



WHITE PAPER

**EFFEKTIVE VORKÜHLUNG  
DER DRUCKLUFT VOR  
EINEM ADSORPTIONS-  
TROCKNER**



### **BARBARA PAVANELLO**

*Über 20 Jahre Erfahrung bei Parker und zuvor bei domnick hunter. Barbara begann ihre Karriere als Account-Managerin, bevor sie als Spezialistin für Kühltechnologien in das Marketing-Team wechselte.*



### **MARK WHITE**

#### **Anwendungsspezialist für Druckluftaufbereitung**

*Mark verfügt über 35 Jahre Branchenerfahrung und ist auf Druckluftanwendungen in der Lebensmittel-, Getränke- und Pharmabranche spezialisiert.*

*Mark ist Mitglied des Ausschusses für Druckluftaufbereitung und -anwendungen sowie des Ausschusses für Weiterbildung und Entwicklung der British Compressed Air Society (BCAS).*



# EFFEKTIVE VORKÜHLUNG DER DRUCKLUFT VOR EINEM ADSORPTIONSTROCKNER

Das Trockenmittelbett eines Druckluft-Adsorptionstrockners muss auf die maximale Wasserdampfbelastung (WDB) eines Druckluftsystems ausgelegt sein, damit ein konstanter Austrittstaupunkt gewährleistet wird. Die Temperatur spielt bei der Dimensionierung von Adsorptionstrocknern eine wichtige Rolle: Je höher die Temperatur, desto größer muss der Trockner sein.

Mit zunehmender Größe des Trockenmittelbetts eines Druckluftadsorptionstrockners steigt auch der Energiebedarf für die Regeneration des Trockenmittels.

Ziel dieses Whitepapers ist es, die Vorteile einer Vorkühlung der Druckluft vor einem Adsorptionstrockner aufzuzeigen, um die WDB im Trockner zu reduzieren, sowie die optimale Vorgehensweise zur Erreichung dieses Ziels zu erläutern.

## Inhaltsverzeichnis:

	<b>Page</b>
■ Wasser in Druckluft	4
■ Temperatureinfluss auf die Dimensionierung von Drucklufttrocknern	5
■ Druckluftkühler (Wärmetauscher)	6
■ Kühlung kann man nie genug haben!!	7
■ Die Vorteile der Vorkühlung von Druckluft	8
■ Energiemanagementsysteme für Adsorptionstrockner	8
■ Kann ich nicht einfach einen Druckluft-Kältetrockner vor einem Adsorptionstrockner installieren?	9
■ Der Einfluss der relativen Feuchte (r.F.) auf die Adsorptionskapazität des Trockenmittels	10
■ Zusätzlicher Kühler/Abscheider/ Chiller (Kaltwassersätze): Die Alternative zu einem vorgeschalteten Druckluft-Kältetrockner	11
■ Parker Hypercool-Rohrbündelwärmetauscher	12
■ Parker ICEP-E Chiller (Kaltwassersätze)	13
■ Beispiele für die Reduzierung der Trocknergröße	14
■ Sicherlich entstehen durch die Vorkühlung zusätzliche Kosten?	16
■ Zusammenfassung	17
■ Danksagungen	17
■ Literaturhinweise	17

# WASSER IN DER DRUCKLUFT

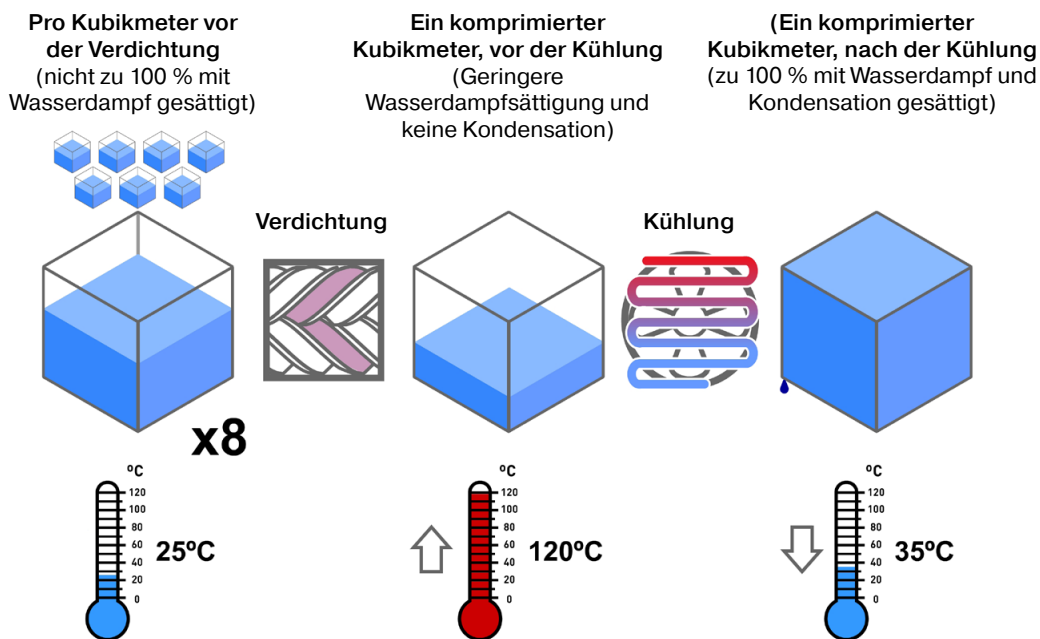
Die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, hängt von ihrem Druck und ihrer Temperatur ab. Mit steigender Temperatur nimmt auch die Wasseraufnahmekapazität der Luft zu. Mit steigendem Druck nimmt hingegen die Menge an Wasserdampf, die die Luft aufnehmen kann, ab.

Wenn Umgebungsluft komprimiert wird, wird der darin enthaltene Wasserdampf von der sehr heißen Druckluft problemlos gebunden.

Der Kompressor-Nachkühler senkt die Temperatur der Druckluft auf ein besser nutzbares Niveau und verringert dadurch die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu binden, wodurch große Mengen an kondensiertem flüssigem Wasser entstehen.

Die aus dem Kompressor-Nachkühler austretende Druckluft ist nun 100% mit Wasserdampf gesättigt.

Bleibt diese gesättigte Druckluft unbehandelt, kondensiert der Wasserdampf weiterhin zu flüssigem Wasser, während die Drucklufttemperatur im Speicherbehälter (Luftkessel) und im Rohrleitungsnetz weiter sinkt.



## Drucklufttrockner

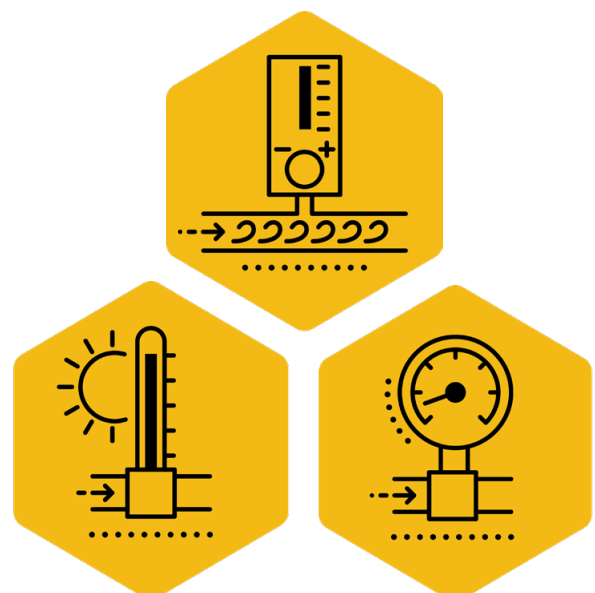
Drucklufttrockner werden als Teil eines Druckluftaufbereitungssystem installiert, um den Wasserdampfgehalt der Druckluft auf ein Niveau zu senken, das Kondensation sowie die Bildung von flüssigem Wasser und Wasseraerosolen verhindert. Drucklufttrockner schützen Produkte und Prozesse, mit denen die Druckluft direkt und indirekt in Berührung kommt.

Der Drucktaupunkt ist das Leistungsmaß eines Drucklufttrockners. Um einen bestimmten Drucktaupunkt zu liefern, muss ein Drucklufttrockner so "dimensioniert" sein, dass er die maximale Wasserdampfbelastung des Druckluftsystems erreicht und übertrifft.

Die wichtigen Systemparameter, die für die korrekte Auslegung eines Drucklufttrockners erforderlich sind, sind:

- Maximaler Druckluftdurchfluss in den Trockner.
- Mindestdruck am Einlass des Trockners.
- Maximale Drucklufttemperatur am Einlass des Trockners (Sommerbedingungen).

