktschonend und eignet sich auch zur kontinuierlichen Produktion größerer Pulvermengen, zum Beispiel aus Lösungen oder Suspensionen. Das Verfahren der Sprühtrocknung basiert auf einer massiven Oberflächenvergrößerung der eingesetzten Grundsubstanz, aus der ein Pulver gewonnen werden soll. Im ersten Schritt wird eine zuvor oft eingedampfte Flüssigkeit in sehr feine Tröpfchen zerstäubt, wodurch sich deren Oberfläche um den Faktor 1.000 vergrößert. Gleichzeitig wird im Schritt zwei in diesen Prozess Luft eingebracht, die zuvor gefiltert, erhitzt und getrocknet wurde. Je heißer und trockener diese zugeführte Prozessluft ist, umso höher ist die Trocknungsgeschwindigkeit.

Der Luftstrom entzieht dann den nun feinen zerstäubten Tröpfchen in sehr kurzer Zeit komplett das Wasser, bindet dieses als Dampf und führt diesen aus dem Prozess ab. Bei der Aufnahme des Wassers wird die Prozessluft befeuchtet und kühlt dadurch ab. Im letzten Schritt wird die nun pulverförmige Endsubstanz in einem Zyklonabscheider vom Luftstrom getrennt und kann nun weiterverwendet werden.

Neben der pharmazeutischen und chemischen Industrie wird dieses Verfahren häufig auch in der Lebensmittelwirtschaft eingesetzt.



Für den Prozess der Sprühtrocknung eignet sich der Einsatz von Adsorptionstrocknern in idealer Weise. Beim Adsorptionstrocknungsprozess wird nicht nur die Luftfeuchtigkeit der Prozessluft verringert, darüber hinaus erwärmt sich auch die Luft. Diese Erwärmung kommt dem Sprühtrocknungsprozess zugute, denn die Erwärmung der Heißluft benötigt große Mengen an Energie. Dadurch verbessern sich die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit der Sprühtrocknung erheblich.



# Die Wahl der richtigen Luftentfeuchtungs-Technik

Wie in der Broschüre gezeigt wurde, sind in der Luftentfeuchtung unterschiedliche Herausforderungen zu bewältigen. In Abhängigkeit von der Art der Produktion, der Weiterverarbeitung und der Lagerung der Wirk- und Rohstoffe reicht das Spektrum von „hoher Temperatur mit geringer Luftfeuchte“ bis zu „geringer Temperatur mit geringer Feuchte“.

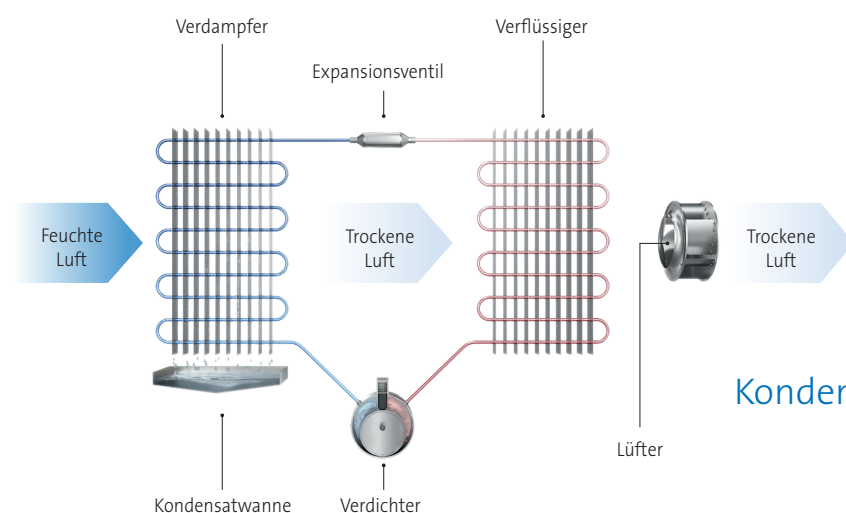
Eine Möglichkeit zur Luftentfeuchtung besteht im Betrieb von Lüftungsgeräten mit integrierten Wasserkühlern. Dabei wird die ins Lüftungsgerät angesaugte Außenluft im Kühler stark abgekühlt, dadurch entfeuchtet und anschließend in den Raum eingebracht. Diese Art der Entfeuchtung reicht bei schwülwarmem Wetter aber häufig nur aus, um Spitzen abzufangen. Darüber hinaus entsprechen die dabei unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erreichbaren Feuchtwerte oft nicht den benötigten Sollkonditionen und müssen zusätzliche noch (nach-)entfeuchtet werden. Um die Betriebskosten zur Luftentfeuchtung signifikant zu verringern, werden meist Sekundärluft-Entfeuchtungsgeräte eingesetzt. Diese entfeuchten entweder einen benötigten Teilluftvolumenstrom oder werden direkt im Raum aufgestellt. Dort saugen sie ständig Raumluft an, die gefiltert, entfeuchtet und dann als trockene Zuluft zurück in den Raum ausgeblasen wird. Beide Arten der Entfeuchtung haben Vor- und Nachteile und müssen bei jeder Anwendung geprüft und evaluiert werden. Bei der direkten Aufstellung

