

Kälte aus Wärme

# Integration von Sorptionskältemaschinen in die Haustechnik

Thermisch angetriebene Kältemaschinen galten lange Zeit als unwirtschaftlich. Jedoch kann sich die Nutzung von Wärme zum Antrieb von Kältemaschinen lohnen – vor allem für Kühlaufgaben mit einem großen Anteil ganzjähriger innerer Kühllasten. Immer unter der Voraussetzung einer individuellen Projektplanung und Machbarkeitsanalyse. Um ein thermisches Kältesystem aufzubauen, müssen einige Details beachtet werden.

**A**nstatt teuren Stroms einfach Solar-, Fern- oder Abwärme zum Antrieb von Kältemaschinen nutzen – diesem Anspruch folgen Sorptionskältemaschinen, die mit festen oder flüssigen Arbeitsstoffen, den Sorbentien, arbeiten. Galt noch bis vor rd. 10 Jahren, dass thermisch angetriebene Kältemaschinen unter 50 kW keine Daseinsberechtigung am Markt haben, so hat sich das Bild doch entscheidend gewandelt. Ab- und vor allem Adsorptionskältemaschinen auch im kleinen und mittleren Leistungsbereich sind praxiserprobt und am Markt verfügbar.

## Sorptionskältemaschinen

Bei Sorptionskältemaschinen wird das Kältemittel nicht wie bei einer konventionellen Kompressionskältemaschine durch einen mechanisch/elektrisch getriebenen Kompressor verdichtet. Ein thermischer Verdichter, der neben dem Kältemittel einen zweiten Arbeits-

stoff enthält, übernimmt diese Funktion. Im Fall der mit Wasser als Kältemittel arbeitenden Adsorptionskältemaschinen eignet sich hierzu vor allem Silikagel als stark hygroskopisches und zudem umweltschonendes Adsorbens. Mit der vorhandenen Heiz- bzw. Antriebswärme wird das verdampfte und anschließend gebundene Kältemittel wieder ausgetrieben und dem Verflüssiger zugeführt (*Bild 1*). Elektroenergie ist lediglich dazu nötig, die Medienvolumenströme umzupumpen und die gesamte aufgenommene Wärme über Rückkühlaggregate wieder an die Umgebung abzugeben. Somit können je nach Einsatzgebiet Jahresarbeitszahlen von 10 bis 20 erzielt werden. Im Vergleich dazu erzielen solide arbeitende Kompressionskältemaschinen unter identischen Bedingungen bestenfalls Jahresarbeitszahlen von 3,5 bis 4,5.

Besonders die Tatsache, dass bereits mit Antriebstemperaturen ab 65 °C ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein kann, macht Adsorptionskältemaschinen interessant. Gerade im Sommer ist das Temperaturniveau von rd. 70 °C als Ergebnis vielfältiger Energieumwandlungsprozesse verfügbar.

Weil weniger Heizwärme benötigt wird und zudem Verluste minimiert werden müssen, senken Energieversorger die Temperatur ihrer Fernwärmenetze bei entsprechend hohen Außentemperaturen. Blockheizkraftwerke (BHKW), vor allem im niedrigen Leistungsbereich, arbeiten i. d. R. zuverlässiger und

verschleißärmer bei Kühlwassertemperaturen um 70 °C. Mit solarthermischen Kollektoren können durchaus höhere Temperaturen erzeugt werden – im Tagesmittel erreichen Flachkollektoren in unserer Klimazone aber selten mehr als 80 °C. Dem immensen ungenutzten Wärmeangebot im Sommer steht vielerorts ein entsprechender Kühlungs- oder Klimatisierungsbedarf entgegen.