Anhand dieser Parameter stellt der Auslegungsprozess sicher, dass der Kühlkreislauf eines Kältetrockners oder das Adsorptionsbett eines Adsorptionstrockners groß genug ist, um die maximale Wasserdampfbelastung (WDB) des Druckluftsystems angemessen zu behandeln.



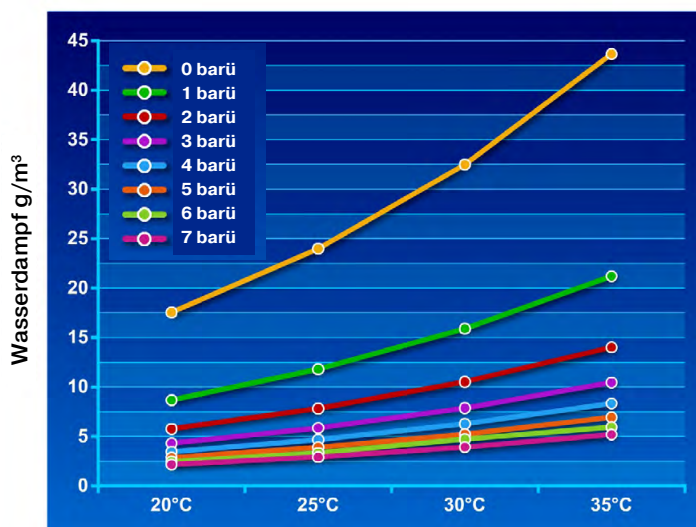
# DER EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE AUSLEGUNG VON DRUCKLUFTTROCKNERN

Die Temperatur hat einen größeren Einfluss auf die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu binden, als der Druck.

Die Temperatur hat zudem einen großen Einfluss auf die Auslegung von Trocknern,

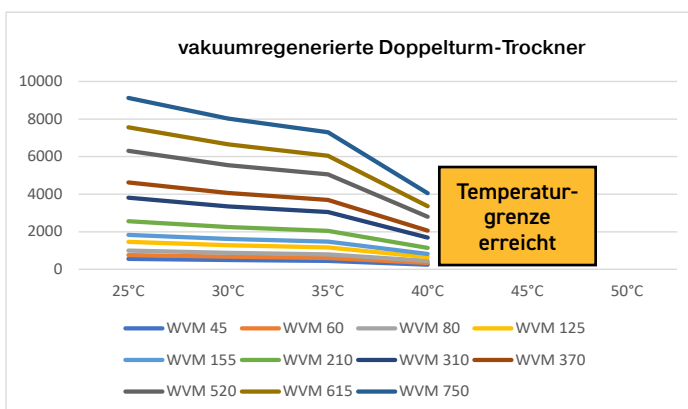
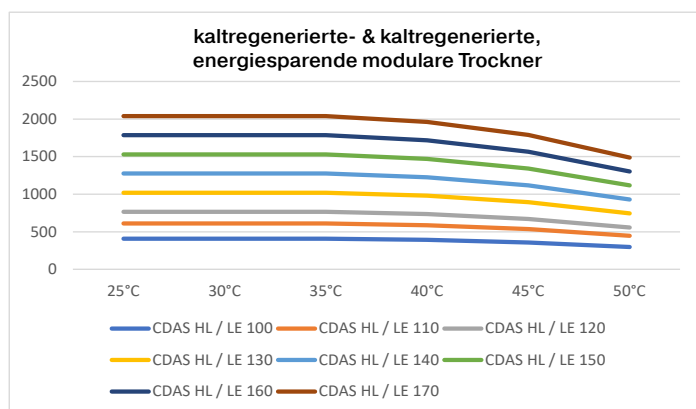
Mit steigender Temperatur der Druckluft:

- steigt die Menge an Wasserdampf, die die Luft aufnehmen kann.
- beginnt sich die Adsorptionskapazität des Trockenmittels zu verringern.
- Die Größe des Adsorptionsbetts muss erhöht werden, um sicherzustellen, dass genügend Trockenmittel vorhanden ist, um den erforderlichen Ausgangsdrucktaupunkt zu erreichen.
- Das Volumen der Regenerationsluft (Spülluft), das zur Regeneration des nicht in Betrieb befindlichen Adsorptionsbetts benötigt wird, steigt mit der Vergrößerung des Trockenmittelbetts.
- Die Kühleffizienz von warmregenerierten Trocknern nimmt ab.



Die folgenden Grafiken zeigen die Verringerung der Durchflussrate (Leistung) des Trockners, wenn Temperaturkorrekturfaktoren angewendet werden, um die erhöhte Wasserdampfbelastung (WDB) der in den Trockner

eintretenden Druckluft und die Verringerung der Adsorptionskapazität des Trockenmittels zu berücksichtigen.



## Leistungsgrenzen von Adsorptionstrocknern

Eingangstemperaturen über 35°C führen zu einer Verringerung der Durchflussrate des Adsorptionstrockners, da die Druckluft eine höhere Wasserdampfbelastung aufweist; im Grunde ist ein größerer Trockner erforderlich.

Bei einigen Adsorptionstrocknertechnologien erfordert eine Einlasstemperatur von über 40°C den Einsatz zusätzlicher Kühlmethoden; so kann beispielsweise ein Trockner

eine zusätzliche Vorkühlung der Einlassluft und eine geschlossene Kühleife im Regenerationskreislauf der Umgebungsluft erfordern.

Für die meisten Trocknungstechnologien liegt die Obergrenze bei 50°C, und die Drucklufttemperatur muss mit Hilfe zusätzlicher Kühlmethoden gesenkt werden.

# DRUCKLUFTKÜHLER (WÄRMETAUSCHER)

Ölgeschmierte (ölgelagerte) Luftkompressoren erreichen den erforderlichen Auslassdruck in der Regel mit nur einer einzigen Verdichterstufe (Luftende) und verfügen über einen einzigen Wärmetauscher, den sogenannten Nachkühler, als Teil des Kompressorpakets. Ölfreie Kompressoren hingegen nutzen in der Regel zwei Verdichterstufen, um den erforderlichen Auslassdruck zu erreichen, und verfügen über zwei Wärmetauscher: einen Zwischenkühler nach der ersten Verdichterstufe und einen Nachkühler nach der zweiten Verdichterstufe.

## Kühlertypen

Während der Verdichtung steigt die Lufttemperatur erheblich an. Wärmetauscher kühlen die heiße Druckluft auf eine nutzbare Temperatur ab und reduzieren ihren Wasserdampfgehalt. Zwischenkühler und Nachkühler lassen sich in zwei Hauptkategorien einteilen.

Diese sind luftgekühlt und wassergekühlt.

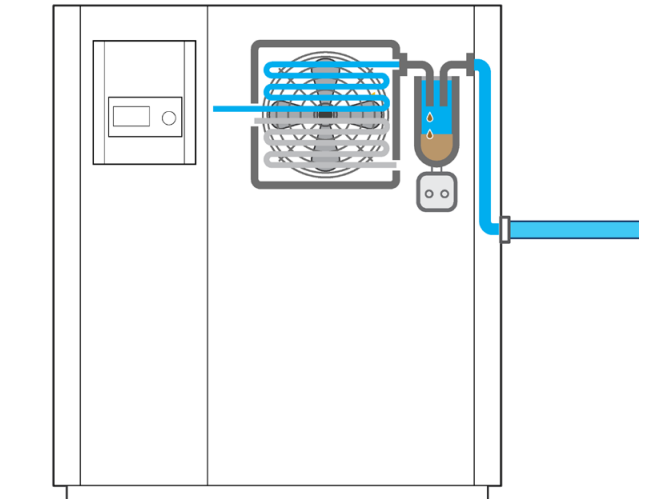
### Luftgekühlt

Eine luftgekühlte Wärmetauschereinheit besteht aus einem Rohrschlängensystem aus einem Material mit guten Wärmeübertragungseigenschaften, beispielsweise Kupfer.

Ein Ventilator bläst Umgebungsluft über den Wärmetauscher, um die Luft in den Rohrleitungen zu kühlen und die Kondensation von Wasserdampf zu flüssigem Wasser zu bewirken.

Anschließend wird ein Flüssigkeitsabscheider eingesetzt, um so viel Flüssigkeit wie möglich aus der Druckluft zu entfernen.

