

ELEKTROINDUSTRIE

Bedeutung der Luftfeuchtigkeit
in Produktion und Lagerung

Luftbefeuchtung, Entfeuchtung
und Verdunstungskühlung

 **condair**



Notwendigkeit von Luftentfeuchtung in der Elektroindustrie

Die Lagerung von elektronischen Komponenten und Endprodukten ist ein anspruchsvoller, weil in seinen individuell unterschiedlichen Abläufen sehr sensibler „Prozess“.

Die besondere Empfindlichkeit ergibt sich besonders dann, wenn grosse Mengen von Elektronikkomponenten über oft lange Zeiträume gelagert werden. Denn mit der Lagerzeit steigt die Gefahr, dass diese auch bei geringfügig ungünstigen Lagerverhältnissen zu Schaden kommen und dadurch für die spätere Nutzung unbrauchbar werden.

Zur Vermeidung solcher Schäden an empfindlichen Leiterplatten und Bauteilen ist das Unterbringen in Feuchtigkeitsbeutel oder herkömmliches Backen zwar ein bewährtes, aber auch sehr aufwändiges und teures Verfahren. Eine entsprechend individuell angepasste, präzise gesteuerte Luftentfeuchtung gehört daher zu den Faktoren, die für die sichere und erfolgreiche Lagerung der Komponenten von erheblicher Bedeutung sind und die Unternehmen vor kostspieligen Schäden bewahren können.

Eine nicht ständig kontrollierte und nicht ausreichend geringe Luftfeuchte kann zum Beispiel folgende Probleme verursachen:

Die Gefahr einer Schädigung und Oxidation der gelagerten Materialien setzt bei einem Anteil von etwa 50 % relativer Luftfeuchtigkeit (r.F.) ein. Von da an steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Sauerstoff und Kondensat in der Luft in Verbindung mit den Materialien reagieren – und damit auch die Gefahr, dass die Materialqualität der Bauteile und möglicherweise deren Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt werden. Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit in Räumen, wo elektronische Teile gelagert werden, steigt gleichzeitig auch die Gefahr der Diffusion:

Das hygroskopische Material der Elektronikteile zieht Kondensatwasser an und verbindet sich damit. Auch hier können Material und Funktionalität entscheidenden Schaden nehmen.

Die Kontrolle und Steuerung der Luftfeuchte sind daher für eine erfolgreiche Lagerung von Elektronikbauteilen unabdingbar:

Umso wichtiger ist es hier für die Betreiber, auf Lösungen zurückgreifen können, auf die sie sich hundertprozentig verlassen können!

Praxisbeispiel: Trockenlagerung für elektronische Bauteile

Um die Lagerkapazität zu erhöhen und um dezentrale Trockenschränke zu vereinen, hat ein produzierendes Industrieunternehmen sich entschlossen, ein neues, ehestöckiges Lagersystem zu erstellen. Die dort gelagerten oberflächenmontierten Elektronikkomponenten (SMD) unterliegen einem Feuchtigkeitsempfindlichkeitsschwellwert (MSL) und müssen daher dauerhaft in einer Umgebung gelagert werden, in der die Luft eine relative Feuchte $\leq 5\%$ bei einer Temperatur von etwa 15 °C aufweist.

