

Absorptions-Kälteanlagen

Kälte aus (Ab)Wärme

Helmut Mattes, Berlin

Kälteerzeugung erfolgt heute mit Kompressions-Kälteanlagen, die mittels elektrischer Energie angetrieben werden. Es können aber auch andere Verfahren, z. B. Absorptions-Kälteanlagen, eingesetzt werden.

Anders als beim Kompressions-Kälteprozeß wird in der Absorptions-Kälteanlage der Kältemitteldampf nicht mechanisch, sondern durch eine geeignete Flüssigkeit (Absorptionsmittel, Mehrkomponentengemisch) im Absorber gelöst (verflüssigt) und in der Flüssigphase verdichtet. Anschließend wird das Kältemittel dann durch Zufuhr von Wärme wieder aus der Lösung ausgetrieben und kann wie in der Kompressions-Kälteanlage im Kondensator verflüssigt werden.

Das System besteht aus einer Kette hintereinander geschalteter Wärmetauscher. Die für den Antrieb der Lösungsmittelpumpen benötigte elektrische Leistung beträgt dabei nur wenige Prozente der mechanischen Antriebsenergie vergleichbarer Kompressions-Kälteanlagen.

Absorptions-Kälteanlagen haben besonders günstige Betriebseigenschaften:

- Antrieb durch „billige“ (Ab)Wärme, geringer Bedarf an elektrischer Energie, kleine elektrische Anschlußleistungen;
- einfacher Aufbau, einfache Bedienung und Unterhaltung;
- Zuverlässigkeit, überlegene Verfügbarkeit;
- günstiges Teillastverhalten bei proportionaler Abnahme; der erforderlichen Wärmezufuhr;
- Anspruchslosigkeit in Hinblick auf Ersatzteilbedarf, außer Pumpen keine beweglichen, verschleißbehafteten Maschinen;
- umweltfreundliche Arbeitsstoffe;
- das Kältemittel ist ölfrei;

- geringer Geräuschpegel, keine Vibrationen;
- problemlose Aufstellung im Freien; (gilt für Ammoniak Absorptions-Kälteanlagen);
- lange Lebensdauer.

Verfügbare Verfahren

Für den Einsatz in Absorptions-Kälteanlagen eignen sich etwa zehn Stoffpaare als Arbeitsmittel. Bisher werden jedoch nur zwei Stoffpaare (siehe Tabelle 1) in Kälteanlagen technisch eingesetzt.

| | | |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Lithiumbromid Absorption | Ammoniak Wasser Absorption |
| Kältemittel | Wasser | Ammoniak |
| Lösungsmittel | Lithiumbromid Lösung | Wasser |

Tabelle 1 Technisch verfügbare Stoffpaare für Absorptions-Kälteanlagen

Wasser/Lithiumbromid Absorptions-Kälteanlagen

- Wasser ist das Kältemittel und die wäßrige Lithiumbromid-Lösung das Lösungsmittel, das Kältemittel Wasser verhindert den Einsatz unter 0 °C,
- Lithiumbromid Salz in wäßriger Lösung ist nahezu ungiftig, nicht brennbar und geruchlos,
- werden fast ausschließlich zur Kaltwassererzeugung in der Klimatechnik eingesetzt, Kaltwasser-Austrittstemperaturen bis etwa +5 °C sind realisierbar,

zum Autor

Dipl.-Ing.
Helmut Mattes,
Geschäftsführer
der Firma Hans
Güntner GmbH
& Co. Absorp-
tionskälte KG,
Berlin



- Arbeitsdrücke im Verdampfer und im Kondensator liegen im tiefen Vakuum,
- werden als Kompaktsätze und in großen Stückzahlen kostengünstig in Serie gebaut.

Ammoniak/Wasser Absorptions-Kälteanlagen

- Ammoniak ist das Kältemittel und Wasser das Lösungsmittel,
- Ammoniak ist ätzend, riecht stechend und ist giftig, allerdings warnt der stechende Geruch rechtzeitig und verhindert so im allgemeinen gesundheitliche Schädigungen.
- Ammoniak-Luft-Gemische sind kaum entzündbar, sind aber bei hohen Ammoniak-Anteilen von 15,5 bis 27 Vol. % explosiv.
- in Wasser gelöstes Ammoniak ist ätzend.
- Ammoniak ist erheblich leichter als Luft.
- Ammoniak ist bei Umgebungsdruck oberhalb von minus 33,4 °C gasförmig, Anlagen mit Verdampfungstemperaturen < minus 33 °C arbeiten daher unterhalb Umgebungsdruck (Vakuum),
- tiefe Temperaturen bis -60 °C (-65 °C) sind erreichbar,
- wegen der erhöhten Systemdrücke ist die Herstellung dieser Anlagen teurer als jene, die Lithiumbromid als Arbeitsmittel verwenden.

Verfahrensbeschreibung

Das grundsätzliche Verfahren der Absorptions-Kälteanlagen der beiden vorgenannten Stoffpaare ist sehr ähnlich, allerdings erfordern die Stoffeigenschaften der eingesetzten Medien angepaßte Systemvariationen. Beide Systeme zeichnen sich durch günstige thermodynamische Eigenschaften der Kältemittel aus.

Das Verfahren der Absorptions-Kälteanlagen kann mit dem der Kompressions-Kälteanlagen verglichen werden, wobei der mechanische Verdichter durch einen „thermischen Verdichter“ ersetzt wird.

| | | |
|------------|--------------------------|------------------------------|
| | Kompressions-Kälteanlage | Absorptions-Kälteanlage |
| Verdichter | mechanisch | thermisch |
| Kreisläufe | Kältemittel | Kältemittel Lösungsmittel |