Die Abluft führt die von der Druckluft übertragene Wärme in den Kompressorraum ab. Bei der Verwendung luftgekühlter Wärmetauscher ist stets eine gute Belüftung erforderlich.



### Wassergekühlt

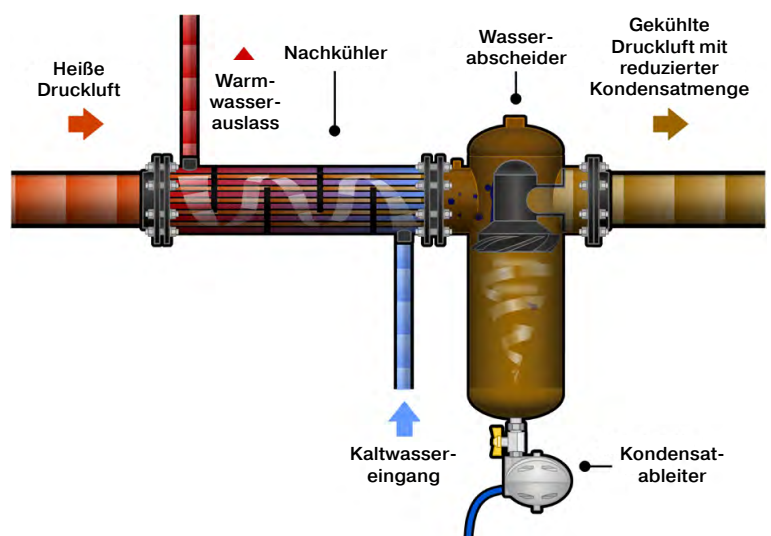
Wassergekühlte Wärmetauscher (auch als Mantel- und Rohrbündelwärmetauscher bekannt) sind ein gefertigtes Druckgefäß (der Mantel), das mehrere kleine Rohre enthält. Die Rohre werden aus einem Material mit guten Wärmeübertragungseigenschaften gefertigt, beispielsweise aus Kupfer.

Der Druckluftstrom wird auf die Rohre aufgeteilt.

Gekühltes Wasser oder vorzugsweise gekühltes Wasser von einem Chiller (Kaltwassersatz) wird in den Mantel und um die Rohre herum geleitet. Wärme wird von der heißen Druckluft an das Wasser übertragen. Leitbleche, die die Rohre stützen, sorgen zudem für einen gewundenen Weg für das Wasser, was den zusätzlichen Vorteil hat, die Wärmeübertragung zu maximieren.

Anschließend wird ein Flüssigkeitsabscheider eingesetzt, um so viel Flüssigkeit wie möglich aus der Druckluft zu entfernen.

Das zur Kühlung verwendete Wasser ist in der Regel Teil eines geschlossenen Kreislaufsystems, das einen Chiller (Kaltwassersatz) oder eine andere Methode zur Kühlung des warmen Wassers umfasst. Das warme Wasser, das aus dem Wärmetauscher austritt, wird zur Kühlung zurückgeführt, bevor es erneut in den Wärmetauscher gelangt, um die durch ihn strömende Druckluft erneut zu kühlen.



# KÜHLUNG KANN MAN NIE GENUG HABEN!

Luftgekühlte Nachkühler sind die am häufigsten anzutreffende Art von Kühlern. Sie erfordern eine hervorragende Belüftung und müssen stets sauber gehalten werden. Leider liegt die Temperatur am Auslass eines luftgekühlten Kompressors bestenfalls etwa +10°C über der Umgebungstemperatur.

Wie bereits erläutert, wird das Trockenmittelbett eines Adsorptionstrockners zur Erzielung eines konstanten Auslasstaupunkts auf die maximale Wasserdampfbelastung (WDB) des Druckluftsystems ausgelegt.

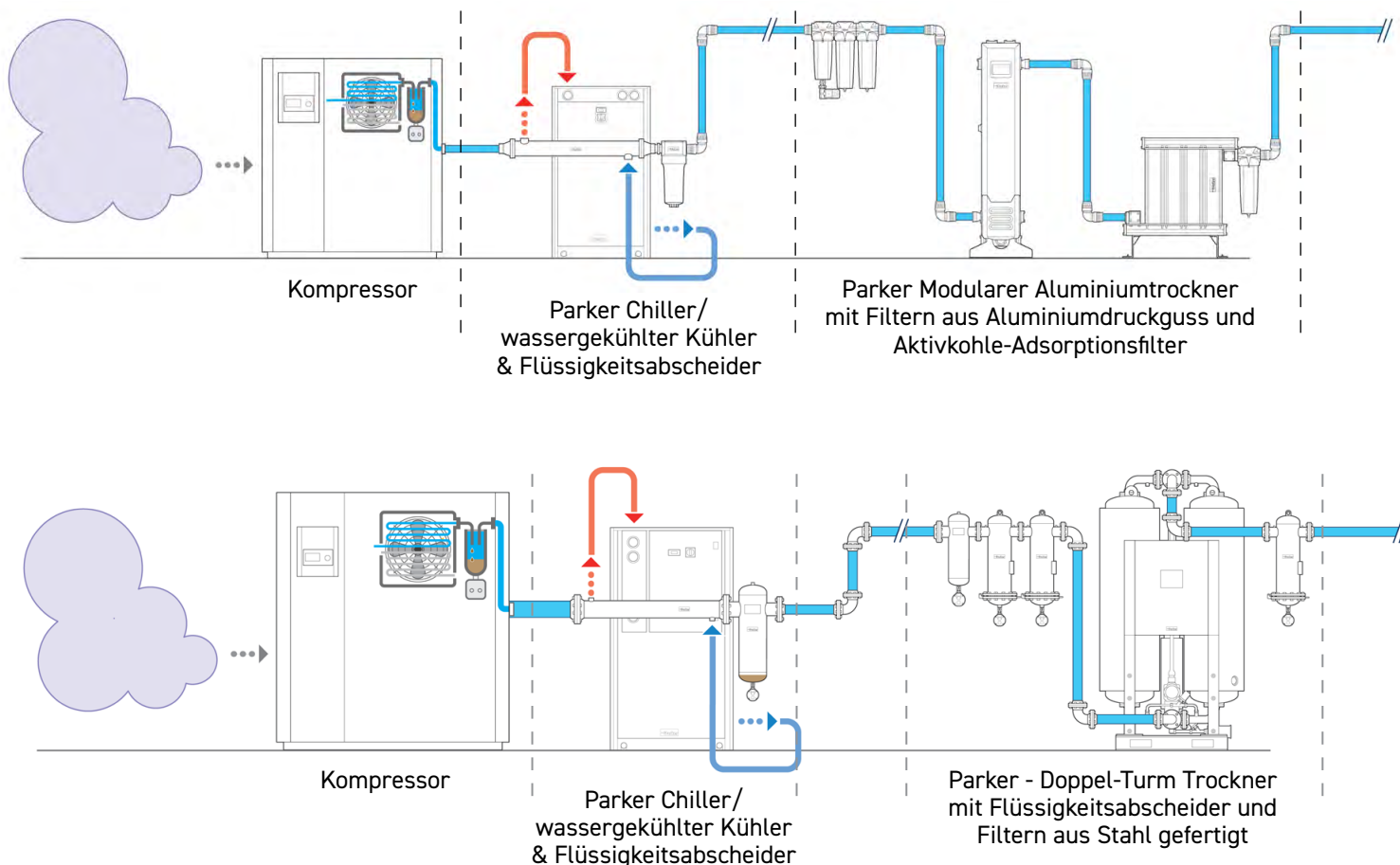
In Ländern mit konstant hohen Umgebungstemperaturen oder hohen Sommertemperaturen kann dies dazu führen, dass der Trockner deutlich größer ausfällt, als dies bei gleichem Druckluftdurchsatz in einem Land mit niedrigeren Umgebungstemperaturen der Fall wäre.

Ein deutlich größerer Trockner ist mit höheren Anschaffungskosten, höheren Betriebskosten (mehr zu regenerierendes Trockenmittel) und höheren Wartungskosten verbunden.

Die Senkung der Temperatur am Einlass des Trockners hat viele Vorteile.

Die zusätzlichen Anschaffungskosten für ein Kühlsystem liegen oft unter den Kosten der Anschaffung eines größeren Trockners. Der Trockner arbeitet bei einer optimaleren Temperatur (was zur Verlängerung der Lebensdauer der Trockenmittelbetten und anderer Komponenten beitragen kann) und die Betriebskosten werden erheblich gesenkt.