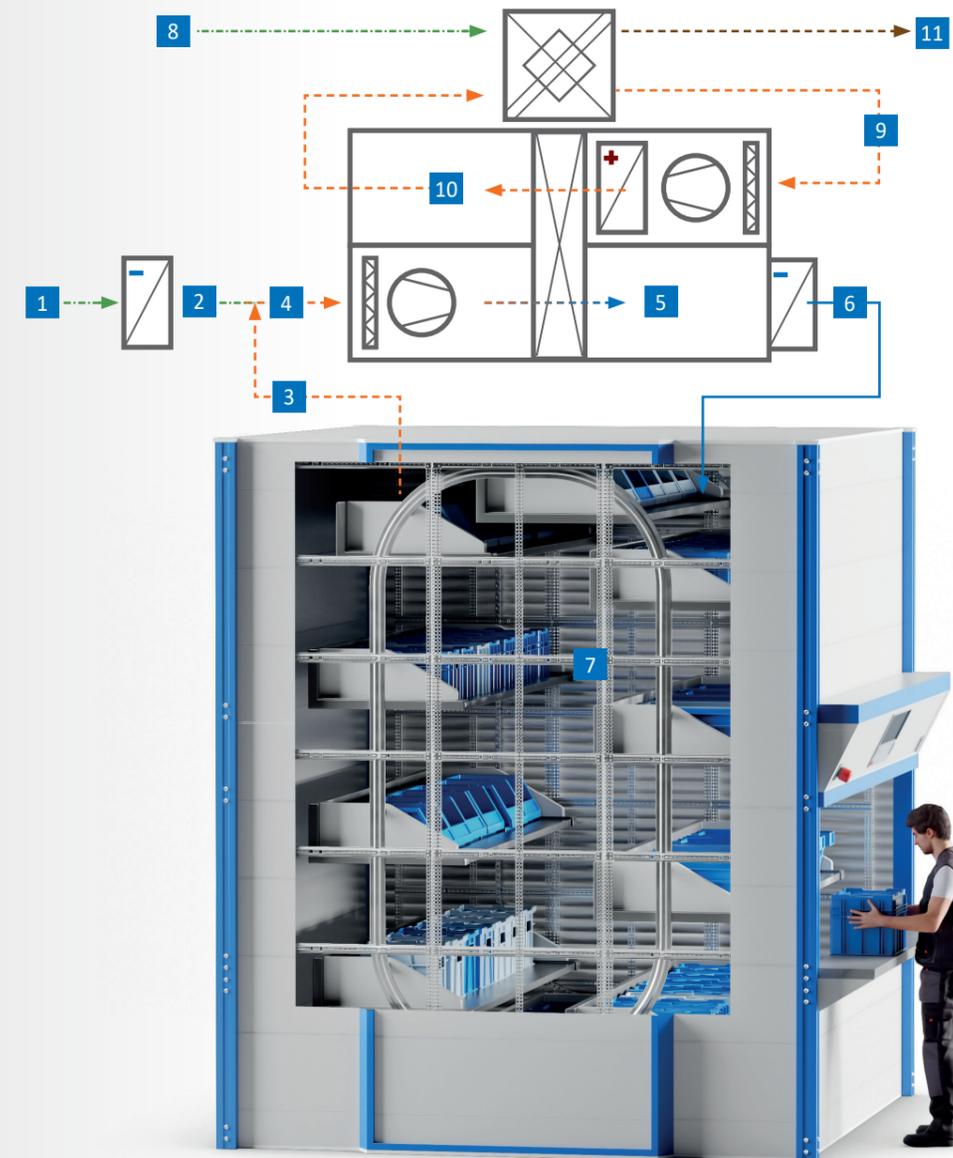
Aufgrund dieser sehr geringen geforderten relativen Luftfeuchte ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Umgebung im Lagerraum, besonders in Sommermonaten. In dieser Zeit weist die warme Luft die höchste Menge an Feuchtigkeit auf. Die grössten Feuchtelasten bei der Lagerung ergeben sich durch die bis zu 250 Zugriffsprozesse pro Tag in den Lagerraum und durch die ständige Aussenluftbeimischung, mit der im Raum ein leichter Überdruck erzeugt wird, um Infiltrationen entgegenzuwirken.

In dem 70 m^3 grossen Lagerraum hat der zur Lufttrocknung eingesetzte Adsorptions-Trockner eine gesamte Luftleistung von $1.400\text{ m}^3/\text{h}$. Zur Umluft (Lagerabluft) mit $1.260\text{ m}^3/\text{h}$ wird ständig 10% Aussenluft zugemischt. Dabei wird der Aussenluftanteil von 35 °C und 45% r. F. auf 12 °C und nahezu 100% r. F. vorgekühlt und vortrocknet. Dieser Prozess zur Vorbehandlung der Aussenluft fängt starke Sommerfeuchtespitzen ab und ist energetisch effizienter über mechanische Kälte zu bewerkstelligen als über die Sorption des Adsorptions-Trockners.

Durch die Mischung von Umluft und Aussenluft ergibt sich ein Luftstrom mit $14,7\text{ °C}$ Temperatur und 16% r. F. Dieser strömt in den Adsorptions-Trockner ein und erreicht an dessen Austritt eine Temperatur von 26 °C und eine absolute Feuchte von $0,255\text{ g/kg}$. Dies entspricht einem negativen Trockentaupunkt von -29 °C . Die nun getrocknete Luft wird im Anschluss vor dem Einbringen in das Lager in einem Nachkühler auf die Solltemperatur von $+15\text{ °C}$ gekühlt.