## Projektorientiertes Planen

Um Sorptionskältemaschinen zielführend zu nutzen, ist besonderes Augenmerk bei Planung, Projektierung und Umsetzung thermischer Kühlsysteme erforderlich. Soll durch Einsatz von thermisch angetriebenen Kältemaschinen signifikant Strom eingespart werden, muss im Vorfeld genau analysiert werden, inwiefern ein Projekt hierfür geeignet ist. Nicht jede zunächst geeignet scheinende Kühlaufgabe kann mit »thermischer Kälte« wirtschaftlich oder energetisch sinnvoll gelöst werden. Sowohl die Nutzungscharakteristik – vor allem die zu erwartenden Kühllaststunden –, als auch die Systemintegration der Ad-/Absorptionskältemaschinen haben entscheidenden Einfluss auf die Performance und damit die Sinnhaftigkeit derartiger Anlagen.

Bei Kompressionskältemaschinen werden Kälteleistung und Leistungszahl (Energy Efficiency Ratio, EER) im Wesentlichen von Verdampfungs- und Kondensations-temperatur, also von Kaltwasser und Umgebungstemperatur, beeinflusst. Bei Sorptionskältemaschinen kommt eine weitere, die Performance beeinflussende Größe hinzu: die Antriebstemperatur. Nur die entsprechende Berücksichtigung aller drei Temperaturniveaus lässt einen gültigen Rückschluss auf die zu erwartende Kälteleistung und den zugehörigen thermischen Coefficient of Performance (COP), dem Quotienten aus Kälte- und Antriebsleistung, zu. Die üblicherweise von den Kältemaschinenherstellern angegebene Nennleistung erreichen die Maschinen nur unter Nennbedingungen. Eine einheitliche Charakterisierung hat sich hierbei nicht etabliert. Angegeben werden auf den Typenschildern unterschiedliche zugrunde gelegte Nennbedingungen. Für die Dimen-



Thomas Büttner,  
Inhaber, Green-Engi-  
neers, Planungsbüro für  
thermische Kälteerzeu-  
gung, Leipzig

sionierung und Auslegung von Sorptionskältemaschinen kann demzufolge das Typenschild ignoriert werden. Nur die bereitgestellten Kennlinienfelder oder Tabellen lassen verbindliche Rückschlüsse auf die zu erwartende Performance zu und stellen eine Grundlage für das Systemlayout dar.

Um Adsorptionskältemaschinen optimal für Klimatisierungsaufgaben einzusetzen, gilt es anfänglich zu eruieren, welche Kaltwassertemperaturen tatsächlich benötigt werden, um die Wärme aus dem zu kühlenden Raum abzuführen. Üblich ist in der konventionellen Kälte-/Klimatechnik ein Standard-Temperaturniveau von 7 bis 12 °C. Kühlregister, Fan Coils (Klimakonvektoren), Deckenkassetten usw. werden dementsprechend dimensioniert und installiert. Adsorptionskältemaschinen sollten mit höheren Kaltwassertemperaturen betrieben werden. Ihre Performance wird negativ durch ein zu niedrig gewähltes Kaltwassertemperaturniveau beeinflusst, vor allem wenn verhältnismäßig geringe Antriebs- und hohe Rückkühltemperaturen zu erwarten sind (Bild 2). Eine Auslegung von Fan Coils auf beispielsweise 10 bis 15 °C bedingt geringfügig größere Wärmeübertragerflächen, zahlt sich aber durch eine bessere Effizienz aus.

### Bestmögliche Kühlung

Ideal für die Kopplung mit thermischen Kältemaschinen eignen sich stille Kühlelemente (Kühlbalken bzw. -segel) oder Flächenkühlung. Bei der Flächenkühlung werden wie bei der Betonkernaktivierung oder der Fußbodenheizung Rohrschlangen oder optimalerweise Kapillarrohrmatten (Bild 3) in den Wand- oder Deckenaufbau integriert. Diese Einbauten können sowohl zum Kühlen als auch zum Heizen genutzt werden. Weil eine Unterschreitung des Taupunkts zu vermeiden ist, werden hierbei Kaltwassertemperaturen von 16 bis 19 °C bei einem  $\Delta T$  von 2 bis 3 K gewählt. Unter diesen optimalen Bedingungen können Adsorptionskältemaschinen ihren energetischen Vorteil gegenüber Kompressionskältemaschinen ausspielen.