## Beispielhafte Systemkonfigurationen



### Wichtiger Hinweis:

- Die obigen Beispiele beinhalten einen Parker-Prozesswasser-Chiller (Kaltwassersatz). Verfügt der Standort über eine bestehende Kaltwasserversorgung mit ausreichendem Wasserdurchfluss und ausreichender Kühlleistung, sind lediglich der Parker-Druckluftkühler und der Flüssigkeitsabscheider erforderlich.

# DIE VORTEILE DER VORKÜHLUNG VON DRUCKLUFT VOR DEM EINTRITT IN EINEN ADSORPTIONSTROCKNER

Die Vor-Kühlung der Druckluft vor dem Eintritt in einen Drucklufttrockner bietet zahlreiche Vorteile, darunter:

## Optimierte Adsorptionskapazität

Die Adsorptionskapazität von Trockenmitteln ist bei niedrigen Temperaturen höher (es kann mehr wasser adsorbieren). Durch die Optimierung der Adsorptionskapazität des Trockenmittels wird sichergestellt, dass ein konstanter Austrittstaupunkt erreicht und aufrechterhalten wird.

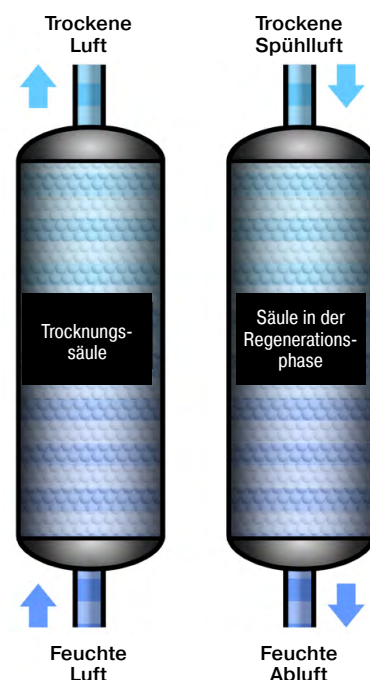


## Kleineres Adsorptionsbett

Durch die Verringerung der Wasserdampfbelastung der in einen Trockner eintretenden Druckluft verringert sich die erforderliche Größe des Adsorptionsbetts.

### Ein kleineres Adsorptionsbett:

- Verringert die physische Größe des Trockners oder die Anzahl der Trockner, die zur Behandlung der maximalen Wasserdampfbelastung des Druckluftsystems erforderlich sind.
- Senkt die Investitionskosten für den Drucklufttrockner.
- Senkt die Wartungskosten des Drucklufttrockners.
  - Da weniger Trockenmittel ausgetauscht werden muss:
- Erfordert ein geringeres Volumen an Regenerationsluft (Spülluft).
  - Stellt mehr Druckluft für Anwendungen bereit.
  - Senkt die Energiekosten erheblich.
  - Reduziert die Größe und die Anschaffungskosten von Luftkompressoren bei neuen Anlagen
- Reduziert die Größe von elektrischen Heizungen, Gebläsen oder Vakuumpumpen, die in warmregenerierten Adsorptionstrocknern zum Einsatz kommen.
  - Dies wiederum senkt den Stromverbrauch dieser Art von Trocknern.



## Energie-Management-Systeme für Adsorptionstrockner

Neben der erheblichen Energieeinsparungen und der Senkung der Wartungskosten, die ein kleinerer Drucklufttrockner mit sich bringt, kann die Installation eines auf der Taupunktmessung basierenden Energiemanagementsystems den Trocknerzyklus an die Wasserdampfbelastung des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt anpassen, was zu noch größeren Energieeinsparungen führen kann.

Die Angaben in der Tabelle (rechts) verdeutlichen die potenziellen Energieeinsparungen eines Adsorptionstrockners, der mit einem taupunktabhängigen Energie-Management-System ausgestattet ist.

Das Beispiel basiert auf einem kaltregenerierten Adsorptionstrockner, der für einen maximalen Eingangsleistung von 1.500 m<sup>3</sup>/h bei 7 barü und 35°C ausgelegt ist.

% Durchfluss	% Energieeinsparung		
	Einlass-Temp 30°C	Einlass-Temp 25°C	Einlass-Temp 20°C
100	26%	45%	59%
90	34%	50%	63%
80	41%	56%	68%
70	48%	61%	72%
60	56%	67%	76%
50	63%	72%	80%

### Wichtiger Hinweis:

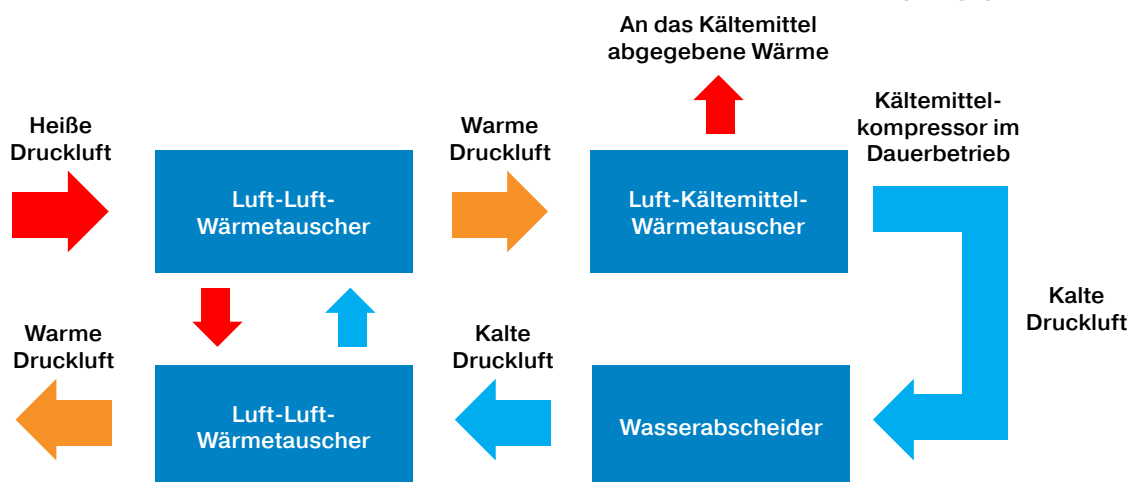
- Bei anderen Trocknungstechnologien werden die Einsparungen ähnlich ausfallen.
- Durchfluss, Druck und Temperatur in einem Druckluftsystem unterliegen ständigen Schwankungen; die oben genannten Werte dienen lediglich als Richtwerte.

# KANN ICH NICHT EINFACH EINEN KÄLTETROCKNER VOR EINEN ADSORPTIONSTROCKNER INSTALLIEREN?

Häufig wird gefragt, ob ein Kältetrockner vor einem Adsorptionstrockner geschaltet werden kann, um den Energieverbrauch und/oder die Größe des Adsorptionstrockners zu reduzieren?

Um diese Frage zu beantworten, muss man zunächst die Funktionsweise eines Kältetrockners verstehen.

## Funktionsweise eines Kältetrockners mit direkter Expansion (die gängigste Bauart)



### 1. Luft-Luft-Wärmetauscher

Die Luft strömt in den Kältetrockner ein, wo sie den Luft-Luft-Wärmetauscher durchströmt. Dieser Wärmetauscher erfüllt zwei Funktionen. Erstens nutzt er die aus dem Trockner austretende kalte Luft, um die einströmende Luft vorzukühlen. Dadurch kann die zweite Kühlstufe kleiner und energieeffizienter ausgelegt werden. Zweitens verhindert er durch das Erwärmen der kalten Luft vor dem Austritt aus dem Trockner die Bildung von Kondenswasser an kalten, nachgeschalteten Rohrleitungen (bekannt als "Rohrschwitzen").

### 2. Luft-Kältemittel-Wärmetauscher (Verdampfer)

Unmittelbar nach dem Luft-Luft-Wärmetauscher folgt der Luft-Kältemittel-Wärmetauscher, der auch als Verdampfer bezeichnet wird. Während die Luft den Luft-Kältemittel-Wärmetauscher durchströmt, fließt flüssiges Kältemittel aus einem geschlossenen Kühlkreislauf ebenfalls durch den Wärmetauscher in einem separaten Kanal. Die warme, komprimierte Luft gibt ihre Wärme an das kalte, flüssige Kältemittel ab (dabei wird das flüssige Kältemittel zu Gas verdampft).

Während der Kühlung in beiden Wärmetauschern verringert sich die Fähigkeit der Druckluft, Wasserdampf aufzunehmen, weshalb der Wasserdampf zu flüssigem Wasser kondensiert.