Der Adsorptions-Trockner wird dabei kontinuierlich geregelt angesteuert, denn die Feuchtelasten schwanken je nach Frequentierung der Zugriffe und dem Feuchtegehalt der Umgebung sehr stark. Im Lagersystem befinden sich mehrere Sensoren, die nach dem Maximalwert ausgewertet werden und die Leistung des Adsorptions-Trockners bestimmen und anpassen. Auch hat die Aussenluftfeuchte und-temperatur, welche einen Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher durchströmt, einen direkten Einfluss auf den Regenerationsprozess. Dieser benötigt weniger Energie, je geringer der Feuchtegehalt der angesaugten Aussenluft ist.

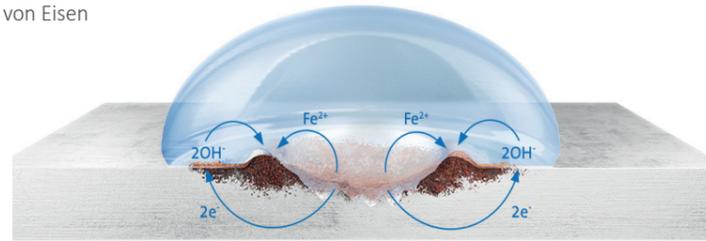
Das nebenstehende Schema verdeutlicht das Anlagenkonzept des vorgenannten Praxis-beispiels, entsprechende Luftmengen und Konditionen wurden in der Tabelle übersichtlich zusammengefasst.



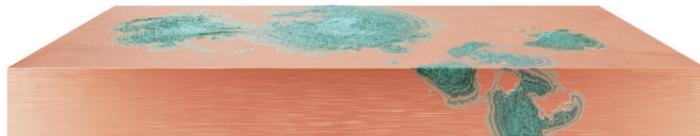
Datenpunkt	Luftvolumenstrom [m ³ /h]	Temperatur [°C]	Relative Feuchte [% r. F.]	Absolute Feuchte [g/kg]	
1	Aussenluftanteil ODA	140	35	45	16
2	Vorgekühlte ODA	140	12	95	8,7
3	Lagerraum Umluft RCA	1.260	15	8,6	0,9
4	Mischpunkt RCA & ODA	140 + 1.260	14,7	15,7	1,69
5	Trocknungsprozess	1.400	26	1	0,255
6	Nachkühlung Zuluft SUP	1.400	15	2	0,255
7	Raumluft IDA	1.400	15	≤ 5	$\leq 0,5$
8	ODA für Regeneration	400	35	45	16
9	Regenerationsluft Ein WRG	400	60	13	16
10	Feuchtluft Aus vor WRG	400	90	4	21,1
11	Feuchte Fortluft nach WRG	400	58	18	21,1

Hier ist Feuchte unerwünscht

Oxidation von Eisen



Oxidation von Kupfer



Im Vergleich zum Beispiel zu Eisen ist Kupfer deutlich weniger anfällig gegen eine Rostbildung. Bei Kontakt mit Wasser oder bei hohen Luftfeuchten kann es zwar auch bei Kupfer zur Korrosion kommen, doch diese stoppt meist sehr rasch.

Es entsteht eine geschlossene Oxidschicht – die grün-schwarze Patina, die das darunter befindliche Kupfer vor weiterer Korrosion schützt. Dadurch wird aber die weitere Verwendung und Verarbeitung von Kupfer zu hochwertigen Elektronikkomponenten verhindert bzw. stark behindert.

Andererseits sind weitere Materialien wie Kunststoffe, Kleber, Lötstoffe und Isolierungen, die bei der Herstellung von elektrischen und elektronischen Baugruppen

eingesetzt werden, teils deutlich empfindlicher gegenüber einer zu hohen Feuchte und können durch Oxidation und Diffusion irreparable Schäden an den fertigen Baugruppen verursachen.

Diese negativen Effekte treten weniger beim direkten Produktionsprozess auf, können sich aber bei der oft sehr langen Lagerung der Roh- und Fertigprodukte einstellen.

Einfluss der Luftfeuchte auf das Lötresultat

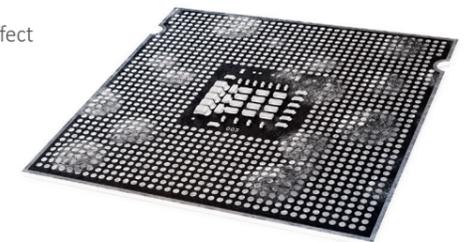
Das Reflow-Löten von SMD Halbleiterkomponenten, die ein (zu) hohes Mass an Feuchtigkeit aufgenommen haben, kann dort zu Fehl- und Rissstellen sowie zu Ablösungen der damit verbundenen Materialien führen.