im Raum muss neben der internen Feuchtelast auch die externe Feuchtelast, z. B. der mechanischen Lüftung im Sommer, berücksichtigt werden. Die dazu eingesetzten Entfeuchtungsgeräte gibt es als Kondensations-Luftentfeuchter und als Adsorptions-Trockner.

## Kondensations-Luftentfeuchter

sind betriebsfertige Geräte für Standard-Entfeuchtungsprozesse, bei denen eine relative Luftfeuchte bis zu 40 % r. F. bei einer Raumtemperatur von etwa 5 bis 35 °C eingehalten werden soll.

Die Geräte enthalten eine Kältemaschine mit Verdichter, Verdampfer und Verflüssiger. Wie die untere Abbildung zeigt, saugt der Ventilator feuchte Raumluft ins Gerät, filtert diese und führt sie anschließend durch den Verdampfer. In diesem strömt flüssiges Kältemittel, das der Luft Wärme entzieht und dabei verdampft. Dadurch wird die Luft so stark abgekühlt, dass deren Taupunkt unterschritten wird und Wasser aus der Luft kondensiert. Je niedriger die Temperatur im Verdampfer ist, umso mehr Wasser wird als Kondensat aus der Luft ausgeschieden. Das Wasser wird in einer Kondensatwanne gesammelt und in den Abfluss abgeleitet. Anschließend strömt die nun entfeuchtete, aber kühle Luft durch den Verflüssiger der Kältemaschine. Dort wird sie von der Kondensationswärme erwärmt und strömt als entfeuchtete Zuluft zurück in den Raum. Durch die Kontinuität dieses Prozesses wird die Raumluft ständig auf den gewünschten Sollwert entfeuchtet.



Funktionsprinzip  
Kondensationsentfeuchtung

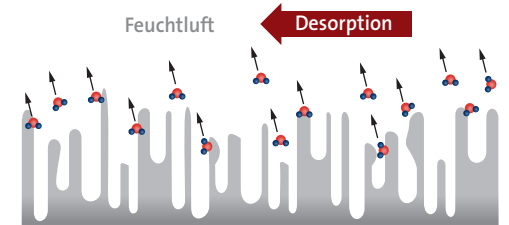
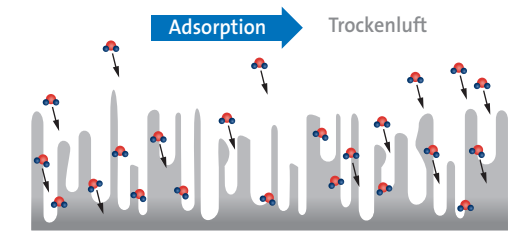
## Adsorptions-Trockner

werden eingesetzt, wenn eine geringe Feuchte unter etwa 10 % r. F. bei oft auch sehr niedrigen Temperaturen erzeugt werden soll. Da hierfür die Entfeuchtung von Luft durch eine extreme Unterschreitung des Taupunkts wie bei einem Kondensations-Luftentfeuchter zu aufwändig und zu energieintensiv wäre, werden bei der Adsorptionstrocknung die Eigenschaften von Silicagelen genutzt.