Tabelle 2 Vergleich der Verfahren Kompressions-/Absorptions-Kälteanlagen

Kompressions-Kälteanlage

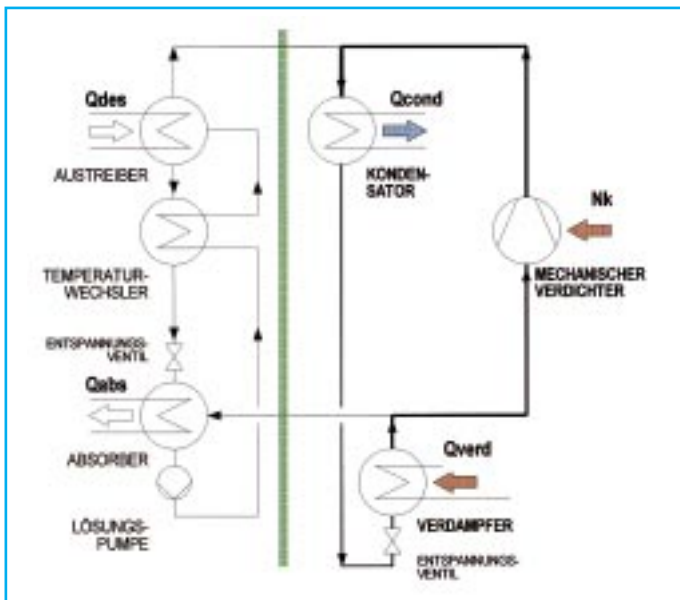


Abb. 1 Kompressions-Kälteanlage Kältemittelkreislauf

Das Anlagenschema in Abb. 1 veranschaulicht den Kältemittelkreislauf einer Kompressionskälteanlage:

- dem verdampfenden Kältemittel wird im Verdampfer bei entsprechendem Druck und entsprechender Temperatur Wärme (Kälte) Q_{verd} zugeführt,

- der Kältemitteldampf wird abgesaugt und durch Energiezufuhr N_k im Verdichter auf höheren Druck verdichtet,
- im Kondensator wird das Kältemittel durch Wärmeabfuhr Q_{cond} an die Umgebung verflüssigt,
- das verflüssigte Kältemittel gelangt über das Entspannungsventil wieder in den Verdampfer.

Absorptions-Kälteanlage

Der Lösungsmittel-Kreislauf wird in Abb. 2 dargestellt. Der Kältemittel-Kreislauf ist im Prinzip identisch zu anderen Kälteanlagen mit mechanischen Verdichtern. Der Lösungsmittel-Kreislauf, der aus einer Kette hintereinandergeschalteter Wärmetauscher besteht, läßt sich daher auch als „thermi-

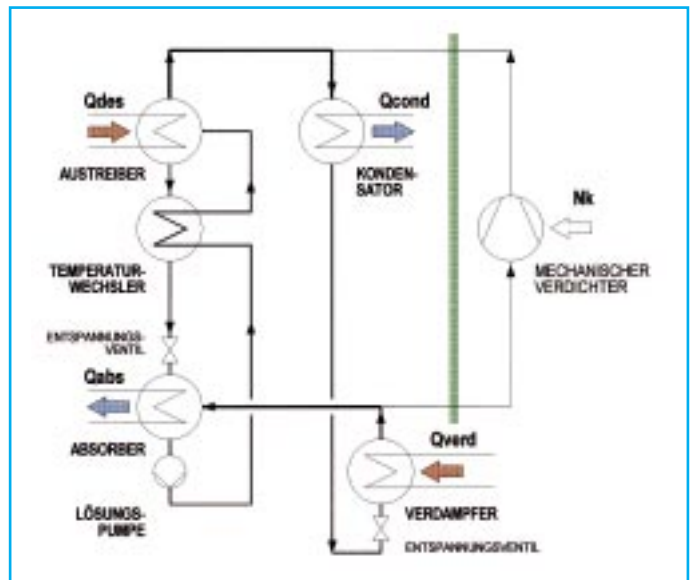


Abb. 2 Absorptions-Kälteanlage (thermischer Verdichter), Lösungsmittel-Kreislauf

scher Verdichter“ bezeichnen:

- = Saugseite
- = Absorber
- = Druckseite
- = Austreiber

Das dampfförmige Kältemittel des Kältemittel-Kreislaufes wird von der „armen“ Lösung mit niedriger Kältemittelkonzentration in einem kombinierten Stoff- und Wärmeaustauschvorgang absorbiert. Die

„arme“ Lösung reichert sich mit dem Kältemittel unter Abgabe der Wärme Q_{abs} zu einer höheren Konzentration an.

Die Lösungspumpe fördert die nun „reiche“ Lösung aus dem Absorber in den Austreiber. Hier wird das Kältemittel durch Zufuhr der Wärme Q_{des} ausgetrieben (desorbiert) und strömt dampfförmig dem Kondensator (Verflüssiger) zu. Die „reiche“ Lösung wird durch den Abzug des Kältemitteldampfes wieder zu „armer“ Lösung.

Über das Entspannungsventil expandiert die „arme“ Lösung auf den niedrigen Absorberdruck und gelangt schließlich wieder in den Absorber. Damit ist der Lösungskreislauf geschlossen.

Im Temperaturwechsler (oder Lösungswärmetauscher) wird die den Austreiber verlassende heiße „arme“ Lösung im Gegenstrom zu der kalten „reichen“ Lösung geführt und durch Wärmeaustausch abgekühlt.

Eine Besonderheit der Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen ist die Notwendigkeit der Rektifikation des den Austreiber verlassenden Kältemitteldampfes (nicht dargestellt).

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

allgemein

Die wirtschaftlichen Leistungsgrenzen sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

| Verdampfungs-temperatur °C | Kälteleistung kW | Bemerkung |
|----------------------------|--|--|
| 0 bis -60 (-65) | praktisch unbegrenzt, aufgeteilt in parallele Einzelstränge je 10 MW | mehrstufige Anlagen, Luftkühlung möglich, Sondervorschriften |

Tabelle 3 Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen, angepaßte Anlagen

Tabelle 4 Standard Anlagen 800 kW bis 3000 kW

| System ‚BORSIG‘ Bild 3 | Verdampfungs- temperatur °C | Kälteleistung (gem. Diagramm) kW | Bemerkung |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| AK 1200 | 0 bis -50 | 800–1400 | modulisiert |
| AK 2000 | 0 bis -50 | 1400–3000 | modulisiert |

Tabelle 5 Standard Anlagen 200 kW bis 800 kW

| System ‚BORSIG‘ Bild 5 | Verdampfungs- temperatur °C | Kälteleistung (gem. Diagramm) kW | Bemerkung |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|
| AK 250 | 0 bis -30 (-40) | 200–400 | vormontiert |
| AK 600 | 0 bis -30 (-40) | 400–800 | vormontiert |

Neben den angepassten Anlagen, die analog zum Anlagenbaues individuell ausgelegt und ausgerüstet werden, gibt es für mittlere und kleine Kälteleistungen vordefinierte Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen.

