

Die Kombinations-trockner der Serie Hybritec bestehen aus Kältetrocknern (I.), in die warmregenerierende Adsorptionstrockner eingebaut sind. Dadurch ergeben sich deutlich höhere Einsparpotenziale als bei der Serienschaltung der beiden Geräte.



Bild: Kaeser Kompressoren

## DRUCKLUFTTROCKNUNG

# Kombination von Kältetrockner und Adsorber verbessert Energieeffizienz

Druckluftversorgung ist zwar energieaufwendig, aber sie ermöglicht auch, auf vielfältige Weise Energie einzusparen. Effiziente Drucklufttrocknung ist ein Beispiel dafür: Mit Hilfe moderner Kältetrockner und intelligent kombinierter Kälte-/Adsorptionstrocknung lassen sich hohe Einspareffekte erzielen.

ERWIN RUPPELT UND MICHAEL BAHR

**ENERGIE  
EFFIZIENZ**  
DRUCKLUFTTECHNIK

Die üblichen Verfahren der Drucklufttrocknung wie Adsorptions-, Kälte- oder Membrantrocknung haben einen ganz unterschiedlichen Energiebedarf.

Bei den meisten industriellen Anwendungen wird ein Drucktaupunkt (Trockenheitsgrad) von bis zu 3 °C benötigt. Er sollte so energiesparend wie möglich erreicht werden. Dafür bietet sich die Kältetrocknung als effizienteste Methode an. Moderne Kältetrockner kommen mit sehr

Dipl.-Ing. (FH) Erwin Ruppelt ist leitender Projektgenieur der Kaeser Kompressoren GmbH in 96450 Coburg; Michael Bahr ist Pressereferent im selben Unternehmen. Weitere Informationen: Tel. (095 61) 640-0, info@kaeser.com

niedrigem Differenzdruck aus. Sie arbeiten zudem mit energiesparenden Aussetzsteuerungen oder (für höheren Luftdurchsatz) mit Kältemittelkompressoren, die ihre elektrische Leistungsaufnahme dem jeweiligen Durchsatzvolumen anpassen. Daraus resultieren Energieeinspareffekte von bis zu 60% gegenüber herkömmlichen Kältetrocknern mit Heißgas-Bypass-Regelung (Bild 1). Kaltregenerierende Adsorptionstrockner und Membrantrockner haben dagegen eine 12- bis 16-mal höhere spezifische Leistungsaufnahme.

Werden hingegen niedrigere Drucktaupunkte unter 3 °C gefordert, wie etwa in frostgefährdeten Bereichen oder oft in der Verfahrens-

