

Absorptionskältemaschinen als Alternative

Die erste Absorptionskältemaschine für den industriellen Einsatz wurde 1859 durch F. Carré mit dem Stoffpaar Ammoniak / Wasser gebaut. Die Firma Carrier begann 1940 mit der Forschung an einer Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskälteanlage und realisierte 1945 die erste kommerziell ausgerichtete Anlage.

Von Daniel Keller und Erwin Ochsner

Die Technik wurde stetig weiterentwickelt und sogar aus strategischen Gründen bei Atom-U-Booten eingesetzt. Da diese U-Boote genügend Abwärme erzeugten und die Maschinen keine mechanischen Geräusche entwickelten, waren die U-Boote diesbezüglich nicht zu orten. Hauptsächlich in den USA fand die Technik Verbreitung in der Industrie und der Klimatechnik. War deren Einsatz lange stagnierend, so lässt sich heute feststellen,

dass Absorptionsanlagen zur Kaltwassererzeugung aber auch als Wärmepumpen wieder vermehrt auch bei uns angewendet werden.

Bis in die sechziger Jahre wurden diese Maschinen ausschliesslich in den USA hergestellt. Später verlagerte sich die Produktion fast vollständig nach Fernost. Die Technologie wurde kontinuierlich verbessert, um höhere Nutzungsgrade zu erreichen. Heute stellt man fest, dass China, Japan, Korea und Indien zu den führenden Produktionsländern gehören. Im Falle Chinas vor allem wegen sei-

ner rasanten wirtschaftlichen Entwicklung und Grösse. Heute befinden sich in China diejenigen Unternehmungen mit den grössten Produktionsstätten.

Vorteile von Absorptionskältemaschinen

Da eine Absorptionskältemaschine Wärme als Antriebsenergie benötigt, sind die elektrischen Anschlusswerte sehr niedrig und können somit so gut wie vernachlässigt werden. Dies ist vor allem an Standorten interessant, an denen Überschusswärme günstig zur Verfügung steht und wo die

niedrige elektrische Anschlussleistung entsprechende Einsparungen ermöglicht. Da diese Maschinen ausser den hermetischen Lösungsmittel- und Kältemittelpumpen über keine weiteren mechanischen Teile verfügen, sind sie äusserst vibrationsarm und weisen somit einen sehr tiefen Schallpegel auf.

Funktionsprinzip

Als Absorption bezeichnet man die Aufnahme von Gasen durch flüssige oder feste Stoffe, infolge einer physikalischen Bindung. Eine Absorption kommt allerdings nur unter folgenden Voraussetzungen zustande:

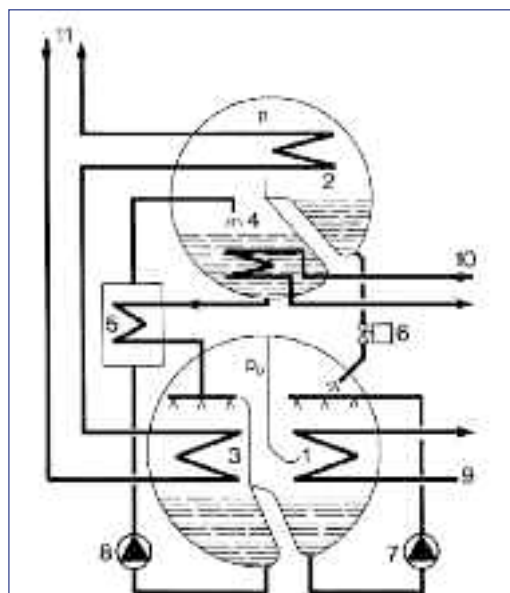
- Wenn der aufnehmende Stoff und das aufzunehmende Gas chemisch zueinander «passen» (Arbeitsstoffpaar) und
- Bei einem bestimmten Druck-/Temperaturverhältnis, das für jedes Arbeitsstoffpaar unterschiedlich ist.

Dieser Absorptionsprozess ist auch umkehrbar, d.h. das aufgenommene Gas kann bei einem anderen Druck-/Temperaturverhältnis wieder ausgetrieben werden. Das ganze lässt sich demnach als Kreisprozess betreiben.