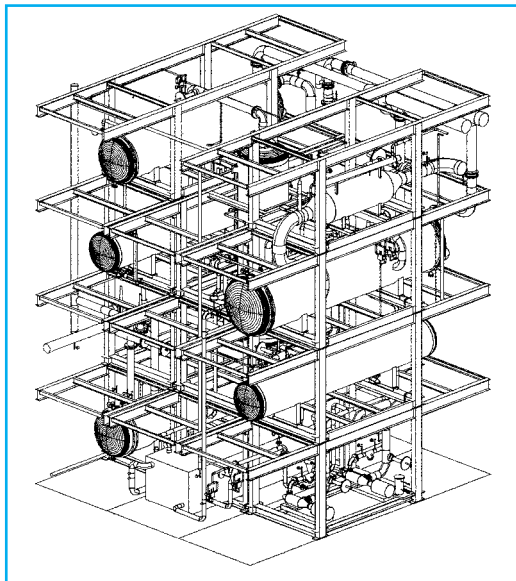


Abb. 3 Standardsystem AK 1200/2000

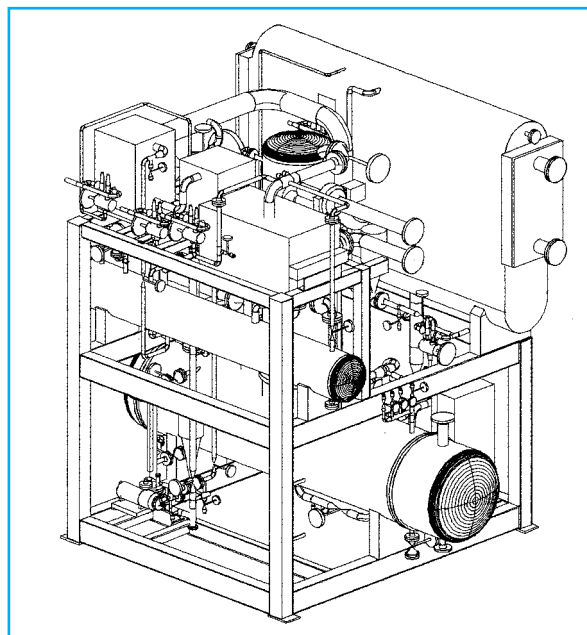


Abb. 5 Standardsystem AK 600/250 vorgefertigt

Abb. 6 Auswahl-
diagramm AK 250
(Beispiel)

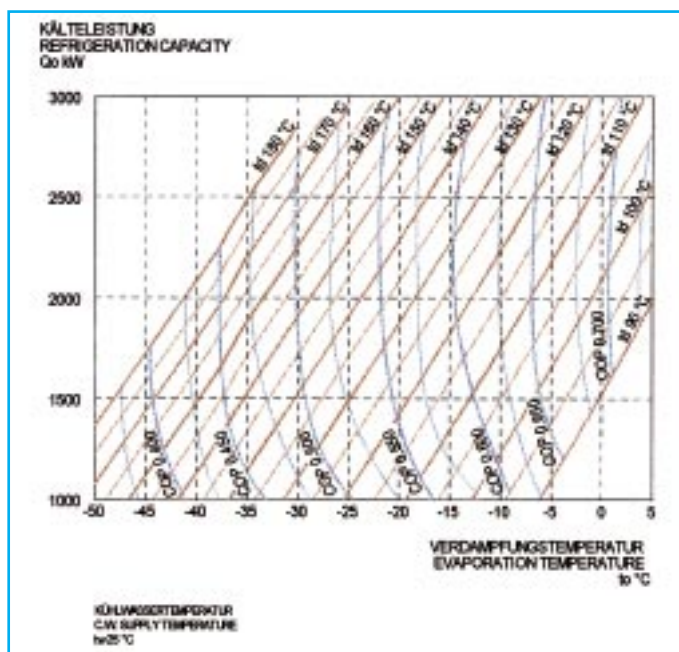
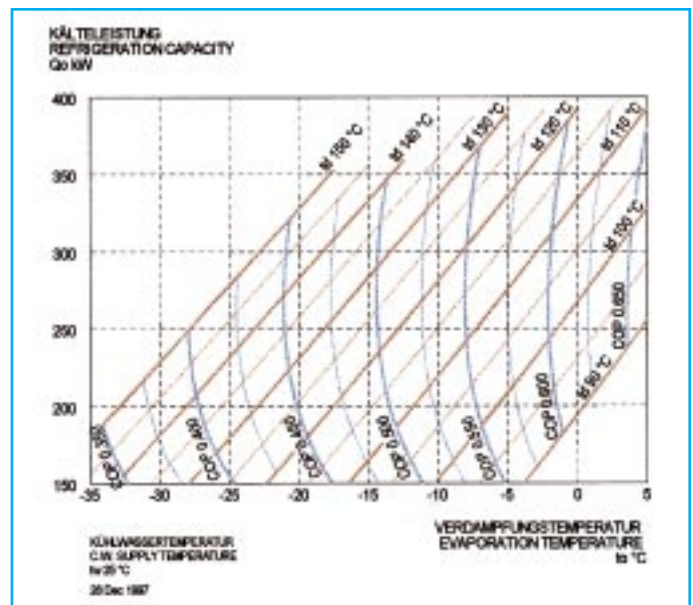


Abb. 4 Auswahl-
diagramm AK 2000 (Beispiel)



Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Heizmitteltemperaturen

Das nachstehende Diagramm zeigt die erforderlichen Temperaturen für die Beheizung mit Sattdampf bei vorgegebenen Verdampfungstemperaturen und unter Berücksichtigung der Kühlwassertemperaturen (s. Abb. 7).

In der Absorptions-Kältetechnik ist es üblich, mit dem Wärmeverhältnis ζ bzw. COP als Maßstab für den Heizenergieverbrauch zu rechnen.

Das Wärmeverhältnis ζ (bzw. COP) ist das Verhältnis der Kälteleistung Q_o zur Heizenergie Q_h .

$$COP = \frac{Q_o}{Q_h} \quad (5-1)$$

Das Wärmeverhältnis ist abhängig von der Verdampfungstemperatur t_o und der Kühlwassertemperatur t_w .

Es zeigt sich, daß eine tiefe Verdampfungstemperatur mit einer höheren Heizmitteltemperatur erkauf werden muß.