Zudem ist stille Kühlung oder Flächenkühlung aus physiologischen Aspekten zu bevorzugen. Die Wärmeübertragung basiert hierbei

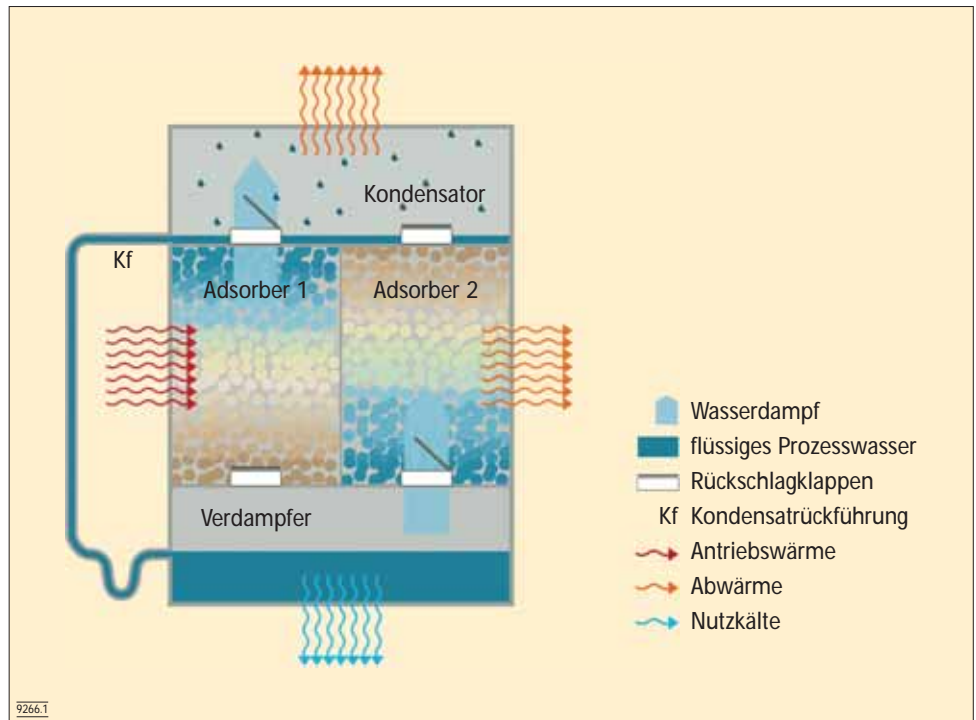


Bild 1. Funktionsprinzip einer Adsorptionskältemaschine

Quelle: Sortech

nicht auf dem Prinzip der erzwungenen Konvektion mit Ventilatoren. Die Raumluft wird durch natürliche Konvektion abgekühlt, völlig geräuschlos und ohne Zugluftströmungen. Grenzen sind dieser Art der Kälteverteilung allerdings gesetzt, wenn signifikante Feuchte-lasten zu berücksichtigen sind.

### Rückkühlung

Eine besondere Bedeutung für die energetische Effizienz und die Wirtschaftlichkeit aller Sorptionskältemaschinen kommt der Rückkühlung zu. Die mehr als doppelt so hohen Wärmeströme gegenüber einer Kompressionskältemaschine

