

# ENERGIESPARENDE VERDAMPFERKONSTRUKTION

Die Kälteanlage ist ein zentraler Bestandteil der industriellen Produktion und der Gebäudeklimatisierung. Sie transportiert überschüssige Wärme ab, verursacht aber auch einen Großteil der Betriebskosten – ein Grund, warum Kälteanlagen ständig weiter entwickelt werden. Interessante Potenziale bieten Wärmeaustauscher – besonders die Verdampfer.

TEXT: Klaus Reisner, Reisner BILDER: Reisner  [www.PuA24.net/PDF/PAK8811880](http://www.PuA24.net/PDF/PAK8811880)

Im Verdampfer einer Verdichterkältemaschine nimmt das Kältemittel Wärme aus einem Kühlmedium auf. Es gilt, je näher die Verdampfungstemperatur an der Temperatur des Kühlmediums liegt, desto effizienter arbeitet die Kälteanlage. Ein aussagekräftiger Kennwert gibt das Verhältnis zwischen Kälteleistung und elektrischer Energieaufnahme an, zeigt also, wie effizient die Kälteanlage arbeitet. Dabei handelt es sich um die Carnot'sche Leistungszahl  $\epsilon$  (Epsilon). Als Synonym wird auch der englische Terminus Coefficient of Performance (COP) verwendet. Zur Berechnung der Leistungszahl benötigt man unter Berücksichtigung der beiden Hauptsätze der Thermodynamik zwei Kriterien: Verdampfungstemperatur ( $T_o$ ) und Kondensationstemperatur ( $T_c$ ). Diese stehen in folgendem physikalischen Zusammenhang:

$$\epsilon = \frac{T_o}{T_c - T_o}$$

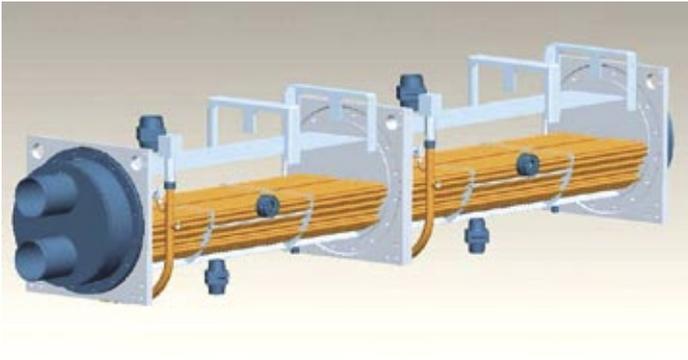
Wie die Gleichung zeigt, steigt mit steigender Verdampfungstemperatur  $T_o$  die Leistungszahl. Der Hintergrund liegt darin, dass die Wärmeaufnahme im Verdampfer stattfindet. Das Kältemittel wird flüssig eingespritzt und verdampft, wodurch es Wärme aufnimmt. Dabei stellt sich der Verdampfungsdruck ein, der mit der Verdampfungstemperatur proportional einhergeht. Bei höherem Druck und damit höherer Gasdichte wird immer mehr Kältemittelmasse (Kältemittelmassestrom kg/h) transportiert und so mehr Kälteleistung erbracht. Schließlich saugt der Verdichter das gasförmige Kältemittel an, komprimiert es und bringt die Wärmeenergie auf ein hohes Temperaturniveau, damit sie im Kondensator abgegeben werden kann. Hier wechselt das Kältemittel in den flüs-

sigen Aggregatzustand, um durch ein Expansionsventil wieder in den Verdampfer eingespritzt zu werden – der Kreislauf beginnt erneut. Im Verdampfer strömt die Wärme aus dem Kaltwasser ins Kältemittel, weil das Kaltwasser eine höhere Temperatur als das Kältemittel hat. Der Wärmestrom  $Q_o$  entspricht der gewünschten Kälteleistung. Damit folgt der Verdampfer den allgemeinen Transportgesetzen für Wärme. Entscheidend für den erfolgreichen Wärmeaustausch sind die Temperaturdifferenz zwischen Kältemittel und Kaltwasser sowie der Wärmeübergang an den Oberflächen.

## Einspritzverdampfer als Standardlösung

Üblicherweise kommen in Industrie- und Klimaanwendungen Einspritzverdampfer in Bündelrohrbauweise zum Einsatz. Hier wird das Kältemittel flüssig in die Bündelrohre im Inneren eingespritzt, während das Kaltwasser sich im Mantelraum befindet. Wenn das Kältemittel verdampft, entsteht dabei ein Gasstrom. In der Nähe des Eintritts ist das Kältemittel noch flüssig, in der Nähe des Austritts möglichst vollständig verdampft. Das Kältemittel nimmt während der gesamten Verweildauer im Verdampfer Wärme auf. Zunächst setzt es diese um, indem es verdampft. Anschließend gasförmig, erhöht es durch die Wärmeaufnahme seine Temperatur. Dieser Vorgang wird als Überhitzung des Gases gegenüber der Verdampfungstemperatur bezeichnet. So sinkt die Temperaturdifferenz zwischen außen und innen, was den Wärmedurchgang erschwert. Vor allem aber ist der Wärmeübergang beim gasförmigen Kältemittel viel schlechter.