Mit steigender Temperaturbelastung beim Lötprozess steigt auch die Wahrscheinlichkeit von Delamination. Diese wurde durch das Verbot von bleihaltigem Lötzinn und die damit verbundene Notwendigkeit, mit höheren Temperaturen von über 250 °C zu arbeiten, noch gesteigert. Die Volumenzunahme durch das schlagartige Verdampfen der auf der Oberfläche und im Substrat gespeicherten Feuchtigkeit kann einen Popcorn-Effekt auslösen.

Selbst scheinbar geringfügige Abweichungen im Lötprofil können hier zu negativen Abweichungen von dem gewünschten Ergebnis führen.

Eine entsprechende präventive Trocknung vor dem Lötvorgang ist daher zur Sicherung der Produktqualität unbedingt erforderlich und erspart ansonsten notwendige, oft langwierige, teure und schädigende Trocknungsprozesse!

Popcorn-Effekt



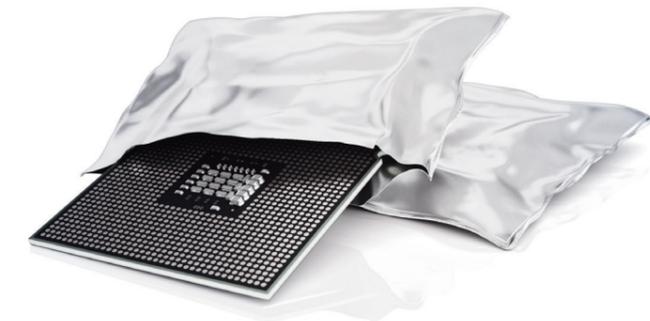
Moisture Barrier Bags – oder Lagerung in getrockneter Umgebung?

Das Moisture Sensitivity Level, kurz MSL, definiert den Feuchtigkeitsempfindlichkeitsschwellwert von elektrischen Bauelementen. Die Klassifizierung der MSL, der Umgang damit bzw. deren Handhabung, sind in den Industriestandards IPC/JEDEC J-STD-020 und IPC/JEDEC J-STD-033 festgelegt. Letzterer eröffnet die Möglichkeit, dass – wenn SMD-Halbleiterbauelemente der MSL Klassen bis 5a bei einer Umgebungsfeuchte $\leq 5\%$ r. F. gelagert werden, dieses Verfahren gleichwertig zu einer Lagerung in luft- und diffusionsdichten Moisture Barrier Bags (MBB) mit unbegrenzter Haltbarkeit gesetzt wird und die Bauelemente unbegrenzt lange gelagert werden können.

Auch kann die Floor-Life-Zeit von feuchtigkeitsempfindlichen Teilen bei Exposition mit feuchter Umgebungsluft zurückgesetzt werden.

Bei Komponenten der MSL Klasse 4, 5 und 5a mit einer Floor-Life-Expositionszeit von maximal 8 Stunden kann durch eine anschließende Lagerung in einer trockenen Umgebung $\leq 5\%$ r. F. und einer Lagerdauer, die der 10-fachen Expositionszeit entspricht, die Floor-Life-Zeit zurückgesetzt werden.

Feuchtigkeitsschutzbeutel



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 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

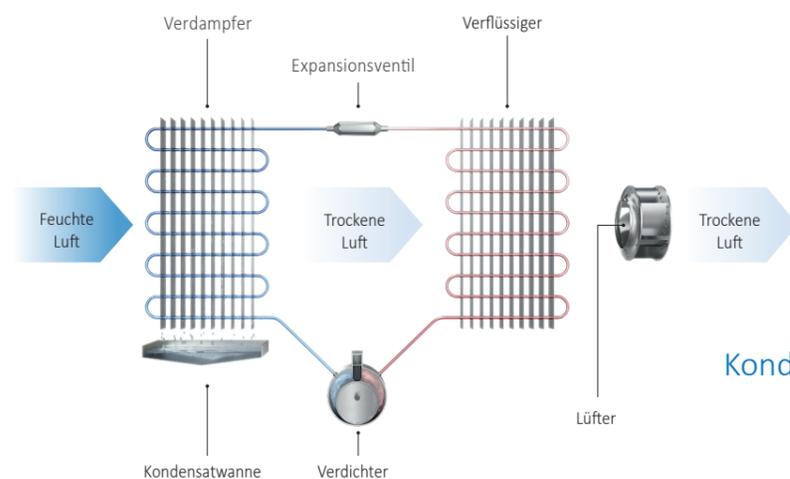
im Raum muss nebst der internen Feuchtelast auch die externe Feuchtelast, z. B. der mechanischen Lüftung im Sommer, berücksichtigt werden. Die dazu eingesetzten Entfeuchtungsgeräte gibt es als Kondensations-Luftentfeuchter und als Adsorptions-Trockner.