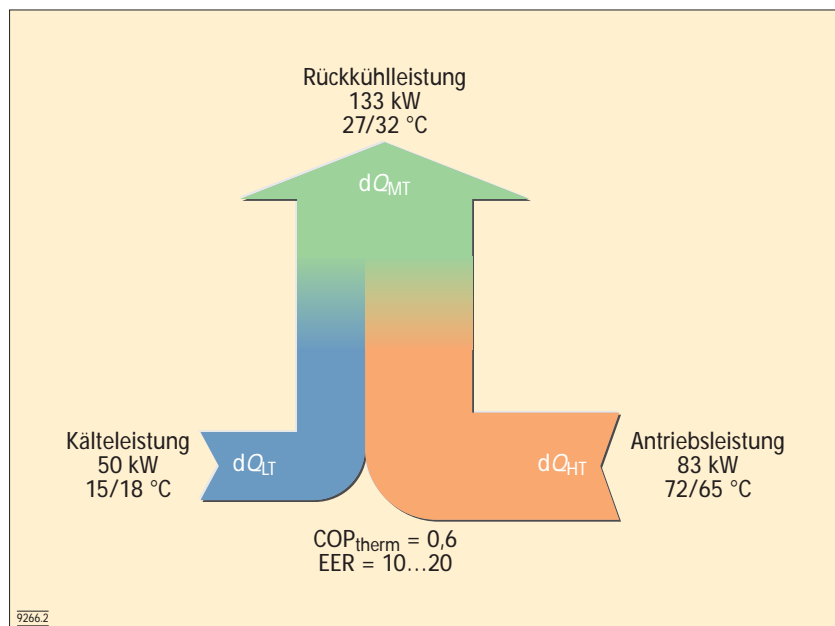


Bild 2. Energieflussbild für den Nennarbeitspunkt einer Adsorptionskältemaschine



Bild 3. Kapillarrohrrmatte als Flächenkühlung

Quelle: Beka Heiz- und Kühlmatten

müssen mit möglichst geringem Zusatzaufwand abgeführt werden. Große Wärmeübertragerflächen sind notwendig, um mit niedrigem Elektroenergieaufwand für die Lüfter eines Tischrückkühlers die Rückkühltemperatur möglichst gering zu halten. Nicht selten stellt der Strombedarf des Rückkühlers den größten Konsumenten an Elektroenergie eines thermischen Kühlsystems dar. Das Rückkühl-Temperaturniveau beeinflusst auch die Kälteleistung und den COP. Dimensionierungsfehler treten in der Praxis dahingehend auf, dass nicht die jeweils auslegungsrelevante sommerliche Außentemperatur, sondern die angegebene nominale Rückkühltemperatur zugrunde gelegt wird. Hierdurch können Differen-

zen zwischen Soll- und Ist-Performance entstehen, die es zu vermeiden gilt.

Von Vorteil ist es, projektspezifisch nach außenluftunabhängigen Rückkühlösungen zu suchen. Oft können geeignete Wärmesenken identifiziert und eingebunden werden, die die thermische wie auch die elektrische Effizienz des thermischen Kühlsystems positiv beeinflussen. So bieten sich z. B. Swimmingpools, Rückhaltebecken, Erdsonden oder Brunnen als vollständige oder partielle Rückkühlösung an. Auch der notwendige Aufwand für eine unterstützende Brauchwasservorwärmung kann sich lohnen und eine Option darstellen. Gelingt es, die konsumierte Elektroenergie für die Rückkühlung durch

Eliminierung von Ventilatoren zu reduzieren, können Jahresarbeitszahlen > 20 dargestellt werden.

Universell einsetzbar sind neben den eher wartungsintensiven Nasskühltürmen trockene Rückkühler. Bewährt hat sich das von der SorTech AG in Halle entwickelte Konzept, einen Tischrückkühler mit stufenlos angesteuerten Hocheffizienzlüftern und adaptierter Frischwasserbesprühung zu versehen (Bild 4). Der Vorteil des Konzepts liegt darin, dass zunächst nur so viel Elektroenergie konsumiert wird, wie der Adsorptionsprozess für die Darstellung der geforderten Kühlleistung benötigt. Die nur temporär aktive Frischwasserbesprühung düst an den heißesten Betriebsstunden im Jahr geringe Mengen Wasser in den Zuluftstrom und senkt damit die Rückkühltemperatur je nach Luftfeuchte um zusätzliche 1 bis 2 K ab. Somit arbeitet die Kältemaschine im Sommer effizienter, und die für die Auslegung relevante Kälteleistung wird leicht erhöht, was sich wiederum positiv auf die Investitionskosten auswirkt.