Vergleicht man den Kreisprozess

der Absorptionsmaschine mit demjenigen der Kompressionsmaschine, so tritt anstelle des Kompressors der Lösungsmittelkreislauf mit folgenden Funktionen:

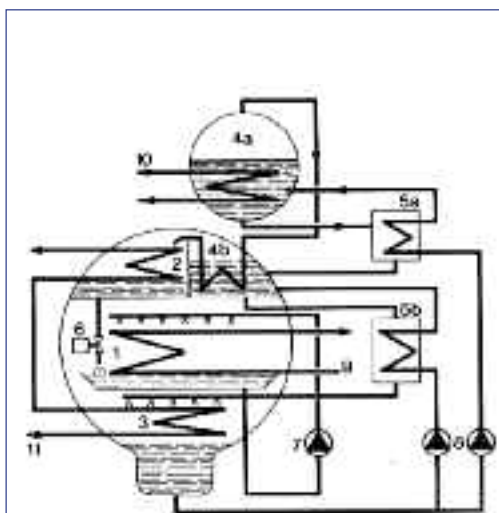
- Anstelle des Ansaugvorganges im Kompressor tritt die Absorption des Niederdruck-Arbeitsmitteldampfes durch ein geeignetes Lösungsmittel im Absorber.
- Anstelle der Kompression und des Ausstossens des verdichteten Kältemittelgases aus dem Kompressor wird das mit Arbeitsmittel angereicherte Lö-



Absorptionskältemaschine Zweikesselbauweise (Funktionsschema)

- 1 Verdampfer
- 2 Kondensator
- 3 Absorber
- 4 Austreiber
- 5 Wärmetauscher
- 6 Drosselorgan
- 7 Verdampferpumpe
- 8 Lösungsmittel
- 9 Kaltwasserkreislauf
- 10 Energiezufuhr
- 11 Kühlwasserkreislauf

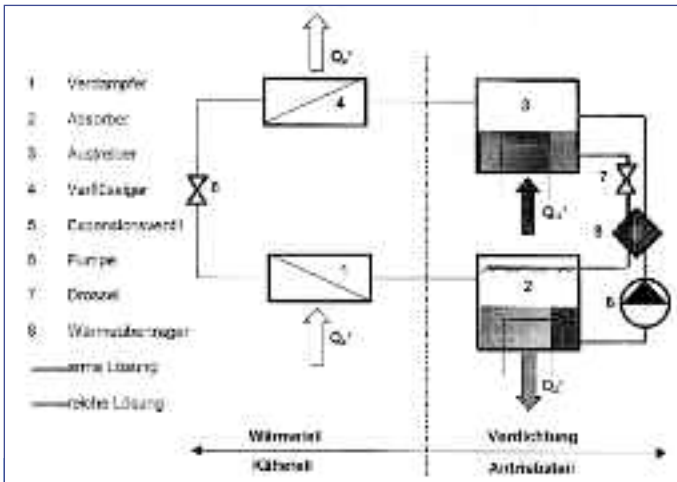
Prinzip des Kreislaufes beim Absorptionsprozess (Quelle BZZ)



Zweistufige Absorptionskältemaschine

- 1 Verdampfer
- 2 Kondensator
- 3 Absorber
- 4a Austreiber 1. Stufe
- 4b Austreiber 2. Stufe
- 5 Wärmetauscher (a, b)
- 6 Drosselorgan
- 7 Verdampferpumpe
- 8 Lösungsmittelpumpe
- 9 Kaltwasserkreislauf
- 10 Energiezufuhr
- 11 Kühlwasserkreislauf

Absorptionskältemaschine in Zweikesselbauweise



Zweistufige Absorptionskältemaschine, neuere Einheiten weisen meistens nur eine Lösungspumpe auf

sungsmittel in den Austreiber befördert. Im Austreiber wird der Lösung von aussen Wärmeenergie zugeführt. Temperatur und Druck der Lösung steigen dadurch an, das Arbeitsmittel verdampft und strömt in die Heissgasleitung des Arbeitsmittelkreislaufs aus.

Bei der Absorptionsmaschine wird also der mechanische Kompressor durch den Lösungsmittelkreislauf ersetzt. Alle übrigen Funktionselemente des Arbeitsmittelkreislaufes wie Kondensator, Drosselorgan und Verdampfer bleiben grundsätzlich gleich wie bei Kompressionsmaschinen.

Kreisläufe der Absorptionsmaschine

Der Absorptionsprozess arbeitet mit zwei Kreisläufen, die phasenweise ineinander laufen, jedoch funktionell wie folgt getrennt beschrieben werden können:

Der Arbeitsmittelkreislauf

Aus dem Austreiber (Verdichter) strömt der warme Arbeitsmitteldampf mit Kondensationsdruck in den Kondensator und kommt dort mit den Rohrschlangen des Kühlmediums in Berührung. Der Dampf kondensiert und die frei werdende Verdampfungswärme geht auf das Kühlmedium über, das dadurch erwärmt wird.

