

Kühlsysteme

# Kälte aus Wärme

Systemintegration thermisch angetriebener Kältemaschinen in die Haustechnik

Sonderteil

Seit einigen Jahren sind thermisch angetriebene Kältemaschinen auch im kleineren Leistungsbereich erhältlich. Der Grundgedanke, aus überschüssiger Wärme Kälte zu erzeugen ist im Kontext stetig steigender Preise für Elektroenergie naheliegend. Um ein energetisch und wirtschaftlich sinnvolles thermisches Kühlsystem zu realisieren, bedarf es einer genauen Machbarkeitsanalyse im Vorfeld und einer individuellen Projektplanung. Details entscheiden über die erwünschte Stromersparung.

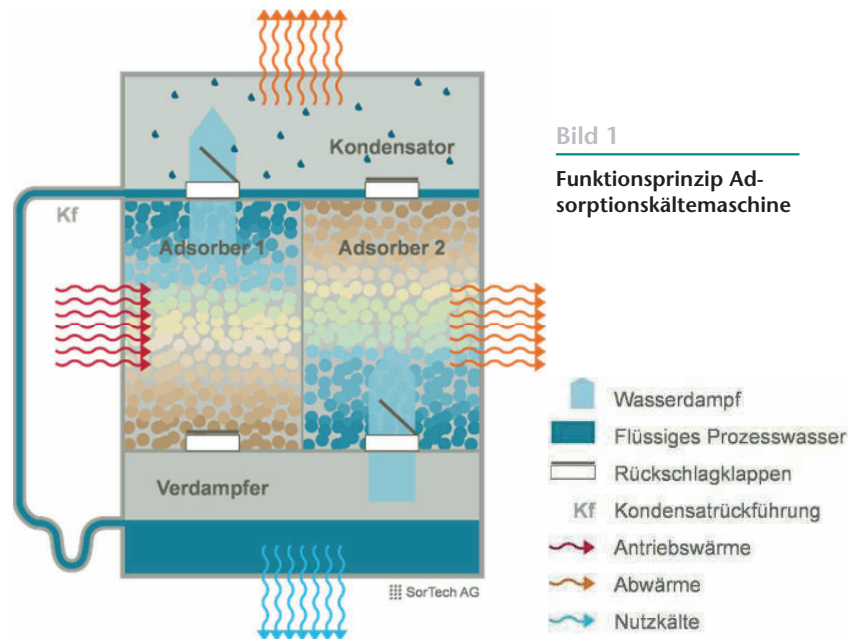


Bild 1  
Funktionsprinzip Adsorptionskältemaschine

Thomas Büttner, Leipzig

Anstatt teurem Strom einfach Solar-, Fern- oder Abwärme zum Antrieb von Kältemaschinen nutzen! Diesem sinnvollen Anspruch folgen Sorptionskältemaschinen, die mit festen oder flüssigen Arbeitsstoffen, so genannten Sorbentien, arbeiten. Galt

noch bis vor ca. 10 Jahren, dass thermisch angetriebene Kältemaschinen unter 50 kW keine Daseinsberechtigung am Markt haben, so hat sich heute das Bild doch entscheidend gewandelt. Ab- und insbesondere Adsorptionskältemaschinen auch im kleinen und mittleren Leistungsbereich sind heute praxiserprobt und am Markt verfügbar.

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.

Bei Sorptionskältemaschinen wird das Kältemittel nicht wie bei einer konventionellen Kompressionskältemaschine durch einen mechanisch / elektrisch getriebenen Kompressor verdichtet. Ein so genannter thermischer Verdichter, der neben dem Kältemittel einen zweiten Arbeitsstoff beinhaltet, übernimmt diese Funktion. Im Falle der mit Wasser als Kältemittel arbeitenden Adsorptionskältemaschinen eignet sich hierzu vor allem Silikagel als stark hygroskopisches und zudem äußerst umweltfreundliches 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 Medien volumenströme umzupumpen und die gesamte aufgenommene Wärme über Rückkühlaggregate wieder an die

Besonders die Tatsache, dass bereits mit Antriebstemperaturen ab 65 °C ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein kann, macht Adsorptionskältemaschinen (Bild 2) interessant für unterschiedlichste Applikationen. Gerade im Sommer ist das Temperaturniveau von ca. 70 °C als Ergebnis vielfältigster Energieumwandlungsprozesse verfügbar.