#### Kombination mit Kompressionskältemaschinen

Wird ein thermisches Kühlsystem auf maximale Kühllast ausgelegt, kann das – je nach Kühllastprofil des Objekts – oft dazu führen, dass das System nicht besonders wirtschaftlich wird. Es kann sinnvoll sein, Sorptions- und Kompressionskältetechnik zu kombinieren. Werden die preisintensiven thermischen Kältemaschinen als Grundlastaggregate eingesetzt, resultieren daraus höhere Vollbenutzungsstundenzahlen und somit kürzere Amortisationszeiten. Die preisgünstigeren Kompressionskältemaschinen stehen als Backup- oder Spitzenlastaggregate für die begrenzte Anzahl an Stunden hoher Kühllasten zur Verfügung. Ob eine derartige Verbundanlage zweckmäßig und empfehlenswert ist, kann wiederum nur projektspezifisch beantwortet werden.

#### Fazit

Die Investitionskosten eines thermischen Kühlsystems liegen i. d. R. zwischen Faktor 3 bis 5 über denen einer konventionellen Lösung. Zu rechtfertigen sind diese beträchtlichen Mehrkosten nur durch signifi-

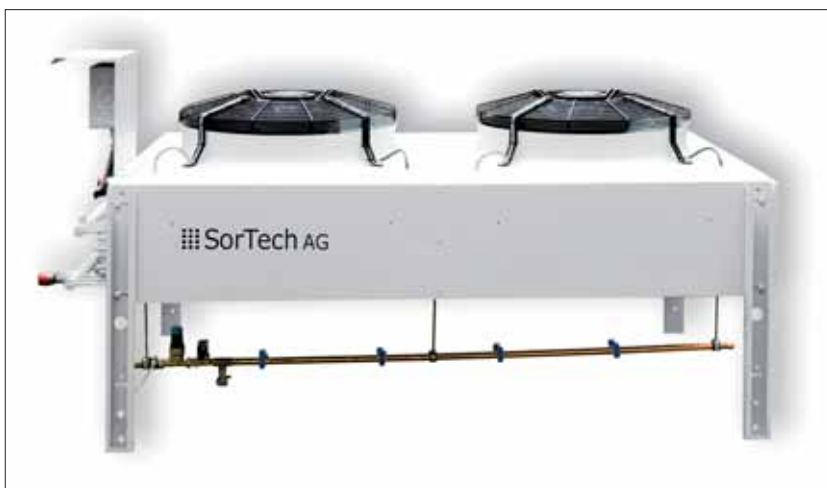


Bild 4. Hocheffizienz-Rückkühler Typ RCS08 mit Frischwasserbesprühfunktion

Quelle: SorTech

kant reduzierte und kalkulierbare Betriebskosten über den gesamten Betrachtungszeitraum. Daher kommt einer intensiven Vorbeurteilung bzw. Machbarkeitsanalyse sowie einer gründlichen und alle Aspekte berücksichtigenden Projektierung eine entscheidende Bedeutung zu. Konventionelle Planungsansätze führen selten zum gewünschten Einspareffekt. Abgestimmte Rohrquerschnitte, hocheffiziente und drehzahlregelbare Pumpen sowie großzügig dimensionierte Wärmeübertrager sind genauso wichtig wie eine intelligente

Regelung aller Komponenten im System.

Vor allem für Kühlaufgaben mit einem überwiegenden Anteil ganzjähriger innerer Kühllasten, z. B. Rechenzentren und Serverräume, sind thermische Kühlsysteme lukrativ. Perspektivisch stetig steigende Preise für Elektroenergie sowie entsprechende gesetzliche Regelungen, z. B. Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz, sollten schon jetzt in eine Pro-/Contra-Betrachtung einbezogen werden.

In energieintensiven Industrieunternehmen, bei Energieversorgern

oder bei Betreibern von BHKW ruhen immense Einsparpotenziale an Elektroenergie. Thermische Kühlung kann als bewährte und zukunftsfähige Technologie helfen, diese Potenziale zu erschließen und die eingesetzten Brennstoffe effizienter zu nutzen. Darüber hinaus können erhebliche Mengen an Kältemittelleckagen und CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden, die Umwelt entlastet und vorhandene Ressourcen geschont werden. ■

[info@green-engineers.de](mailto:info@green-engineers.de)

[www.green-engineers.de](http://www.green-engineers.de)

Anzeige