### 3. Der Flüssigkeitsabscheider

Die nun kalte Druckluft strömt durch einen Flüssigkeitsabscheider zur Flüssigkeitsentfernung, bevor sie zum Luft-Luft-Wärmetauscher zurückgeführt wird. Zu diesem Zeitpunkt hat die Druckluft eine Temperatur von etwa 3°C und ist zu 100% gesättigt. Es können auch flüssiges Wasser und Wasseraerosole vorhanden sein, da die Abscheideeffizienz eines jeden Wasserabscheiders nicht 100% beträgt und Wasserabscheider keine Wirkung auf Aerosole haben.

### 4. Luft-Luft-Wärmetauscher (Nacherwärmung)

Nun strömt die Druckluft zurück durch den Luft-Luft-Wärmetauscher, wo die kalte Druckluft dazu dient, die einströmende Druckluft vor dem Austritt aus dem Trockner vorzukühlen. Da diese Druckluft nacherwärmt wird, verdampft sie die Flüssigkeit und die Aerosole, die vom Flüssigkeitsabscheider nicht entfernt wurden.

## Wichtiger Hinweis:

- Die in einen Kältetrockner eintretende Druckluft ist zu 100% mit Wasserdampf gesättigt. Nachdem die Luft im Luft-Luft-Wärmetauscher wieder erwärmt wurde, steigt die Temperatur der austretenden Druckluft an.
- Gleichzeitig sinkt die Luftfeuchtigkeit (% der Sättigung) der aus dem Kältetrockner austretenden Luft.

**Eine verringerte relative Luftfeuchtigkeit (r.F.) stellt kein Problem dar, wenn die Druckluft direkt für allgemeine industrielle Anwendungen genutzt wird.**

**Dies hat sich jedoch oft als problematisch erwiesen, wenn die Luft anschließend einem Adsorptionstrockner zugeführt wird!**

# DER EINFLUSS DER RELATIVEN LUFTFEUCHTIGKEIT (r.F.) AUF DIE ADSORPTIONSFÄHIGKEIT DES TROCKENMITTELS

Adsorptionstrockner nutzen ein adsorbierendes Trockenmittel, um Wasserdampf zu reduzieren. Für eine optimale Leistung müssen die Substanzen im Trockenmittel eine zu 100% gesättigte Luft vorfinden, um die Aktivierung des Adsorptionsprozesses zu fördern.

## Der wissenschaftliche Aspekt

Die Konzentration des Wasserdampfanteils ist eine der wichtigsten Faktoren für die Leistungsfähigkeit des Adsorptionsmaterials.

Es ist allgemein bekannt, dass eine Erhöhung der Wasserdampfkonzentration in einem Trockenmittelbett in der Regel dessen Fähigkeit verbessert, Feuchtigkeit aus der Druckluft zu entfernen, was zu einer höheren Entfeuchtungseffizienz führt.

Die Grafik (rechts) zeigt, dass in einer Adsorptionsbettanwendung eine Erhöhung der Wasserdampfkonzentration in Richtung einer 100-prozentigen Sättigung (100 % r.F.) die Wasserdampfaufnahme durch das Adsorptionsmittel (Trockenmittel) erhöht.

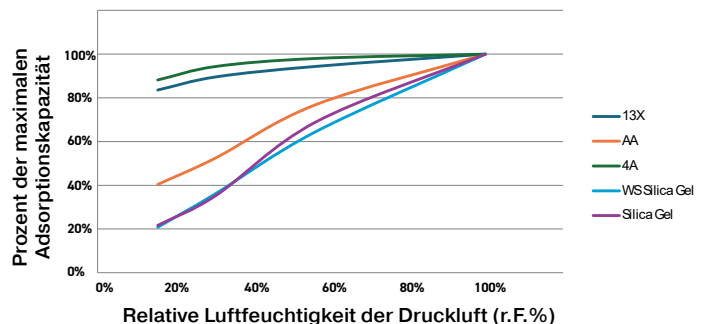
Mit steigender Wasserdampfkonzentration (r.F.) vergrößert sich die Differenz zwischen dem Wasserdampfdruck in der Luft und dem Wasserdampfdruck des Trockenmittels, was zu einer schnelleren Feuchtigkeitsentfernung aus der Luft führt.

Diese erhöhte Antriebskraft führt zu einer höheren Feuchtigkeitsentfernungsrates und einer höheren Gesamtentfeuchtungswirksamkeit.

Eine höhere (r.F.) trägt ebenfalls zu einem effektiveren Entfeuchtungsprozess bei, da das Trockenmittel eine größere Menge Wasserdampf aus der Luft aufnehmen kann, bevor es gesättigt ist.

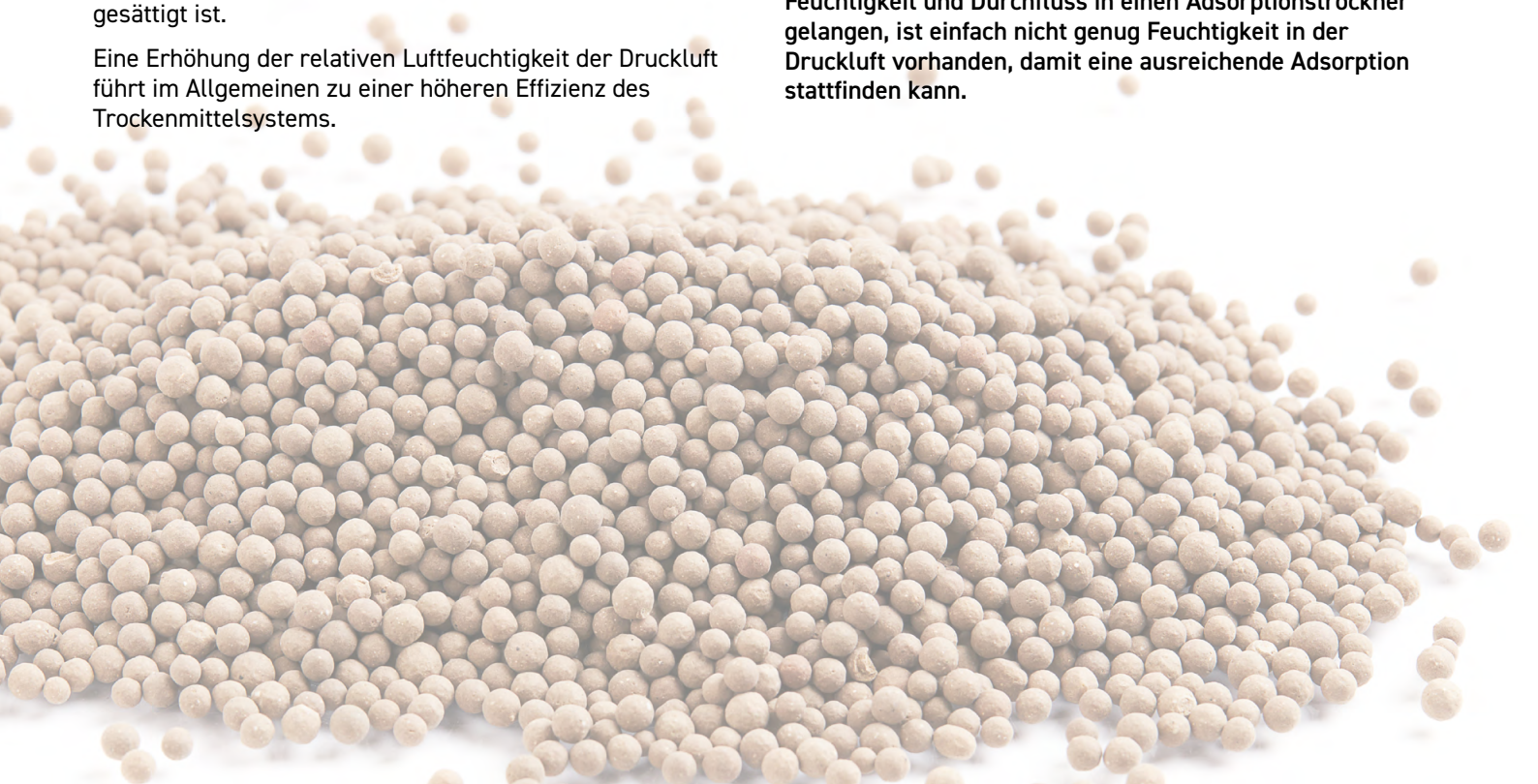
Eine Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit der Druckluft führt im Allgemeinen zu einer höheren Effizienz des Trockenmittelsystems.