Weil weniger Heizwärme benötigt wird und zu dem Verluste minimiert werden müssen, senken Energieversorger die Temperatur ihrer Fernwärmenetze bei entsprechend hohen Außentemperaturen ab. Blockheizkraftwerke, insbesondere die im kleinen Leistungsbereich, arbeiten in der Regel zuverlässiger und verschleißärmer bei Kühlwassertemperaturen um ca. 70 °C. Mit solarthermischen Kollektoren können durchaus höhere Temperaturen erzeugt werden; im Tagesmittel erreichen Flachkollektoren in unserer Klimazone aber selten mehr als 80 °C.

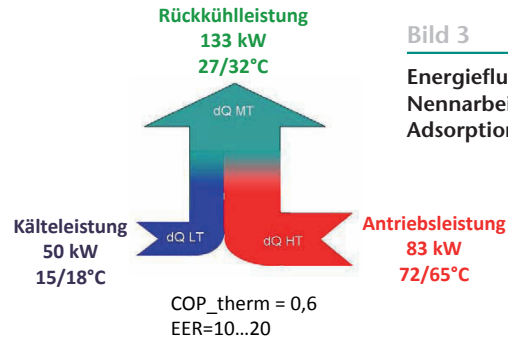
## Autor



Dipl.-Ing. (FH) Thomas Büttner studierte Energietechnik an der HTWK Leipzig und Civil Engineering an der University of Birmingham. Geschäftsführender Inhaber des Planungsbüros green-engineers, Leipzig. Schwerpunkte: Projektentwicklung, Planung/Projektierung, Beratung und Weiterbildung im Bereich Thermische / Solare Kühlung. [www.green-engineers.de](http://www.green-engineers.de)



**Bild 2**  
Adsorptionskältemaschine Typ ACS15



**Bild 3**  
Energieflussbild für den Nennarbeitspunkt einer Adsorptionskältemaschine

Dem immensen ungenutzten Wärmeangebot im Sommer steht vielerorts ein entsprechender Kühlungs- oder Klimatisierungsbedarf entgegen. Diese Kühllasten nicht wie üblich mit elektroenergieintensiven Kompressionskältemaschinen zu decken, legt den Einsatz von Sorptionskältemaschinen grundsätzlich nahe.

**Nicht für jede Kühlaufgabe als Lösung geeignet**

Um diesen generell sinnvollen Ansatz auch zielführend umzusetzen, ist jedoch besonderes Augenmerk bei Planung, Projektierung und Umsetzung thermischer Kühlsysteme erforderlich. Soll durch Einsatz von thermisch angetriebenen Kältemaschinen nennenswert Strom eingespart werden, muss im Vorfeld genau analysiert werden, inwiefern ein Projekt hierfür generell geeignet ist. Nicht jede zunächst geeignet scheinende Kühlaufgabe kann mittels „thermischer Kälte“ wirtschaftlich oder energetisch sinnvoll gelöst werden. Sowohl die Nutzungscharakteristik – insbesondere 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 (EER) im Wesentlichen von Verdampfungs- und Kondensationstemperatur, 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 COP, dem Quotienten aus Kälte- und Antriebsleistung, zu. Die üblicherweise von den Kältemaschinenher-