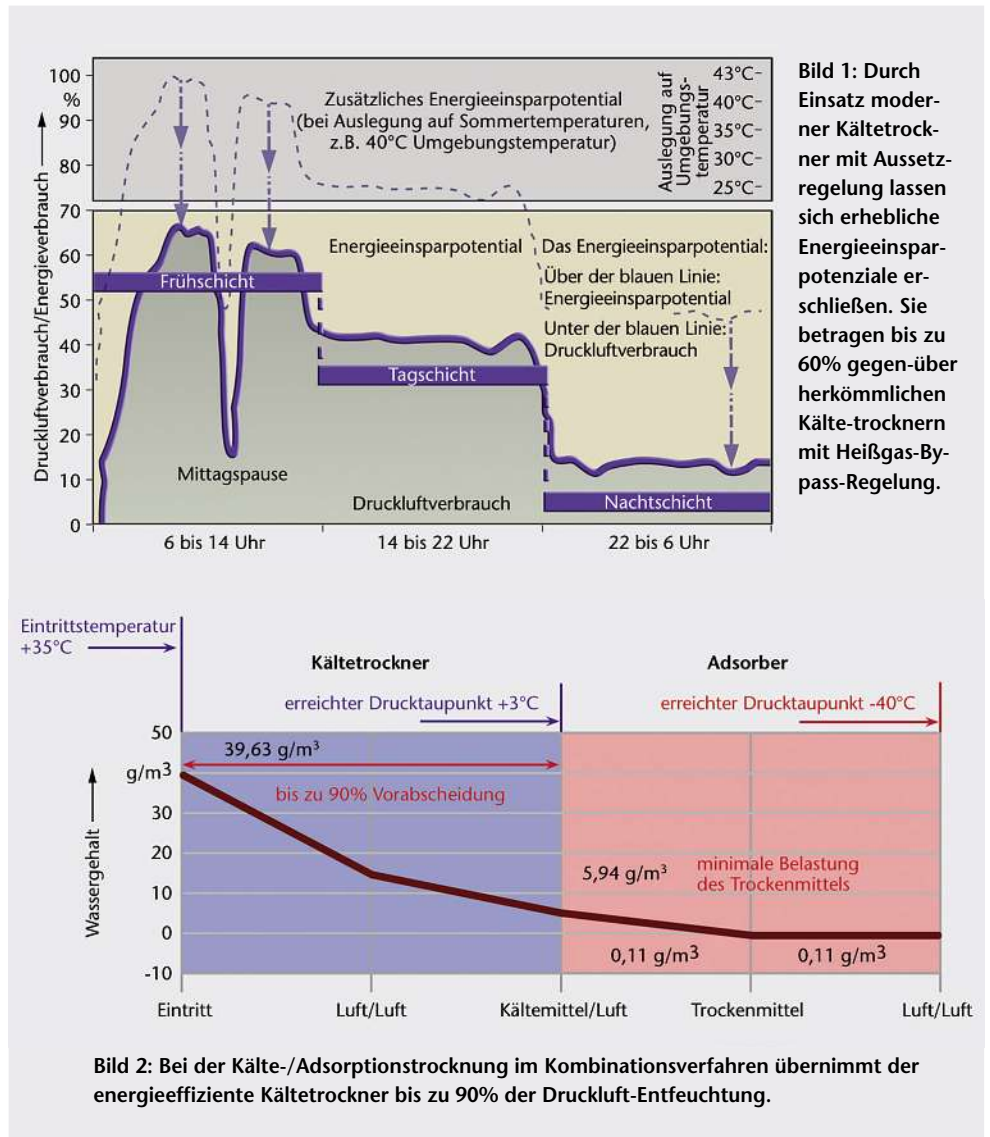
technik, dann kommen kalt- oder warmregenerierende Adsorptionstrockner zum Einsatz. Letztere sind zwar in der Anschaffung teurer und benötigen zudem mehr Wartung als Erstere, verursachen aber wegen ihres geringeren Energiebedarfs vergleichsweise niedrige Gesamtbetriebskosten. Sie sind ab Volumenströmen von etwa 15 m<sup>3</sup>/min wirtschaftlich einsetzbar.

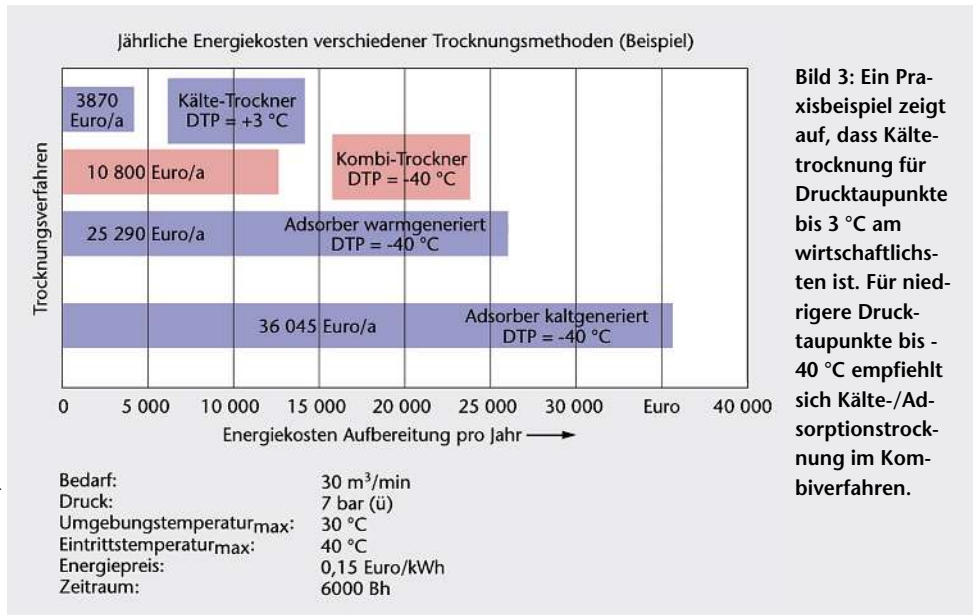
### Kombiniertes Verfahren für niedrige Drucktaupunkte