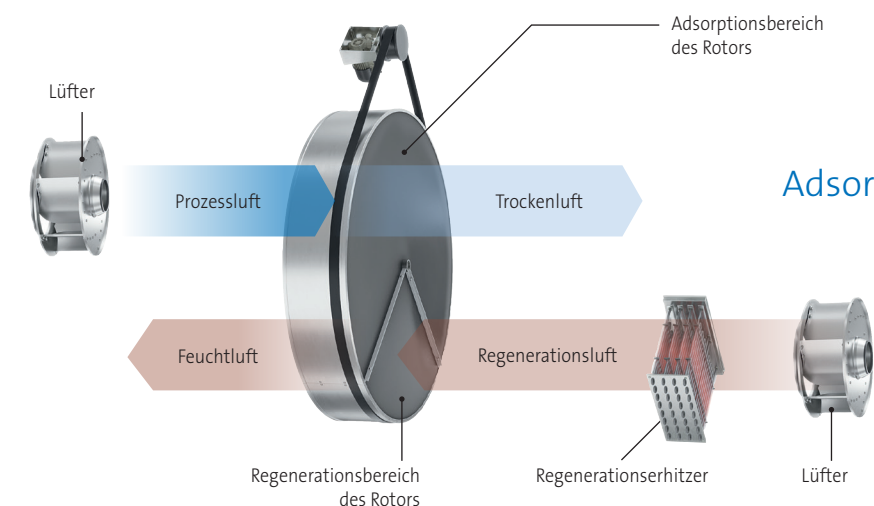
Ein Adsorptions-Trockner besteht aus einem Rotationswärmeübertrager, Luftfiltern, zwei Ventilatoren zur Förderung der Prozessluft und der Regenerationsluft, einem Erhitzer zur Erwärmung der Regenerationsluft und der zugehörigen Regelung (siehe Abbildung unten).

Der Prozessluftventilator fördert die zu trocknende Luft in das Gerät. Nach einem Luftfilter erreicht die Luft den sich langsam drehenden Sorptionsrotor. Dieser besteht über 82 % aus Silicagel auf einer luftdurchlässigen Glasfaser-Wabenstruktur. Das Silicagel ist aufgrund seiner extrem großen inneren Oberfläche von bis zu 800 m<sup>2</sup> 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 der 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 dadurch auf eine so minimale Feuchte getrocknet, die ausreicht, damit das 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, zur Außenluft ausgeblasen. Als Medien zur Beheizung der Regenerationsluft werden Heißwasser, Dampf, Gasbrenner oder elektrische Energie eingesetzt.



Funktionsprinzip  
Adsorptionstrocknung

# Kondensations-Luftentfeuchter Serie Condair DC

Condair Industrie-Kondensationsluftentfeuchter der Baureihe DC kommen in vielfältigen Anwendungen in der Industrie, im Gewerbe und in Lagern zum Einsatz. Der Prozess der Luftentfeuchtung basiert auf einem Kälteprozess. Dabei wird von der Kältemaschine eine niedrige Temperatur erzeugt, durch die der Wasserdampf aus der Luft kondensiert und die Luft somit entfeuchtet wird. Solche Entfeuchter eignen sich besonders zur Sicherstellung von Feuchten zwischen etwa 40 bis 60 % r. F. Die Condair Kondensations-Luftentfeuchter sind vielfältig und kundenspezifisch konfigurierbar. Bereits die zehn Standardausführungen decken mit Entfeuchtungsleistungen von 75 bis 930 l/24 h bei Luftvolumenströmen von 800 bis 8.500 m³/h ein breites Einsatzspektrum ab. Eine freistehende Montage oder der mobile Einsatz sind ebenso

möglich wie der Anschluss an ein Luftleitungsnetz zur optimalen Verteilung der getrockneten Luft im Raum. Dadurch kann auch die Feuchte in sehr großen Objekten mit nur einem oder wenigen Geräten reguliert werden. Hinzu kommen Geräteausführungen und Baureihen zur Wand-, Hinterwand- und zur Deckenmontage sowie mit externer Wärmeabfuhr und für niedrige Temperaturen. Für den Einsatz in temperatursensiblen Bereichen eignen sich Sonderausführungen mit Außenkondensatoren. Hierbei wird die Kondensationswärme der Luftentfeuchter über einen externen Verflüssiger abgeführt, wodurch Schwankungen der Raumtemperatur, die durch den Betrieb des Entfeuchters entstehen können, ausgeschlossen werden. Die Regelung aller DC-Luftentfeuchter auf den Sollbetrieb erfolgt vollautomatisch über Mikroprozessoren.