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.

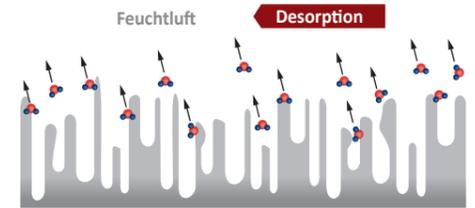
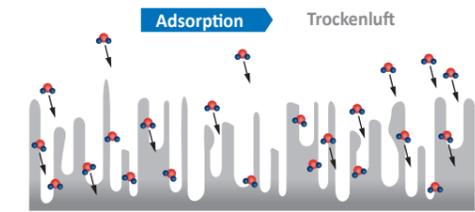
Ein Adsorptions-Trockner besteht aus einem Rotationswärmeübertrager, Luftfiltern, zwei Ventilatoren zur Förderung der Prozessluft und der Regenerationsluft, einem Erhitzer zur Erwärmung der Regenerationsluft und der zugehörigen Regelung (siehe Abbildung unten).

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.

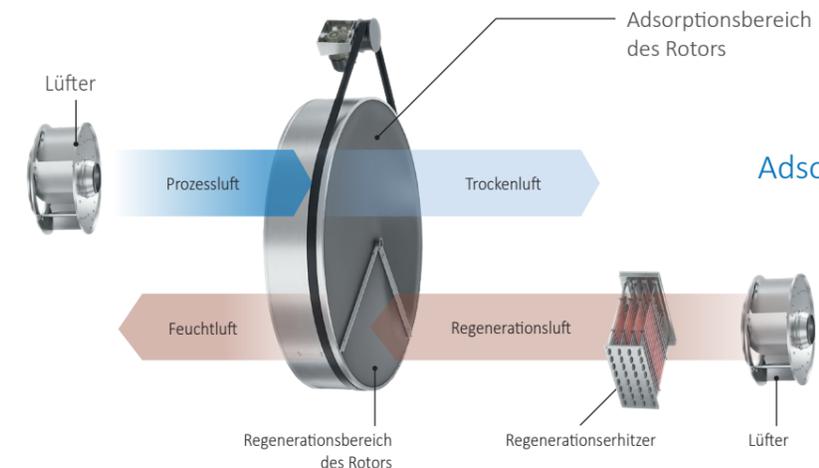
Das Silicagel ist aufgrund seiner extrem grossen inneren Oberfläche von bis zu 800 m² pro Gramm sehr hygroskopisch und kann daher grosse Mengen an Wasser aus der Prozessluft auf der Oberfläche aufnehmen und in seiner inneren Struktur speichern.

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 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

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.

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 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.



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.

**bei 20 °C - 60 % r. F.

Kondensations-Luftentfeuchter Serie Condair DC

Während in den äusserst sensiblen Produktionsbereichen in der Elektronikindustrie systembedingt zumeist Adsorptions-Trockner zur Anwendung kommen, ergeben sich ausserhalb der eigentlichen Produktion zahlreiche Entfeuchtungsaufgaben, die sicher und effizient durch Kondensations-Luftentfeuchter gelöst werden können. Condair bietet hierzu mit der Baureihe DC ein breites Produktprogramm an Industrie-Kondensations-Luftentfeuchtern in verschiedenen Leistungs-grössen und Ausführungen an. Die Luftentfeuchtung durch Kondensation 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 40-60 % 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 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.



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 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 30 °C - 80 % r. F.

Condair AG
Gwattstrasse 17
8808 Pfäffikon/SZ, Schweiz
Telefon: +41 (0)55 416 61 11
E-mail: ch.info@condair.com
Internet: www.condair.ch