Niedrige Drucktaupunkte bis -40 °C lassen sich aber noch deutlich energieeffizienter durch ein kombiniertes Verfahren aus Kälte- und Adsorptionstrocknung erreichen. Dabei handelt es sich nicht um eine simple Serienschaltung von Kälte- und Adsorptionstrockner. Vielmehr ist in der zweistufigen Trockneranlage ein warmregenerierender Adsorber in den zugehörigen Kältetrockner gleichsam eingebaut: Zunächst entfuchtet der Kältetrockner die Druckluft energiesparend auf Drucktaupunkt-Werte von bis zu 3 °C. Die feuchte Luft gelangt dabei durch den

Luft-Luft-Wärmetauscher in den Luft-Kältemittel-Wärmetauscher und wird dort auf 3 °C abgekühlt. Nach dem Entfernen des kondensierten Wassers durch einen Kondensatabscheider strömt sie durch den Luft-Luft-Wärmetauscher, kühlt dort die vom Kompressor kommende feuchte Luft vor und verlässt den Trockner.

Die Schnittstelle zwischen Kälte- und Adsorptionstrockner liegt zwischen Kondensatabscheider und Luft-Luft-Wärmetauscher. Im Kombibetrieb wird dort der Luftstrom zum Einlass des Adsorptionstrockners umgeleitet. Um den Drucktaupunkt von -40 °C zu erreichen, muss der Adsorber nur noch rund 15% der ursprünglichen Feuchte aus der Luft entfernen; etwa 85% dieser Arbeit hat der Kältetrockner bereits getan (Bild 2). Dazu durchströmt die Luft abwechselnd einen der beiden Adsorptionsbehälter und gibt ihre Restfeuchte an das Trockenmittel (Adsorbens) ab. Danach gelangt sie über einen Staubfilter zum Luft-Luft-Wärmetauscher des Kältetrockners und schließlich zum Auslass. Gleichzeitig saugt ein Gebläse über einen Filter Umgebungsluft an. Sie wird aufgeheizt und durch das vom letzten Trockenzyklus wasserbeladene Trockenmittelbett des zweiten Adsorptionsbehälters geleitet. Der warme Luft-





**Bild 3:** Ein Praxisbeispiel zeigt auf, dass Kältetrocknung für Drucktaupunkte bis 3 °C am wirtschaftlichsten ist. Für niedrigere Drucktaupunkte bis -40 °C empfiehlt sich Kälte-/Adsorptionstrocknung im Kombiverfahren.

len, damit es gleich wieder einsatzbereit ist, wenn der andere Behälter mit Warmluft regeneriert werden muss.

**Absorber kann mit einem Bypass umgangen werden**

Der ohnehin stark reduzierte Arbeitsanteil des Adsorbers kann oft auf null gesenkt werden, wenn keine Frostgefahr besteht. Moderne Kombitrockner bieten dazu die Möglichkeit, den Adsorptionsteil per Bypass zu umgehen, so dass nur noch der energieeffizientere Kältetrockner aktiv ist.