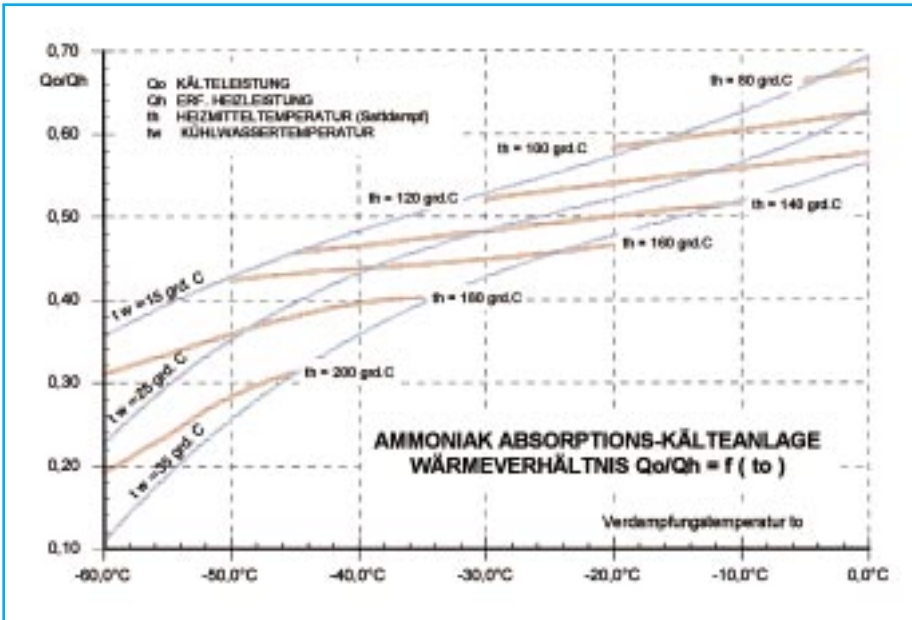


Abb. 7 Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage Wärmeverhältnis ζ (COP) (gültig für angepaßte Anlagen, nur informativ)

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Wärmebilanz (Wärmezufuhr/ Wärmeabfuhr)

Die Bilanz der einstufigen Absorptions-Kälteanlage ergibt sich wie folgt (die elektrischen Antriebsleistungen der Pumpen werden vernachlässigt)

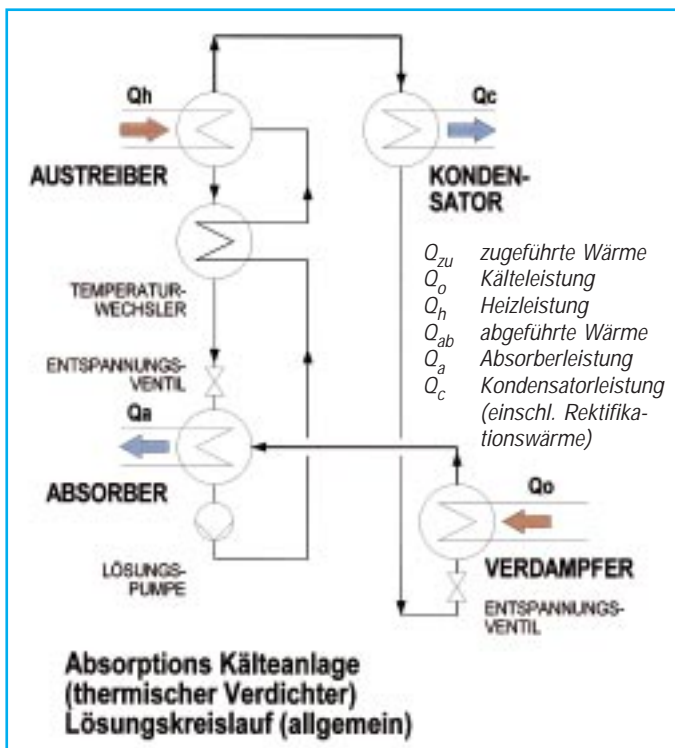
$$Q_{zu} = Q_o + Q_h \quad (6-1)$$

$$Q_{ab} = Q_a + Q_c \quad (6-2)$$

Heizmedien (Wärmezufuhr), die technisch eingesetzt werden:

- Wasserdampf, andere Dämpfe ausreichender Temperatur;
 - Heißwasser, heiße Flüssigkeiten;
 - direkte Beheizung mit Gas oder Heizöl;
- Die Wärmeabfuhr erfolgt über;

Abb. 8 Bilanz einstufige Absorptions-Kälteanlage



- Wasser (Kühlturmwater, Flußwater, Kaltwater);
- Luftkühlung;
- Verdunstungskühlung.

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Schaltungen

Bisher wurde ausschließlich die einfachste Form der Absorptions-Kälteanlage mit einstufiger Absorption und einstufiger Austreibung behandelt.

Variationen der Absorptions-Kälteanlage sind Anlagen

- mit einstufiger Austreibung und zwei- bzw. mehrstufiger Absorption.

Sie gestatten den Anschluß von Verbrauchern auf unterschiedlichem Verdampfungstemperaturniveau.

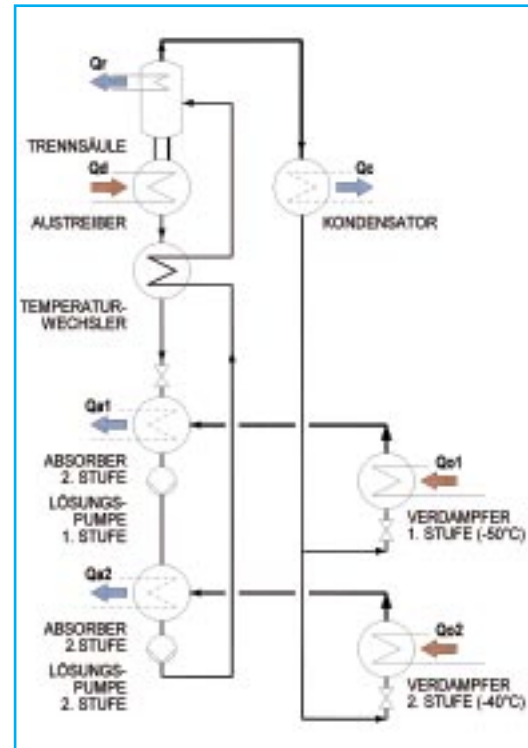


Abb. 9 Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage, einstufige Desorption, zweistufige Absorption

Es kann sowohl die Leistungsaufteilung zwischen den Stufen als auch die Aufteilung der Verdampfungstemperaturen im gesamten Bereich zwischen ca. 0 °C und -60°C beliebig gewählt werden.