Das immer noch unter Kondensationsdruck stehende flüssige Arbeitsmittel wird im Drosselorgan auf Niederdruck entspannt und im Verdampfer über die Rohrschlangen versprüht. Im Verdampfer wird der Druck so tief gehalten, dass das Arbeitsmittel z.B. schon bei +3 bis +5°C verdampft. Dadurch wird dem in den Rohrschlangen zirkulierenden Kaltwasser Wärmeenergie entzogen, es wird gekühlt.

Lösungsmittelkreislauf

Im Absorber wird das Arbeitsmittel «konzentrierte» Lösungsmittel versprüht. Der Arbeitsmitteldampf aus dem Verdampfer kommt dadurch mit dem Sprühnebel des Lösungsmittels in intensiven Kontakt und wird dabei absorbiert. Bei diesem chemischen Vorgang wird auch Reaktionswärme frei, die abgeführt werden muss. Dies geschieht über eine Rohrschlinge, durch die das gleiche Kühlmedium fliesst, das anschliessend auch die Kondensatorkühlung des Arbeitsmittels bewirkt.

Das mit Arbeitsmittel gesättigte Lösungsmittel wird durch die Lösungsmittelpumpe über den Wärmetauscher in den Austreiber gefördert. Dem Austreiber (Kocher) wird von aussen Wärmeenergie zugeführt. Sie bewirkt die erforderliche Temperatur- und Drucker-

höhung zum Ausdampfen des Arbeitsmittels aus dem Lösungsmittel. Während der so entstehende Arbeitsmitteldampf in den Kondensator des Arbeitsmittelkreislaufes strömt, wird das an Arbeitsmittel «arme» Lösungsmittel wieder über den Wärmetauscher in den Absorber zurückgeführt und der Lösungsmittelkreislauf beginnt von vorne.

Um den Wirkungsgrad zu erhöhen ist ein Lösungsmittel-Wärmetauscher eingebaut. Dabei wird die warme und schwache Lösung mit der vom Generator kommenden heissen und starken Lösung vorgewärmt, bzw. die starke Lösung wird vorgewärmt bevor diese in den Generator (Austreiber) gelangt.

Arbeitsstoffpaare

Die derzeit meist verwendeten Arbeitsstoffpaare sind:

<i>Arbeitsmittel</i>	<i>Lösungsmittel</i>
Ammoniak	Wasser
Wasser	Lithiumbromid

Während Ammoniak als bewährtes Arbeitsmittel vorwiegend für Verdampfungstemperaturen von 0°C bis -60°C eingesetzt wird,

kommt für den Klimabereich heute vorwiegend das Stoffpaar Wasser-Lithiumbromid zum Einsatz.

Verschiedene Arten von zugeführter Wärme

Absorptionskältemaschinen mit Lithiumbromid können mit einer Heiztemperatur von zirka 65°C bis 520°C betrieben werden. Dabei können folgende Wärmequellen mit den entsprechenden Wärmeverhältnissen zur Anwendung kommen.

- Niedertemperatur von zirka 65°C von Solarkollektoren oder industrieller Abwärme. Die Maschinen haben in der Regel ein Wärmeverhältnis von 0.5 und sind für die erbrachte Leistung in Folge der Wärmeaustauscher sehr gross.
- Heisswassertemperaturen von 90°C bis 130°C kommen bei den einstufigen Maschinen zum Einsatz. Die Wärme kann z.B. ein Blockheizkraftwerk liefern, oder auch von einer Fernwärmeversorgung oder sonstiger Wärme auf einem hohen Temperaturniveau stammen.
- Doppeleffekt-Absorptionskältemaschinen mit einem Wärmeverhältnis von 1.33 werden mit gesättigtem Dampf zwischen 4



Doppeleffekt Absorptionskältemaschine mit einer Leistung von 2 MW für das Unispital in Zürich beim Transport in den Maschinenraum



Absorptionskältemaschine in der Betriebszentrale Migros Aare Schönbühl

bis 8 bar, mit Heisswasser über 130 °C oder direkt mit Gas oder Öl befeuert.

– Eine interessante Anwendung ist die direkte Beaufschlagung durch Abgase mit einer Temperatur von 300 °C bis 520 °C, wie sie Brennstoffzellen, Motoren, Gasturbinen und Nachverbrennungen ausstossen. Diese Anwendung hat den Vorteil, dass Maschinen mit einem doppelt so hohen Wärmeverhältnis betrieben werden können.