Adsorptionskapazität von Trockenmittel bei unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit



Wie bereits für jedes beliebige Adsorptionsmittel angedeutet, wird bei einem bestimmten Temperaturpunkt seine maximale Adsorptionskapazität bei 100 % r.F. erreicht. Da verschiedene Trockenmittelmateriale jedoch unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, veranschaulicht die obige Grafik diese Unterschiede.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine verringerte relative Luftfeuchtigkeit in Verbindung mit einem schwankenden Druckluftstrom eine Veränderung des Adsorptionsprofils des Trockenmittels bewirkt, was dann zu Problemen mit dem Austrittstaupunkt des Adsorptionstrockners führen kann. Wenn zu wenig Feuchtigkeit und Durchfluss in einen Adsorptionstrockner gelangen, ist einfach nicht genug Feuchtigkeit in der Druckluft vorhanden, damit eine ausreichende Adsorption stattfinden kann.



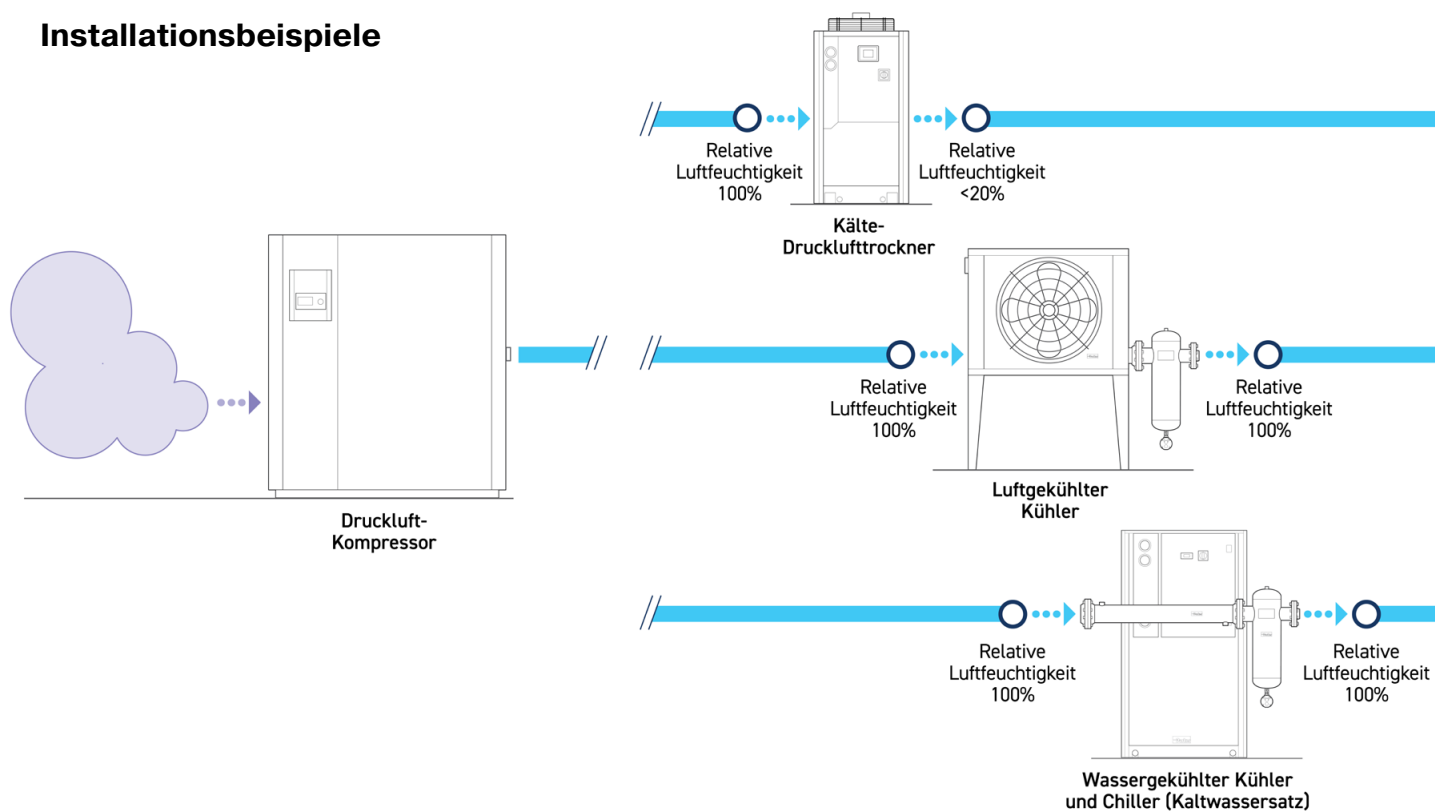
# ZUSÄTZLICHER KÜHLER/ABSCHEIDER/ CHILLER (KALTWASSERSÄTZE): - DIE ALTERNATIVE ZU EINEM VORGESCHALTETEN DRUCKLUFT-KÄLTETROCKNER

Der Zweck eines Kühlers besteht darin, die Drucklufttemperatur zu senken.

Durch die Senkung der Drucklufttemperatur verringert sich die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf aufzunehmen - es kommt zur Kondensation des Wasserdampfs zu Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit wird dann von einem Flüssigkeitsabscheider aufgefangen und abgeleitet.

**Im Gegensatz zur Druckluft am Ausgang eines Kältetrockners bleibt die relative Luftfeuchtigkeit der Luft am Ausgang des Kühlers bei 100% Sättigung (100 % r.F.)**

## Installationsbeispiele



Art des Vortrockners / Vorkühlers	r.F. % am Einlass	r.F. Veränderung am Auslass	Adsorptionstrockner Energieeinsparungen	Größenreduzierung des Adsorptionstrockners
Kälte-Drucklufttrockner	100%	reduzierte r.F. (<20% r.F.)	Ja	Nein
Luftgekühlter Kühler	100%	Keine Änderung (100%)	möglicherweise	Nein
Wassergekühlter Kühler & Chiller	100%	Keine Änderung (100%)	Ja	Ja

### Wichtiger Hinweis:

- Luftgekühlte Kühler sind in ihrer Kühlleistung begrenzt.
- Ein wassergekühlter Rohrbündelwärmetauscher kann eine deutlich bessere Temperaturreduzierung erzielen, insbesondere in Verbindung mit einem Chiller (Kaltwassersatz) - (im Gegensatz zur Kühlung mittels Kühlturm).
- Die Installation eines speziellen Kühlers vor einem Adsorptionstrockner ist weitaus vorteilhafter als die Installation eines vorgeschalteten Kälte-Drucklufttrockners.
- Darüber hinaus bietet der Einsatz eines Rohrbündelkühlers und -abscheiders in Verbindung mit einem Chiller zur Kühlung des Wasservorrats weitere Vorteile. Während des Betriebs im Hochsommer oder bei hohen Umgebungstemperaturen lässt sich mit dieser Konfiguration eine präzisere Vorkühlung erreichen und aufrechterhalten.

# PARKER HYPERCOOL ROHRBÜNDELWÄRMETAUSCHER

Hypercool Rohrbündelwärmetauscher wurden speziell entwickelt, um eine hohe Wärmeübertragungseffizienz und maximale Kühlleistung bei minimalen Kosten zu erzielen.

Das schlichte Design von Hypercool macht das Gerät vielseitig einsetzbar und geeignet für eine Vielzahl von Kühlanforderungen. Es sorgt dafür, dass das Druckluft- oder Gassystem ordnungsgemäß funktioniert und gewährleistet dabei:



- Erhebliche Einsparungen bei Energie- und Kapitalinvestition.
- Hervorragende Leistung von Druckluft- und Gassystemen.
- Geringerer Wartungsaufwand und zuverlässiger Dauerbetrieb.
- Sehr geringer Druckabfall dank der einzigartigen Rippenrohrkonstruktion.

## Funktionsweise

Hypercool arbeitet nach dem Gegenstromprinzip. Die Luft oder das Gas strömt durch die Kühlrohre des Wärmetauschers, während gekühltes Prozesswasser in entgegengesetzter Richtung über die Rohre fließt: Dies verringert die thermische Belastung und erhöht den Wirkungsgrad.

Mit Hypercool wird die Luft oder das Gas auf eine Temperatur gekühlt, die im Durchschnitt etwa 10°C über der Einlauftemperatur des Prozesswassers liegt, es können jedoch auch niedrigere Temperaturen erreicht werden.

Das im Wärmetauscher entstehende Flüssigkeitskondensat kann durch einen am Kühlerausgang installierten Parker Hypersep-Flüssigkeitsabscheider effizient entfernt werden.