Die Leistungsregelungen arbeiten völlig unabhängig voneinander.

- mit zweistufiger Austreibung und ein- oder mehrstufiger Absorption.

Es sind Anlagen, die hintereinander geschaltet werden. Der ausgetriebene Kältemitteldampf der Niederdruckstufe wird nicht von einem Kondensator, sondern vom Absorber der Hochdruckstufe übernommen und resorbiert („verflüssigt“).

Sie kommen mit sehr niedrigen Heizmitteltemperaturen aus, dafür benötigen diese Anlagen aber größere Heizenergie-mengen und auch wesentlich höhere interne Wärmeumsätze, womit sie aufwendiger in den Anschaffungskosten sind.

Weitere Verfahrensschaltungen, die prinzipiell sehr eng mit den Absorptions-Kälteanlagen verwandt sind, auf die jedoch hier nicht weiter eingegangen wird:

- Absorptions-Wärmepumpen,
- Resorptions-Kälteanlagen,
- Kombinationen der vorgenannten Variationen.

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Vergleich mit Kompressions-kälteanlagen

| | Absorptions-Kälteanlage | Kompressions-Kälteanlage |
|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| treibende Energie | thermisch | mechanisch |
| Kältemittel-verunreinigung | (Wasser) | Kältemaschinenöl |
| Kältemittel | sehr sauber | Überwachung und Wartung erforderlich |
| Heißgas | gesättigt | überhitzt |

Tabelle 6 Vergleich Absorptions-/Kompressions-Kälteanlage

Das Kältemittel in Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen hat immer einen geringen Wassergehalt, ist aber im Gegensatz

maschinenöl verunreinigt, was insbesondere bei Verdampfungstemperaturen < minus 30°C zu betriebstechnischen Beeinträchtigungen führt (gilt nicht bei ölfreier Verdichtung).

Daher können Kompressions- und Absorptions-Kälteanlagen, auch wenn beide Verfahren mit dem Kältemittel Ammoniak betrieben werden, nicht direkt miteinander verbunden werden. Die Verbindung zwischen den Systemen muß immer über sog. Kaskaden-Wärmetauscher, bei denen auf einer Seite verdampft (Wärmezufuhr) und auf der anderen Seite kondensiert (Wärmeabfuhr) wird, erfolgen.

Sofern Vorstehendes beachtet wird, können Absorptions-Kälteanlagen mit Kompressions-Kälteanlagen, die auch mit anderen Kältemitteln als Ammoniak betrieben werden, zusammenschaltet werden. Die Parallelschaltung der Anlagen bietet sich an, wenn

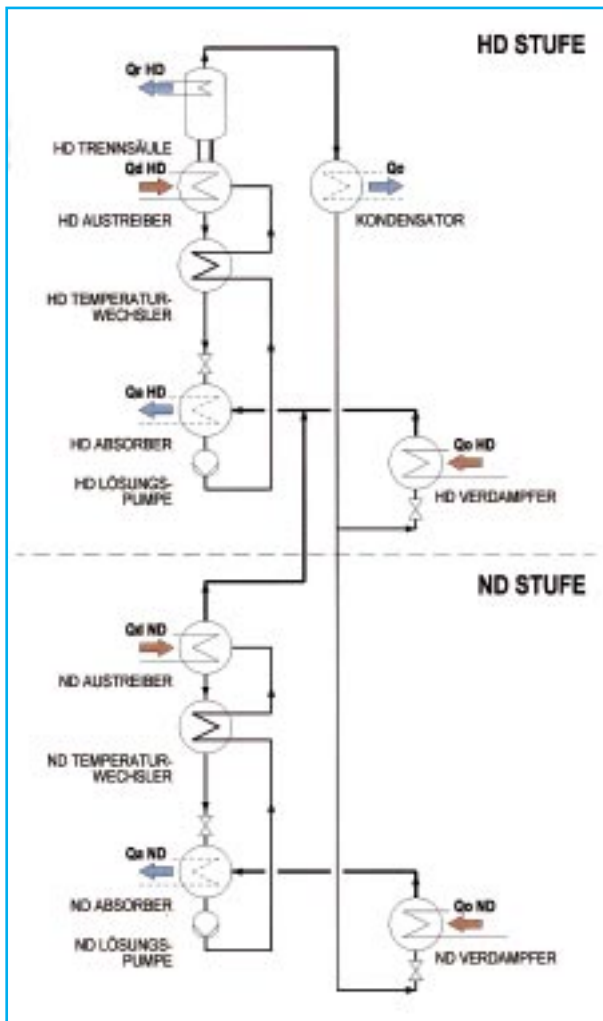


Abb. 10 Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage, zweistufige Desorption, zweistufige Absorption

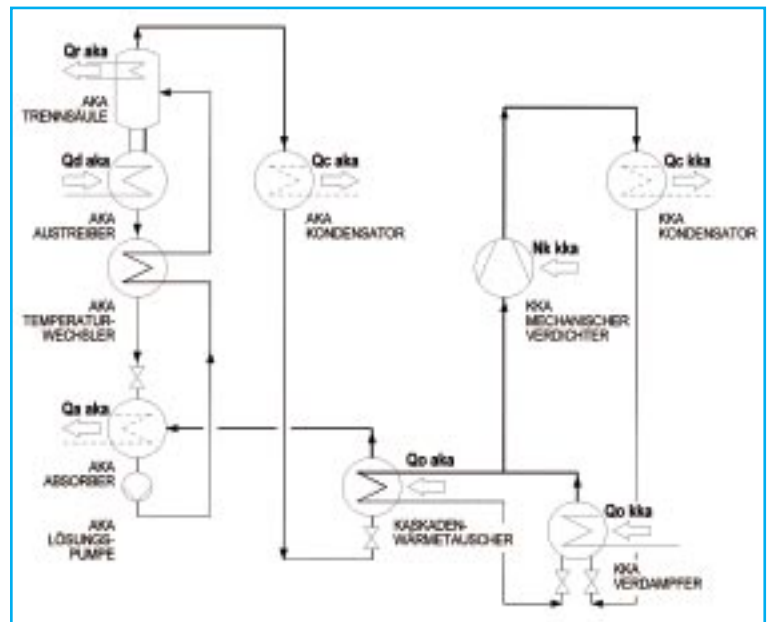


Abb. 11 Parallelschaltung Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage (AKA)/Kompressions-Kälteanlage (KKA)

zu den Kältemitteln anderer Kälteverfahren sehr sauber und erzeugt keine zusätzlichen Wärmeübergangswiderstände durch Verschmutzung.