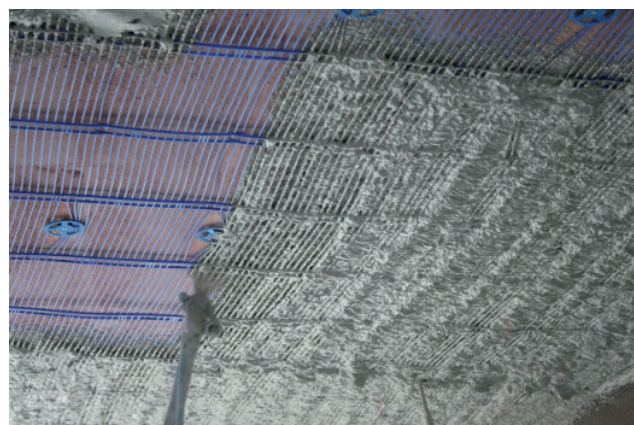
stellern angegebene Nennleistung erreichen die Maschinen auch nur unter Nennbedingungen. Eine einheitliche Charakterisierung hat sich hierbei leider nicht etabliert. Angegeben werden auf den Typenschildern unterschiedliche zu Grunde gelegte Nennbedingungen. Für die Dimensionierung und Auslegung von Sorptionskältemaschinen kann demzufolge das Typenschild getrost ignoriert werden. Nur die bereit gestellten Kennlinienfelder oder Tabellen lassen verbindliche Rückschlüsse auf die zu erwartende Performance zu und stellen eine belastbare Grundlage für das System-Layout dar.

Um beispielsweise 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 7/12 °C. Klimakonvektoren, Fan Coils, Deckenkassetten, etc. werden dem entsprechend dimensioniert und installiert. Adsorptionskäl-

temaschinen sollten wenn möglich mit höheren Kaltwassertemperaturen betrieben werden (**Bild 3**). Ihre Performance wird negativ durch ein zu niedrig gewähltes Kaltwassertemperaturniveau beeinflusst, vor allem, wenn verhältnismäßig geringe Antriebs- und hohe Rückkühltemperaturen zu erwarten sind. Eine Auslegung von Fan Coils auf beispielsweise 10/15 °C bedingt geringfügig größere Wärmetauscherflächen, zahlt sich aber durch eine erheblich bessere Effizienz aus.

Ideal für die Kopplung mit thermischen Kältemaschinen eignen sich stille Kühlelemente (Kühlbalken bzw. -segel) oder Flächenkühlung. Letzteres bedeutet, dass wie bei der Betonkernaktivierung oder der Fußbodenheizung Rohrschlangen oder besser noch Kapillarrohmatten in den Wand- oder Deckenaufbau integriert werden (**Bild 4**). Diese Einbauten können zweifach, also zum kühlen und heizen, genutzt werden. Weil eine Unterschreitung des Taupunkts zwingend zu vermeiden ist, werden hierbei Kaltwassertemperaturen von 16–19 °C bei einem  $\Delta T$  von 2–3 K gewählt. Unter diesen optimalen Bedin-



**Bild 4**  
Kapillarrohmatte als Flächenkühlung

Bild: Beka Heiz- und Kühlmatten GmbH, Berlin

gungen spielen Adsorptionskältemaschinen Ihren energetischen Vorteil gegenüber Kompressionskältemaschinen deutlich aus.

Zudem ist stille Kühlung oder Flächenkühlung aus physiologischen Aspekten zu bevorzugen. Die Wärmeübertragung basiert hierbei nicht wie beispielsweise bei Fan Coils auf dem Prinzip der erzwungenen Konvektion mittels Ventilatoren. Vielmehr erfolgt die Abkühlung der Raumluft auf sanftem Wege durch natürliche Konvektion, völlig geräuschlos und ohne lästige Zugluftströmungen. Grenzen sind dieser Art der Kälteverteilung allerdings gesetzt, wenn signifikante Feuchtelasten zu berücksichtigen sind.

### Außenluftunabhängige Rückkühlösungen suchen

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 müssen mit möglichst geringem Zusatzaufwand abgeführt werden. Große Wärmetauscherflächen 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 bei einem thermischen Kühlsystem dar. Zu beachten ist ferner, dass das Rückkühl-Temperaturniveau erheblichen Einfluss auf Kälteleistung und COP hat. Dimensionierungsfehler treten in der Praxis dahingehend auf, dass nicht die jeweils auslegungsrelevante sommerliche Außentemperatur, sondern die angegebene nominale Rückkühltemperatur zu Grunde gelegt wird. Hierdurch entstehen gegebenenfalls eklatante Differenzen zwischen Soll- und Ist-Performance, die es natürlich zwingend zu vermeiden gilt.