Einspritzverdampfer müssen so ausgelegt werden, dass die Temperaturdifferenz auch nach der Überhitzung zur Wärme-



Schemazeichnung eines überfluteten Verdampfers: Das Kaltwasser fließt durch die Bündelrohre, die in einem Bad aus flüssigem, verdampfendem Kältemittel liegen.



Neues Kältesystem mit überflutetem Verdampfer. Der Epsilon-Turboverdichter arbeitet ölfrei, sodass keine Ölrückführung erforderlich ist.

übertragung ausreicht und im Mittel 5 K beträgt. Das führt zu einer relativ niedrigen, ungünstigen Verdampfungstemperatur. Tritt das Kaltwasser mit 12 °C in den Verdampfer ein und mit 6 °C aus, muss die Verdampfungstemperatur 1 °C betragen. Da sich beim Einspritzverdampfer die Überhitzung nicht umgehen lässt, kann die Effizienz nur durch die Gestaltung der Oberflächen beeinflusst werden. Sie sollten groß bemessen und aufgeraut sein. Weil Verschmutzungen den Wärmeaustausch beeinträchtigen, muss der Verdampfer häufig gereinigt werden, was mit Aufwand verbunden ist.

Neue, so genannte überflutete Verdampfer vermeiden eine Überhitzung weitgehend. Ähnliche Systeme wurden schon früher eingesetzt, aber aufgrund anderer technischer Komplikationen verworfen – nun sind sie ausgereift. Die Besonderheit liegt darin, dass das Kaltwasser durch die Rohre strömt, während diese im Mantel in einem Bad von flüssigem, verdampfenden Kältemittel liegen. Das Kältemittel wird oberhalb des Mantels abgesaugt. So berührt es im flüssigen Zustand alle Kontaktteile, eine Überhitzung des Gases findet nahezu nicht statt. Lediglich etwas Überhitzung im Nachgang ist für die Prozessstabilität erforderlich. Daher ist der überflutete Verdampfer so auslegbar, dass die sich Verdampfungstemperatur der Wassertemperatur annähert. Das siedende Kältemittel bietet bei konstanter Temperatur über die gesamte verfügbare Wärmeaustauschfläche einen optimalen Wärmeübergang. Weil das Kaltwasser sinnvoll durch die Rohre geführt wird, hat es lange Kontakt zum Kältemittel.

Diese Bauform bringt jedoch mit sich, dass eine große Kältemittelmenge in der Anlage vorgehalten werden muss. Daher sind besondere Kontrollen gegen Undichtigkeiten sinnvoll. Eine weitere Anforderung des überfluteten Verdampfers hängt mit dem Maschinenöl zusammen. Schrauben- und Hubkolbenverdichter benötigen Öl, welches sie auch auswerfen, wodurch es zwangsläufig in den Verdampfer gelangt. Bei Einspritzverdampfern tritt es wieder aus, ohne Schaden anzurichten.

In überfluteten Verdampfern jedoch mischt sich das Kältemittel auf Dauer mit dem Öl, bis die Verölung den Prozess zum Erliegen bringt. Deshalb muss das Kältemaschinenöl hier rückgeführt werden. Die dazu nötige Technik wird inzwischen gut beherrscht, hat aber den Nachteil, dass sie einen Bypass zwischen Kondensator- und Verdampferseite der Anlage beinhaltet, der die Leistungszahl etwas verschlechtert.

### Verbrauch um knapp 20 Prozent gesenkt

Alle Nachteile der überfluteten Verdampferbauweise sind inzwischen durch den thermodynamischen Nutzen aufgewogen (Kältemittelmenge) oder werden sukzessive abgebaut. So sind immer bessere Ölabscheider für Kälteanlagen verfügbar, die den Leistungszahlverlust absehbar weiter reduzieren werden. Die wichtigste Perspektive bietet jedoch der Markterfolg sogenannter Turboverdichter, die gänzlich ölfrei arbeiten und schon an sich den Energieverbrauch deutlich senken. Das energetische Potenzial der überfluteten Verdampfer liegt auf der Hand, wenn man das eingangs angeführte Beispiel betrachtet.

Kommt hier ein überfluteter Verdampfer zum Einsatz, lassen sich an Stelle von 1 °C Verdampfungstemperatur 5 °C oder gar 5,5 °C veranschlagen. Dadurch ergibt sich im angenommenen Betriebspunkt bei sonst normaler Umgebung eine Leistungszahl von 5,0, während der Einspritzverdampfer nur eine Leistungszahl von 4,2 erzielt. Wie der Energieverbrauch dann sinkt, lässt sich ermitteln, indem man die erhöhte Leistungszahl durch die ursprüngliche Leistungszahl teilt. In diesem Fall ergibt sich die erhebliche Energieeinsparung von  $5/4,2 = 1,19$ , was also einer Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 19 Prozent entspricht. Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist, dass man die Wasserseite komfortabel mit Hilfe einer Siederohrbürste reinigen kann, um den Wärmeaustausch optimal zu halten. □

> MORE@CLICK PAK8811880