# Adsorptions-Trockner Serie Condair DA

Überall, wo sehr geringe Feuchten erforderlich sind, zum Beispiel in industriellen Trocknungsprozessen oder bei Prozessen mit sehr geringen Temperaturen, kommen Condair-Adsorptions-Trockner der Baureihe DA zum Einsatz. Der mit Silicagel beschichtete Sorptionsrotor baut bei optimalen Betriebsbedingungen praktisch kaum ab und ermöglicht einen sicheren Betrieb bis zu Temperaturen von -30 °C und das Erzielen auch minimalster Feuchten. Das als Trocknungsmedium eingesetzte Silicagel ist nicht lungengängig und nicht brennbar.

ausgestattet werden. Besonders die oft notwendige Nachkühlung der getrockneten, aber dadurch erwärmten Prozessluft sollte frühzeitig bei der Anlagenplanung berücksichtigt werden. Neben der Auswahl unterschiedlicher Regenerationsverfahren besteht auch die Möglichkeit zur Nutzung bereits vorhandener Medien wie Dampf oder Heißwasser. Deren Kombination mit dem im Gerät integrierten elektrischen Regenerationserhitzer ermöglicht besonders bei größeren Anlagen erhebliche Einsparungen an Betriebskosten.

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 verbaute SPS.

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 vielen Sonderausführungen erhältlich. So können die Geräte bereits werkseitig mit Vor- und/oder Nachkühlregistern, Wärmeübertrager- oder Kondensationsmodulen



**Condair DC 50 - 200 W**  
Kondensations-Luftentfeuchter zur Wandmontage

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
49 – 190 l/Tag



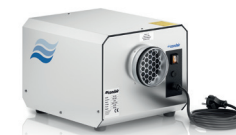
**Condair DC 50 - 200 R**  
Kondensations-Luftentfeuchter zur Hinterwandmontage

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
49 – 190 l/Tag



**Condair DC 50 - 200 C**  
Kondensations-Luftentfeuchter zur Deckenmontage

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
49 – 190 l/Tag



**Condair DA 160 - 440**  
Kompakte und effiziente Adsorptions-Trockner in einem widerstandsfähigen Edelstahlgehäuse. Zur Anwendung in kleineren Räumen, wie z. B. Laboratorien, Kellern und Archiven.

Nominale Trocknungsleistung\*\*  
0,6 – 1,4 kg/h.



**Condair DA 210 - 450**  
Leistungsstarke, aber dennoch kompakte Adsorptions-Trockner zum Einsatz in Gewerbe und Industrie. Robuste und servicefreundliche Konstruktion in einem AISI304 Edelstahlgehäuse.

Nominale Trocknungsleistung\*\*  
0,6 – 2,2 kg/h.



**Condair DA 500 - 9400**  
Vielfältig kundenspezifisch konfigurierbarer Adsorptions-Trockner, insbesondere zum Einsatz im Produktionsbereich und in großen Räumen.

Nominale Trocknungsleistung\*\*  
3,3 – 54 kg/h.



**Condair DC 75 - 100**  
Leistungsstarker Kompakt-Kondensations-Luftentfeuchter

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
73,0 – 95,2 l/Tag



**Condair DC - N**  
Kondensations-Luftentfeuchter mit externer Wärmeabfuhr

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
263,1 – 939,3 l/Tag



**Condair DC - LT**  
Kondensations-Luftentfeuchter für niedrige Temperaturen

Nominale Entfeuchtungsleistung\*  
263,1 – 939,3 l/Tag

\*\*bei 20 °C - 60 % r. F.

\*bei 30 °C - 80 % r. F.

Regionalcenter **Süd**

Parkring 3

D-85748 Garching

Tel. +49 (0) 89 / 20 70 08-0

Fax +49 (0) 89 / 20 70 08-140

Regionalcenter **Südwest**

Zettachring 6

D-70567 Stuttgart

Tel. +49 (0) 711 / 25 29 70-0

Fax: +49 (0) 711 / 25 29 70-40

Regionalcenter **Mitte**

Nordendstrasse 2

D-64546 Mörfelden-Walldorf

Tel. +49 (0) 61 05 / 963 88-0

Fax +49 (0) 61 05 / 963 88-40

Regionalcenter **West**

Werftstraße 25

D-40549 Düsseldorf

Tel. +49 (0) 211 / 54 20 35-0

Fax +49 (0) 211 / 54 20 35-60

Regionalcenter **Nord**

Lüneburger Straße 4

D-30880 Laatzen - Rethen

Tel. +49 (0) 5102 / 79 59 8-0

Fax +49 (0) 5102 / 79 59 8-40

Regionalcenter **Ost**

Chausseestraße 88

D-10115 Berlin

Tel. +49 (0) 30 / 921 03 44 -0

Fax +49 (0) 30 / 921 03 44-40

Condair **Österreich**

Perfektastraße 45

A-1230 Wien

Tel. +43 (0) 1 / 60 33 111-0

Fax +43 (0) 1 / 60 33 111 399