Hypersep benötigt keine externe Stromversorgung und arbeitet automatisch, ohne dass Wartungsarbeiten erforderlich sind. Es gewährleistet dank seiner Zentrifugalbewegung eine effiziente Flüssigkeitsabscheidung.



# PARKER ICEP-E CHILLER (KALT-WASSERSÄTZE)

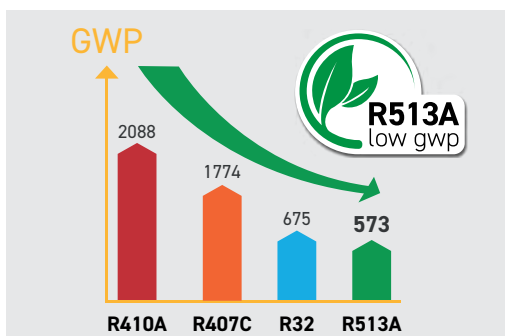
Falls dem Anwender kein gekühltes Prozesswasser zur Verfügung steht, können wir einen passenden Wasserkühler für die Kaltwasserversorgung auslegen und anbieten.

Wasseraufbereitungsprozesse können sich als äußerst kostspielig erweisen, weshalb die Optimierung der Produktionsprozesse in allen Branchen von entscheidender Bedeutung ist. Parker ist mit seiner Produktreihe ICEP-E ein führender Anbieter von Chillern (Kaltwassersätze) für Produktionsprozesse.

Durch den Einsatz eines Kältemittels mit niedrigem GWP\* sind die ICEP-E-Chiller eine umweltfreundliche Lösung, die die Anforderungen der europäischen F-Gas-Verordnung (EU 517 /2014) erfüllt. Da das derzeit verwendete Kältemittel nicht brennbar ist, ermöglicht es die Installation von ICEP-E im Innen- oder Außenbereich und entspricht den üblichen Bauvorschriften.

Dank seines nicht-eisenhaltigen Hydraulikkreislaufs gewährleistet ICEP-E stabile Betriebsbedingungen bei höchster Qualität.

ICEP-E-Chiller passen perfekt zu Hypercool-Wärmetauschern und verbessern so die Effizienz und Produktivität des Prozesses.



\*Global-Warming-Potential (Erderwärmungspotential)



# BEISPIELE FÜR DIE REDUZIERUNG DER TROCKNERGRÖSSE

Die folgenden Tabellen zeigen, welchen Einfluss die Einlasstemperatur auf die Auswahl eines Adsorptionstrockners hat. Die Auswahl der Trockner wurde auf die durchschnittliche Durchflussleistung von vier gängigen Kompressorengrößen bei einem Betriebsüberdruck von 7 bar abgestimmt, wobei der Trockner einen konstanten Taupunkt am Einlass von  $-40^{\circ}\text{C}$  DTP liefert.

## Beispielhaft ausgewählte Kompressorengrößen

Kompressorengröße kW	Durchschnittliche Durchflussleistung m <sup>3</sup> /hr	Max. Betriebsdruck am Trockner barü
75	830	7
132	1420	7
160	1760	7
250	2595	7

## Modulare, kaltregenerierte, Niedrigenergie-Adsorptionstrockner von Parker

75KW 830 m <sup>3</sup> /hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				132KW 1420 m <sup>3</sup> /hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	1 x CDAS LE 130	1 x CDAS LE 130	1 x CDAS LE 130	2 x CDAS LE 140	Ausgewähltes Modell	1 x CDAS LE 150	1 x CDAS LE 150	1 x CDAS LE 160	1 x CDAS LE 170
Erhöhter Spülluftbedarf	-	+0%	+0%	+23%	Erhöhter Spülluftbedarf	-	+0%	+17%	+33%
Erhöhter Energiebedarf	-	+0%	+0%	+10%	Erhöhter Energiebedarf	-	+0%	+19%	+35%
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	gleiche Größe	gleiche Größe	1 Modell größer	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	gleiche Größe	1 Modell größer	2 Modell größer

160KW 1760 m <sup>3</sup> /hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				250KW 2595 m <sup>3</sup> /hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	1 x CDAS LE 160	1 x CDAS LE 170	1 x CDAS LE 170	2 x CDAS LE 140	Ausgewähltes Modell	2 x CDAS LE 150	2x CDAS LE 150	2 x CDAS LE 150	2 x CDAS LE 160
Erhöhter Spülluftbedarf	-	+13%	+13%	+41%	Erhöhter Spülluftbedarf	-	+0%	+0%	+16%
Erhöhter Energiebedarf	-	+13%	+13%	+35%	Erhöhter Energiebedarf	-	+0%	+0%	+19%
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	1 Modell größer	2 Modell größer	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	1 Modell größer	2 Modell größer

### Wichtige Hinweise:

#### Bei der Auslegung eines kaltregenerierten Adsorptionstrockners für eine Einlasstemperatur über 35°C:

- wird der Trockner physisch größer.
- steigen die Anschaffungskosten für den Trockner.
- erhöht sich die für die Regeneration des Trockenmittels erforderliche Spülluftmenge.
- steigt der Energieverbrauch für die Regeneration des Trockenmittels.
- steigen die Wartungskosten des Trockners.

## Parker kaltregenerierte Adsorptionstrockner (Doppelturm-Ausführung)

75KW 830 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				132KW 1420 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	K-MT 95	KE-MT 120	KE-MT 120	KE-MT 120	Ausgewähltes Modell	KE-MT 150	KE-MT 200	KE-MT 200	KE-MT 200
Erhöhter Spülluftbedarf	-	+28%	+28%	+28%	Erhöhter Spülluftbedarf	-	+29%	+29%	+29%
Erhöhter Energiebedarf	-	+27%	+27%	+27%	Erhöhter Energiebedarf	-	+29%	+29%	+29%
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	1 Modell größer	1 Modell größer	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	1 Modell größer	1 Modell größer

75KW 1760 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				250KW 2595 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	KE-MT 200	KE-MT 200	KE-MT 250	KE-MT 250	Ausgewähltes Modell	KE-MT 300	KE-MT 300	KE-MT 380	KE-MT 380
Erhöhter Spülluftbedarf	-	+0%	+25%	+25%	Erhöhter Spülluftbedarf	-	+0%	+27%	+27%
Erhöhter Energiebedarf	-	+0%	+25%	+25%	Erhöhter Energiebedarf	-	+0%	+28%	+28%
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	gleiche Größe	1 Modell größer	1 Modell größer	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	gleiche Größe	1 Modell größer	1 Modell größer

## Parker Vakuumregenerierte Adsorptionstrockner (Doppelturm-Ausführung)

75KW 830 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				132KW 1420 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	WVM 125	WVM 155	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar	Ausgewähltes Modell	WVM 155	WVM 210	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar
Erhöhter Spülluftbedarf	-	n/z Keine Spülluft	-	-	Erhöhter Spülluftbedarf	-	n/z Keine Spülluft	-	-
Erhöhter Energiebedarf	-	+40%	-	-	Erhöhter Energiebedarf	-	+94%	-	-
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar

75KW 1760 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner				250KW 2595 m³/hr 7 barü	Max. Einlasstemperatur in den Trockner			
	35°C	40°C	45°C	50°C		35°C	40°C	45°C	50°C
Ausgewähltes Modell	WVM 210	WVM 310	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar	Ausgewähltes Modell	WVM 310	WVM 520	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar
Erhöhter Spülluftbedarf	-	n/z Keine Spülluft	-	-	Erhöhter Spülluftbedarf	-	n/z Keine Spülluft	-	-
Erhöhter Energiebedarf	-	+82%	-	-	Erhöhter Energiebedarf	-	+52%	-	-
Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	1 Modell größer	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar	Modelle, X-mal größer als bei einer 35°C Auslegung	-	2 Modell größer	Kein Standard-Modell verfügbar	Kein Standard-Modell verfügbar

### Wichtige Hinweise:

**Bei der Auslegung eines warmregenerierten Adsorptionstrockners für eine Einlasstemperatur über 35°C:**

- wird der Trockner physisch größer
- ist eine Auslegung über 40°C ohne zusätzliche Vorkühlung und Kreislaufkühlung nicht möglich.
- steigen die Anschaffungskosten für den Trockner
- steigt der Energieverbrauch für die Regeneration des Trockenmittels
- steigen die Wartungskosten des Trockners

# SICHERLICH ENTSTEHEN DURCH DIE VORKÜHLUNG ZUSÄTZLICHE KOSTEN?

Natürlich sind mit der zusätzlichen Vorkühlung Investitionskosten verbunden, diese entsprechen jedoch oft den Kosten für die Installation eines größeren Trockners oder liegen sogar darunter. Die Betriebskosten eines Chillers (sofern erforderlich) liegen in der Regel unter dem Anstieg der Energiekosten, der für die Regeneration eines größeren Adsorptionstrockners erforderlich wäre.