Das Kältemittel von Kompressions-Kälteanlagen ist hingegen mit Kälte-

- ein vorhandenes Kompressions-Kältesystem durch eine Absorptions-Kälteanlage erweitert oder ersetzt werden soll,
- die Absorptions-Kälteanlage zeitweilig stillgesetzt und nur eine kleine Kälteleistung für die Stillstandszeit (z. B. Wochenende) benötigt wird.

Die Hintereinanderschaltung der Anlagen findet Anwendung, wenn

- die Abwärme für den Antrieb der Absorptions-Kälteanlage zu niedrig für die gewünschte Verdampfungstemperatur ist,
- nur eine kleine Seitenlast mit tieferer als der normalen Verdampfungstemperatur gefordert wird.

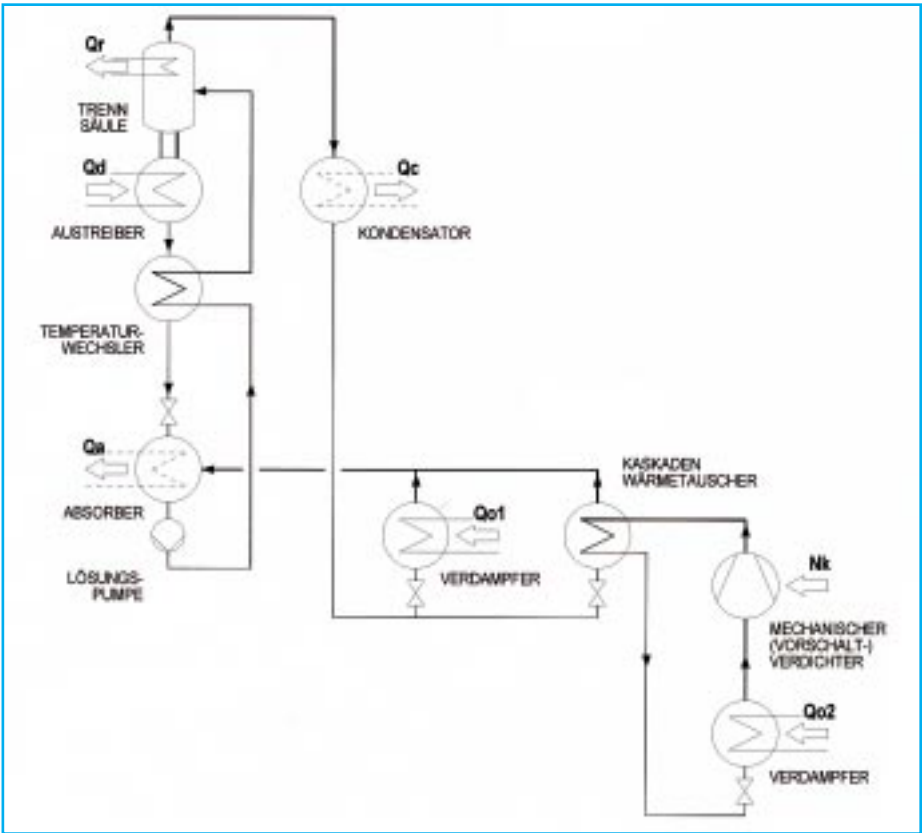


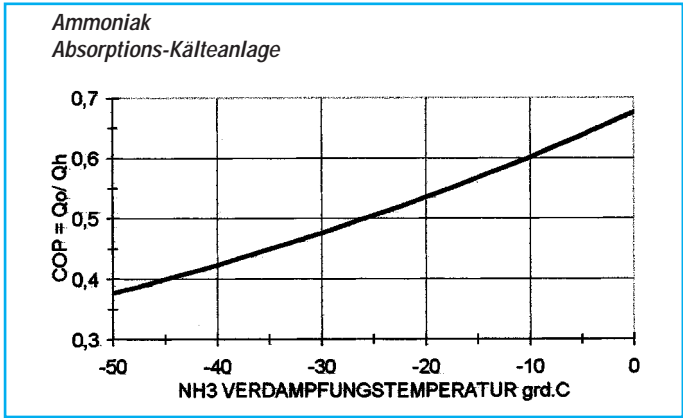
Abb. 12 Hintereinander(Serien)Schaltung Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage/Kompressions-Kälteanlage

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Für den Vergleich des Energiebedarfs von Kompressions- und Absorptions-Kälteanlagen wird jeweils das Verhältnis von treibender Energie zu erzeugter Kälteleistung in den Diagrammen der Abb. 13 und 14 dargestellt.

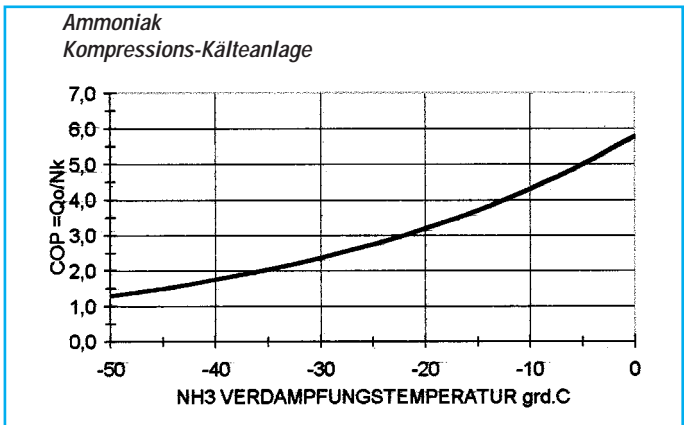
Abb. 14 Spez. Energiebedarf Absorptions-Kälteanlage



$$= \frac{Q_o}{N_k} \quad (9-5)$$

Es zeigt sich, daß die Absorptions-Kälteanlage, je nach Verdampfungstemperatur, einen um drei- bis neunfach höheren Energiebedarf als eine vergleichbare Kompressions-Kälteanlage hat. Hier ist jedoch zu beachten,

Abb. 13 Spez. Energiebedarf Kompressions-Kälteanlage



daß die Kompressionskälteanlage „teuere“ elektrische Energie benötigt und die Absorptions-Kälteanlage mit milderer und „billigerer“ (Ab)Wärme betrieben werden kann.