Energiebilanz und Wärmeverhältnis

Die Energiebilanz einer Absorptionsmaschine lautet:

$$QO' + QH' + PP = QC' + QA' + QV'$$

Darin bedeuten:

QO' Verdampferleistung (Kälteleistung), **QH'** Austreiberleistung (Heizungswärme), **PP** Antriebsleistung der Lösungspumpe, **QC'** Verflüssigerleistung (Wärmeabgabe), **QA'** Absorberleistung (Wärmeabgabe), **QV'** Verluste

Wegen der geringen Grösse werden Antriebsleistung und Verluste vor allem bei grösseren Kälteleistungen vielfach nicht berücksichtigt.

Die charakteristische Grösse zur Beurteilung eines Absorptionspro-

zesses ist das so genannte Wärmeverhältnis.

$$\text{Wärmeverhältnis } \zeta = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Heizleistung}} = \frac{\text{Verdampferleistung}}{\text{Austreiberleistung}}$$

Das Wärmeverhältnis ist kein Wirkungsgrad und ein Vergleich mit der Leistungsziffer der Kompressionsmaschine nur bedingt zulässig. Es ist dabei unter anderem zu berücksichtigen, dass die Antriebsenergie für den Kompressor meist wertvoller ist (Strom) als die Wärmezufuhr für Absorptionsmaschinen, da es sich sinnvollerweise meistens um Abwärme handelt.

Die Energiebilanz enthält auch die Werte QC' und QA'. Das ist die frei werdende Wärme beim Absorptionsprozess. Dazu kommen noch die Verluste QV', die aber vernachlässigbar klein sind. Es muss also die Heizungswärme plus die Kälteleistung sowie die Antriebsleistung der Pumpen weggeführt werden. Das erfolgt meistens über Rückkühlwerke an die Umwelt oder an Kühlwasser in Industriewassernetzen.

Beispiel aus der Praxis

Für ein Einkaufszentrum ist ein Kältebedarf von 2000 kW ausgewiesen. Zusätzlich steht Dampf

mit 6 bar aus der eigenen Abfallverbrennung zur Verfügung. Installiert wurden 2 Absorptionskältemaschinen mit folgenden technischen Daten je Einheit:

Verdampfer

Kälteleistung	1000 kW
Kaltwassertemperatur	6/12 °C

Kondensator

Rückkühlleistung	1710 kW
Kühlwassertemperatur	28/34 °C

Generator

Dampfbedarf	1066 Kg/h
Dampfdruck	6 bar
Leistung	ca. 740 kW
Kondensattemperatur	<90 °C

Elektr. Daten

Pumpenleistung	3.8 kW
----------------	--------

Diverses

Arbeitsstoffpaar	Wasser/ Lithiumbromid
Leistungsbereich	20 – 100 %
Betriebsgewicht	12.3 t

Zuverlässig im Betrieb und günstig im Unterhalt

Da Lithiumbromid-Absorptionskältemaschinen intern mit einem sehr tiefen Vakuum betrieben werden, ist es ungemein wichtig, dass die Maschinen gegen aussen dicht sind. Wenn dies 100-prozentig gewährleistet ist, die Inhibitoren des Lithiumbromides richtig

eingestellt sind, regelmässig überprüft sowie die Betriebsbedingungen eingehalten werden, sind diese Maschinen absolut zuverlässig im Betrieb.

Absorptionsmaschinen, die mit dem Arbeitsstoffpaar Wasser-Lithiumbromid arbeiten, müssen mit einem zuverlässigen Entlüftungssystem ausgerüstet sein. Nebst vielen Vorteilen hat die wässrige LiBr-Lösung den Nachteil, in Verbindung mit Sauerstoff sehr aggressiv zu sein. Unabhängig von der Wahl der geeigneten Werkstoffe, muss also dafür gesorgt sein, dass der ins System eindringende Sauerstoff unverzüglich wieder entfernt wird. Beim Unterhalt und Betrieb ist deshalb der Dichtheit des Systems grösste Aufmerksamkeit zu schenken.

Bei vorhandener Wärme, limitiert vorhandenen elektrischen Anschlussleistungen oder bei einer Anforderung an natürliche Kältemittel sind Absorptionskältemaschinen mit Sicherheit eine prüfenswerte Alternative. ■

Weitere Informationen bei
Clima Net AG
8733 Eschenbach
www.climanet.ch



Montage von Absorptionskältemaschinen im Werk in China