Durch bloße Serienschaltung von Kälte- und Adsorptionstrockner ließe sich kein vergleichbarer Einspar-effekt erzielen: Im Kombitrockner tritt die Druckluft mit einer Temperatur von 3 °C und 100% Feuchtesättigung in den Adsorptionstrockner ein. Bei nachgeschaltetem separatem Adsorptionstrockner dagegen be trägt die Eintrittstemperatur der

strom lässt das Wasser aus dem Trockenmittel desorbieren und entfernt es aus dem Behälter. Sobald das Adsorbens fast trocken ist, wird der

Heizluftstrom gestoppt und stattdessen eine geringe Menge getrockneter Druckluft durch den Behälter geleitet. Sie soll das Trockenmittel abküh-

Druckluft nach ihrer Wiedererwärmung im Luft-Luft-Wärmetauscher etwa 28 °C. Bei gleichbleibender absoluter Feuchte ergeben sich am Adsorber-Eingang 20% relativer Feuchte. Diese niedrigere Eintrittsfeuchte und die höhere Eintrittstemperatur verringern die Kapazität des Trockenmittels um bis zu 80%. Die nötigen Gegenmaßnahmen (Einsatz von mehr Trockenmittel und größeren Behältern sowie Verkürzen der Zykluszeiten) führen zu höheren Anschaffungs-, Installations- und Energiekosten.

Kälte-Adsorptionstrocknung im Kombiverfahren ist auch dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn ganzjährig Drucktaupunkte unter 3 °C erreicht werden sollen. Verglichen mit einem einzelnen Adsorptionstrockner erlauben es die niedrigere Eintrittstemperatur bei Sättigung und die geringere Wasserbeladung, das Trockenmittel optimal auszunutzen und den Trockenmittelbedarf zu reduzieren. Kombitrockner können einen Drucktaupunkt von -40 °C bei voller Auslastung in einer Gesamtzykluszeit von 16 h erreichen. Einstufige Adsorptionstrockner haben oft einen Sechsstunden-Zyklus. Das bedeutet mehr Umschaltvorgänge zwischen den Trockenmittelbehältern.

### Energiekosten sinken um bis zu zwei Drittel

Außerdem liegt die Regenerationstemperatur der Kombitrockner um bis zu 50 °C unter der einstufigen Adsorptionstrockner und sie muss weniger lang aufrechterhalten werden. Somit lässt sich erheblich Heizenergie einsparen. Im Vergleich zu einstufigen warmregenerierenden Adsorptionstrocknern kann das Kombiverfahren die Energiekosten bei viermonatigen Frostperioden um bis zu 67% verringern. Bei ganzjährig erforderlichem Drucktaupunkt von -40 °C lassen sich immerhin noch bis zu 50% Kosten einsparen. Außerdem kann der Energiebedarf mit Teillastregelungen weiter gesenkt werden.

Der Kostenvergleich anhand eines Praxisbeispiels (Bild 3) bestätigt: Kältetrocknung ist als Standardverfahren für Drucktaupunkte bis 3 °C am wirtschaftlichsten. Für niedrigere Drucktaupunkte bis -40 °C empfiehlt sich Kälte-Adsorptionstrocknung im Kombiverfahren. Entsprechende Trockner gibt es für Volumenströme ab 20 m<sup>3</sup>/min. Sie sind zwar konstruktiv anspruchsvoller und teurer in

der Anschaffung als einstufige warmregenerierende Adsorptionstrockner, doch die Investition lohnt sich wegen höherer Effizienz und sie amortisiert sich rasch: bei einem mittleren Strompreis von 0,15 Euro pro Kilowattstunde und 8760 jährlichen Betriebsstunden zum Beispiel innerhalb eines knappen Jahres. (Die Daten beziehen sich auf einen Betrieb nach ISO 7183, Option A). **MM**