Es ist deutlich, daß der Strompreis mindestens das Mehrfache des Wärmepreises betragen muß, damit eine Wirtschaftlichkeit der Absorptions-Kälteanlage gegeben ist.

Ammoniak-Kompressions-Kälteanlage

$$COP = \frac{Q_o}{N_k} \quad (9-1)$$

Q_o Kälteleistung
 N_k Antriebsleistung

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage

$$COP = \frac{Q_o}{Q_h} \quad (9-2)$$

Q_o Kälteleistung
 Q_h Heizleistung

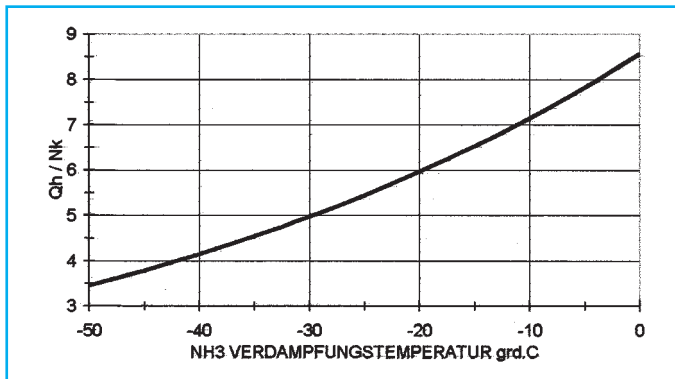
Die Diagramme beziehen sich auf Anlagen mit dem Kältemittel Ammoniak im industriellen Einsatzbereich. Die Werte gelten für eine Kühlwassertemperatur von 25 °C.

Das Diagramm Abb. 15 zeigt direkt das Verhältnis des Energiebedarfes zwischen Ammoniak-Absorptions-Kälteanlage und Ammoniak-Kompressions-Kälteanlage bei gleichen Verdampfungstemperaturen. Ein Vergleich des Energiebedarfs beider Systeme errechnet sich wie folgt:

$$\frac{COP_{kka}}{COP_{aka}} \quad (9-3)$$

$$= \frac{Q_o/N_k}{Q_o/Q_h} \quad (9-4)$$

Abb. 15 Vergleich Energiebedarf Kompressions/Absorptions-Kälteanlagen



Bei der Absorptions-Kälteanlage ist zusätzlich der höhere Aufwand für die Wärmeabfuhr zu berücksichtigen. Für jeden Entscheidungsfall ist eine Wirtschaftlichkeitsberechnung, ähnlich Tabelle 7, zu erstellen, die beide Verfahren bewertet und miteinander vergleicht, wobei folgende Kriterien zusätzlich berücksichtigt werden sollten

- Bedarf an Gebäuden, Gebäudeausrüstungen,
- Planung von Reservemaschinen,
- Schallschutzmaßnahmen,
- Dimensionierung und Bewertung der Hilfsenergien (elektrischer Anschluß, Zu-/Abfuhr Wärme).

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen

Anwendungen

Der Einsatz von Absorptions-Kälteanlagen ist immer dort angebracht, wo kostengünstige (Ab)Wärme ausreichender Temperatur anfällt und gleichzeitig Kälte benötigt wird. Die Einbindung dieser Anlagen in die entsprechenden Verfahren ist nahezu identisch zu anderen Kälteverfahren mit dem Kältemittel Ammoniak.

Beispiel

Kraft-, Wärme-, Kältekopplung

Bei der Erzeugung elektrischer Energie fällt (Ab-)Wärme an. Die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung wird besonders dann verbessert, wenn diese (Ab-)Wärme ständig abgenommen wird.

Hier bietet sich der Einsatz von Absorptions-Kälteanlagen an, wobei die erzeugte Kälte als Energieform zusätzlich intern verwendet oder extern verkauft werden kann. Das Verhältnis zwischen Stromerzeugung und günstiger Abwärmenutzung kombiniert mit hohen Vollaststunden wird erheblich verbessert.

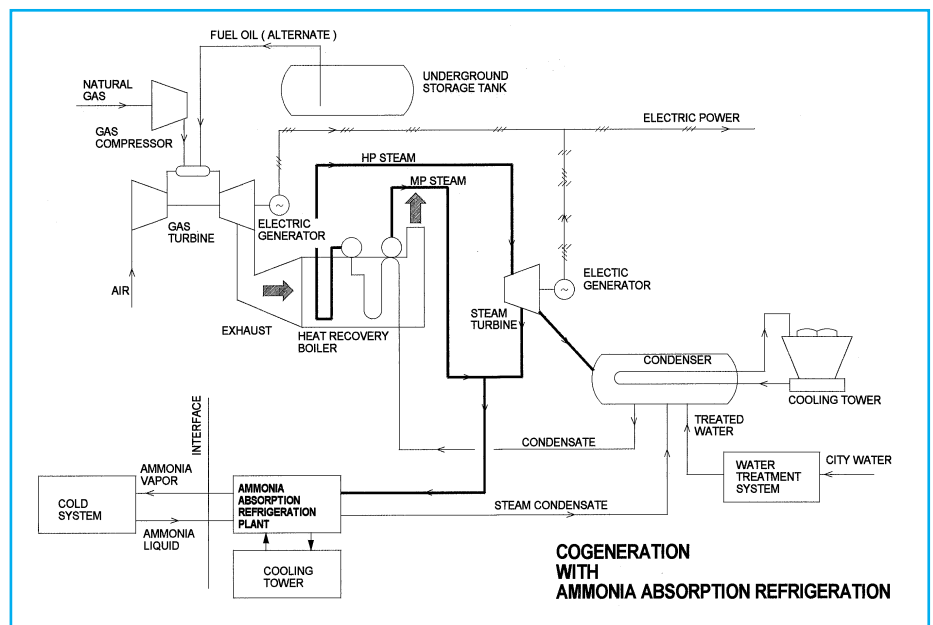


Abb. 16 Stromerzeugung mit Gasturbine und Dampfturbine, Abwärmenutzung mit Absorptions-Kälteanlage, die ein Kühlhaus mit Kälte versorgt

Beispiel

Eigenstromerzeugung

Die Eigenstromerzeugung wird nur durch hohe Vollaststunden wirtschaftlich interessant, wobei die stetige Nutzung der Abwärme gesichert sein muß. Absorptions-Kälteanlagen können hier den Strombedarf im Betrieb verringern und gleichzeitig die Nutzung der Abwärme sicherstellen.