Vorteilhaft ist es, projektspezifisch nach außenluftunabhängigen Rückkühlösungen zu suchen. Oftmals können geeignete Wärmesenken identifiziert und eingebunden werden, welche die thermische wie auch die elektrische Effizienz des thermischen Kühlsystems maßgeblich positiv beeinflussen. So bieten sich zum Beispiel Swimmingpools, Rückhaltebecken, Erdsonden, Brunnen, etc. als vollständige oder partielle Rückkühlung an. Auch der notwendige Aufwand für eine unterstützende Brauchwasser-Vorwärmung kann sich lohnen und eine weitere interessante



Bild 5

### Hocheffizienz-Rückkühler Typ RCS08 mit Frischwasser-Besprühfunktion

Bilder 1-3, 5: SorTech AG

Option darstellen. Gelingt es, die konsumierte Elektroenergie für die Rückkühlung durch Eliminierung von Ventilatoren zu reduzieren, können Jahresarbeitszahlen >20 dargestellt werden. Dementsprechend attraktiv stellt sich in diesem Fall die Wirtschaftlichkeit eines solchen Systems dar.

Universell einsetzbar sind neben den eher wartungsintensiven Nasskühltürmen so genannte trockene Rückkühler. Bewährt hat sich hierbei vor allem das von der SorTech AG in Halle entwickelte Konzept, einen Tischrückkühler mit stufenlos angesteuerten Hocheffizienz-Lüftern und adaptierter Frischwasserbesprühung zu versehen (Bild 5).

Der Vorteil liegt hierbei darin, dass zunächst nur so viel Elektroenergie konsumiert wird, wie der Adsorptionsprozess zwingend 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 1–2 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.

### Machbarkeitsanalyse und gründliche Projektierung erforderlich

Wird ein thermisches Kühlsystem auf maximale Kühllast ausgelegt, kann hieraus, je nach Kühllastprofil des Objektes, nicht selten eine wenig interessante Wirtschaftlichkeit resultieren. Sinnvoll ist unter Umständen, Sorptions- und Kompressionskältetechnik in geeigneter Weise zu kombinieren. Werden die naturgemäß preisintensiven thermischen Kältemaschinen als Grundlastaggregate eingesetzt, resultieren daraus auch höhere Vollbenutzungsstundenzahlen und damit kürzere Amortisationszeiten. Die preisgünstigeren Kompressionskältemaschinen stehen als Backup- oder Spitzenlastaggregate für die begrenzte Anzahl an Stunden hoher Kühllasten zur Verfügung. Ob eine derartige Verbund-

anlage zweckmäßig und empfehlenswert ist, kann wiederum nur projektspezifisch beantwortet werden.

Die Investitionskosten eines thermischen Kühlsystems liegen in der Regel zwischen Faktor 3–5 über denen einer konventionellen Lösung. Zu rechtfertigen sind diese beträchtlichen Mehrkosten nur durch signifikant 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 Wärmetauscher sind genau so bedeutsam wie eine intelligente Regelung aller Komponenten im System.

Insbesondere für Kühlaufgaben mit einem überwiegenden Anteil ganzjähriger innerer Kühllasten, wie z. B. Rechenzentren, Serverräume u.s.w., sind thermische Kühlsysteme sehr interessant und lukrativ. Perspektivisch stetig steigende Preise für Elektroenergie sowie entsprechende gesetzliche Regelungen (z. B. EEWärmeG) sollten schon jetzt in eine Pro/Contra-Betrachtung einbezogen werden.

Beispielsweise in energieintensiven Industrieunternehmen, in Krematorien, bei zahlreichen Energieversorgern oder bei Betreibern von BHKWs 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, unsere Umwelt entlastet und vorhandene Ressourcen geschont werden.