## Beispiele für Energieeinsparungen und Senkung der Investitionskosten durch Vorkühlung

Die folgenden Beispiele basieren auf der Installation entweder eines Rohrbündelkühlers/Flüssigkeitsabscheiders (in diesem Fall nutzt der Kühler eine vor Ort vorhandene Wasserversorgung, beispielsweise aus einem Kühlturm) oder eines Rohrbündelkühlers/Flüssigkeitsabscheiders mit eigenem Chiller zur Bereitstellung von kaltem Wasser.

### Beispiel 1: Auswahl eines Adsorptionstrockners mit Vorkühlung (nur Kühler / Abscheider)

Max. Durchflussmenge am Einlass: 450 m<sup>3</sup>/hr Einlassdruck: 7 barü Drucktaupunkt am Auslass: -40°C DTP

Auswahl des Trockners ohne Vorkühlung		Auswahl des Trockners mit Vorkühlung (nur Kühler/Abscheider)	
Max. Einlasstemperatur	40°C	Max. Einlasstemperatur	30,8°C
Ausgewähltes Modell	WVM 80	Ausgewähltes Modell	WVM 45
Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	3,8 kWh	Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	2,1 kWh
Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	0,9 kWh	Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	0,5 kWh
Gesamt (Durchschnitt kWh)	4,7 kWh	Gesamt (Durchschnitt kWh)	2,6 kWh
Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		2,1 kWh niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
% Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		45% niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
Differenz bei den Investitionskosten mit Kühler/Abscheider + Chiller		13% niedriger als die Kosten für einen überdimensionierten Trockner	

### Beispiel 2: Auswahl eines Trockners mit Vorkühlung (Kühler / Abscheider + Chiller)

Max. Durchflussmenge am Einlass: 450 m<sup>3</sup>/hr Einlassdruck: 7 barü Drucktaupunkt am Auslass: -40°C DTP

Auswahl des Trockners ohne Vorkühlung		Auswahl des Trockners mit Vorkühlung (Kühler / Abscheider + Chiller)	
Max. Einlasstemperatur	40°C	Max. Einlasstemperatur	21,4°C
Ausgewähltes Modell	WVM 80	Ausgewähltes Modell	WVM 45
Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	3,8 kWh	Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	1,0 kWh
Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	0,9 kWh	Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	0,2 kWh
Chiller (Kaltwassersatz)	n/z	Chiller (Kaltwassersatz)	1,7 kWh
Total (Average kWh)	4,7 kWh	Total (Average kWh)	2,9 kWh
Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		1,8 kWh niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
% Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		38% niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
Differenz bei den Investitionskosten mit Kühler/Abscheider + Chiller		4% niedriger als die Kosten für einen überdimensionierten Trockner	

### Beispiel 3: Auswahl eines Adsorptionstrockners mit Vorkühlung (nur Kühler / Abscheider)

Max. Durchflussmenge am Einlass: 3050 m<sup>3</sup>/hr Einlassdruck: 7 barü Drucktaupunkt am Auslass: -40°C DTP

Auswahl des Trockners ohne Vorkühlung		Auswahl des Trockners mit Vorkühlung (nur Kühler/Abscheider)	
Max. Einlasstemperatur	40°C	Max. Einlasstemperatur	30,8°C
Ausgewähltes Modell	WVM 520	Ausgewähltes Modell	WVM 310
Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	25,3 kWh	Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	13,71 kWh
Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	8,8 kWh	Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	5,2 kWh
Gesamt (Durchschnitt kWh)	34,1 kWh	Gesamt (Durchschnitt kWh)	18,9 kWh
Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		15,2 kWh niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
% Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		45% niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
Differenz bei den Investitionskosten mit Kühler/Abscheider + Chiller		16% niedriger als die Kosten für einen überdimensionierten Trockner	

### Beispiel 4: Auswahl eines Trockners mit Vorkühlung (Kühler / Abscheider + Chiller)

Max. Durchflussmenge am Einlass: 3050 m<sup>3</sup>/hr Einlassdruck: 7 barü Drucktaupunkt am Auslass: -40°C DTP

Auswahl des Trockners ohne Vorkühlung		Auswahl des Trockners mit Vorkühlung (Kühler / Abscheider + Chiller)	
Max. Einlasstemperatur	40°C	Max. Einlasstemperatur	21,8°C
Ausgewähltes Modell	WVM 520	Ausgewähltes Modell	WVM 310
Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	25,3 kWh	Trockner - Heizung (Durchschnitt kWh)	6,3 kWh
Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	8,8 kWh	Trockner - Gebläse (Durchschnitt kWh)	2,5 kWh
Gesamt (Durchschnitt kWh)	n.z.	Chiller (Kaltwassersatz)	5,9 kWh
Total (Average kWh)	34,1 kWh	Total (Average kWh)	14,7 kWh
Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		19,4 kWh niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
% Energieeinsparung mit Kühler / Abscheider		57% niedriger als bei einem überdimensionierten Trockner	
Differenz bei den Investitionskosten mit Kühler/Abscheider + Chiller		5% niedriger als die Kosten für einen überdimensionierten Trockner	

# ZUSAMMENFASSUNG

- Unbehandelte Druckluft ist zu 100% mit Wasserdampf belastet
- Je höher die Wasserdampfbelastung (WDB) des Druckluftsystems, desto größer müssen das Adsorptionsbett und die Abmessung des Adsorptionstrockners sein
- Je größer der Trockner, desto höher der Energieverbrauch
- Durch die Reduzierung der Wasserdampfbelastung (WDB) mittels Vorkühlung der Druckluft lassen sich die Größe des Adsorptionstrocknerbetts und die Gesamtgröße des Trockners verringern
- Adsorptionstrockner funktionieren am besten mit zu 100% gesättigter (100% r.F.) Druckluft
- Die Luft hinter einem Druckluft-Kältetrockner ist nicht zu 100% gesättigt (100% r.F.)
- Die Luft hinter einem Kühler ist zu 100% gesättigt (100% r.F.)
- Je kleiner der Adsorptionstrockner, desto geringer der benötigte Spülluftbedarf
- Ein vorgeschalteter Druckluft-Kältetrockner ermöglicht keine Verkleinerung des nachgeschalteten Adsorptionstrockners
- Ein vorgeschalteter Rohrbündelkühler und -abscheider ermöglicht die Verkleinerung des nachgeschalteten Adsorptionstrockners
- Je kleiner der Adsorptionstrockner, desto geringer die Anschaffungskosten
- Je kleiner der Adsorptionstrockner, desto geringer der Stromverbrauch für die Regeneration
- Die Amortisationszeit für den Kühler und den Chiller ist oft sofort gegeben
- Zusätzliche Energieeinsparungen lassen sich erzielen, wenn der Adsorptionstrockner zudem mit einem taupunktgesteuerten Energiemanagementsystem ausgestattet ist

# DANKSAGUNGEN

- Scott Kelly, Leitender Ingenieur, Parker Hannifin

# LITERATURHINWEISE

- White Paper - Verunreinigungen in Druckluft
- Whitepaper - Öldämpfe in der Umgebungsluft
- Whitepaper - Einführung in ISO ISO8573-1
- Whitepaper - Prüfung der Druckluftqualität
- Whitepaper - Koaleszenzfilter
- Whitepaper - Warum sollte ich mein Filterelement austauschen?
- Whitepaper - Dauerhafte Trocknerleistung
- Whitepaper - Auslegung und Auswahl von Parker Produkten zur Druckluftaufbereitung
- Whitepaper - So erhalten Sie saubere, trockene und ölfreie Druckluft aus jedem Kompressor
- Whitepaper - So erhalten Sie ölfreie Druckluft aus einem ölfreien Kompressor
- Whitepaper - Eindämmung des Mikroorganismenwachstums in der Druckluft
- Whitepaper - Gewährleistung der Lebensmittelsicherheit mit Druckluft in Lebensmittel- und Getränkequalität
- Whitepaper - Taupunkt und Trocknerleistung verstehen
- Whitepaper - Sicherstellung der Trocknerleistung -Die Bedeutung der Kondensatableitung