Beispiel

Fernwärmenutzung

Die Auskopplung von Wärme zur Kälteerzeugung (Klimakälte, kleine Gewerbebetriebe) aus bestehenden Fernwärmenetzen zu attraktiven Preisen erhöhen die Nutzungszeiten dieser Systeme.

Beispiel

Abgasnutzung bei thermischer Nachverbrennung, Pyrolyse-Prozessen

Diese Prozesse werden vielfach in der chemischen und in der Lebensmittelindustrie, wo gleichzeitig Bedarf an Kälte besteht, zur Abfallbeseitigung oder auf Grund gesetzlicher Vorschriften eingesetzt. Die Abgase können direkt oder indirekt zur Beheizung genutzt werden, wobei Zusatz- oder Stützfeuerungen mit Erdgas oder Leichtöl zusätzlich eingesetzt werden können.

Beispiel

Lebensmittelindustrie

Ungenutzte Wärme bei gleichzeitigem Bedarf an Kälte ist der Normalfall.

- Brauereien
- Molkereien
- Schlachtereien, Fleischverarbeitung
- andere

Die Wärme wird im Winter zur Gebäudeheizung genutzt und im Sommer vielfach an die Umgebung abgegeben. Die mögliche Nutzung dieser Wärmen im Betrieb zur Kälteerzeugung ist oft unbekannt oder wird auf Grund der niedrigen Kosten für Primärenergie ignoriert.

Beispiel

Lebensmittelindustrie, Gefriertrocknung Erzeugung von Temperaturen bis -60 °C

Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen sind hervorragend zur Erzeugung tiefer Temperaturen geeignet, wobei das Kältemittel nicht verunreinigt ist. Betriebsstillstände

| | | Absorptions- Kälteanlage | Kompressions- Kälteanlage (mit Reserveverdichter) | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|---|--------|--------------------|
| Kälteleistung | | 1000 kW th. -40 °C | 1000 kW th. -40.0 °C | | |
| Wärmebedarf | | 2360 kW th. | 0 kW th. | | |
| Heißwasser | | 69 m ³ /h 181/150 °C | | | |
| Wärmeabfuhr | | | | | |
| Verd. Kondensator | | 1410 kW th. tc 31 °C | 1552 kW th. tc 31 °C | | |
| Frischwasser | | 4.50 m ³ /h | 5.10 m ³ /h | | |
| Kühlturm | | 1950 kW th. 26/36 °C | 160 kW th. °C | | |
| Frischwasser | | 6.20 m ³ /h | 0.50 m ³ /h | | |
| Elektr. Energie | | | | | |
| Pumpen/Verdichter | | 18 kWe | 461 kWe | | |
| Verd. Kondensator | | 26 kWe | 28 kWe | | |
| Kühlwassersystem | | 29 kWe | 0 kWe | | |
| total | | 73 kWe | 489 kWe | | |
| Schätzpreis | | 2400 TDM | 1200 TDM | | |
| Vollaststunden | | 8000 h/a | 8000 h/a | | |
| jährl. Kapitalkosten | | | | | |
| Investition A | TDM | 2400.0 | 1200.0 | | |
| Zinssatz p | % | 6.00 | 6.00 | | |
| q=1+p/100 | | 1.06 | 1.06 | | |
| Abschr. Zeit n | anno | 25 | 10 | | |
| Abschreibung Kk | | 187.7 TDM | 163.0 TDM | | |
| Energiekosten | | | | | |
| Heißwasser | DMMWh | 5.00 | 94.4 TDM | 5.00 | 0.0 TDM |
| Frischwasser | DM/m ³ | 1.00 | 85.6 TDM | 1.00 | 44.8 TDM |
| Strom (Arbeit) | DMMWh | 120.00 | 70.1 TDM | 120.00 | 469.4 TDM |
| Strom (Leistung) | DM/kW | 200.00 | 14.6 TDM | 200.00 | 97.8 TDM |
| Betrieb/Wartung | | | | | |
| Betriebsmittel | | | | | |
| bez. auf Erstinvestition | % | 0.50 | 12.0 TDM/a | 6.0 | 72.0 TDM/a |
| Personalkosten | | | 20.0 TDM/a | | 60.0 TDM/a |
| Gesamtkosten | | | 484.4 TDM/a | | 907.1 TDM/a |

Tabelle 7 Wirtschaftlichkeitsberechnung (Beispiel)

für Wartungsarbeiten ergeben sich allgemein nur für die Reinigung der Kühlwassersysteme. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigt, daß für niedrige Temperaturen der Einsatz von Primärenergie (Erdgas, Heizöl) wirtschaftlich attraktiv ist.

Beispiel

Chemie, Petrochemie, Raffinerien

Diese Industrien haben große Abwärmemengen bei gleichzeitigem Bedarf an Kälte. Oftmals muß ein Produktstrom hoher Temperatur auf niedrige Temperaturen abgekühlt werden. Somit bietet sich die Auskopplung der Wärme im Bereich hoher Temperaturen an, die dann zum Betreiben einer Absorptions-Kälteanlage genutzt wird. Die Absorptions-Kälteanlage wiederum übernimmt dann die Schlußkühlung des Produktstromes.

Schlußbetrachtung

Insbesondere die Möglichkeit, sonst ungenutzte (und billige) Abwärme zur Kälteerzeugung zu verwenden, läßt die Absorptions-Kältetechnik zu einer über die Betriebskosten attraktiven Alternative zu den „üblichen“ Kälteerzeugungsverfahren werden.

Die zur Anwendung kommenden Arbeitsstoffe sind ökologisch unbedenklich. Gleichzeitig reduziert der Einsatz dieser Anlagen die CO₂ Emissionen.

Die sehr lange Lebensdauer der Anlagen sowie deren einfache Bedienung und Wartung sind bei Entscheidungsfindung hinsichtlich des einzusetzenden Kälteverfahrens weitere, nicht unerhebliche Entscheidungskriterien.

Den erwähnten Vorteilen der Absorptions-Kälteanlagen stehen die höheren Erstinvestitionen, insbesondere für die Ammoniak-Absorptions-Kälteanlagen, sowie deren größerer Platzbedarf gegenüber. □