

Kälteerzeugung mit Ammoniak und Wasser

# Bausteine für Absorptionskälteanlagen

Jürgen Langreck, Vaals (NL)

Seit einigen Jahren ist der Markt für Absorptionskälteanlagen im Gefrierbereich in Bewegung geraten und die Hersteller bemühen sich verstärkt um die Gunst der Kunden. Während auf der einen Seite der Trend zu Standardeinheiten niedrigere Preise ermöglicht, können andererseits durch die vielfältigen Möglichkeiten bei der Gestaltung solcher Anlagen kundenspezifische Anforderungen bestens erfüllt werden.

Während über Jahrzehnte hinweg der Markt für Absorptionskälteanlagen (ARP absorption refrigeration plant), die mit dem Stoffpaar Ammoniak und Wasser arbeiten, von nur wenigen Herstellern beherrscht wurde, haben sich in den letzten Jahren durch verstärkten Konkurrenzdruck sowohl das Angebot, als auch die Preise drastisch zum Vorteil der Kunden geändert. Waren früher die meisten Anlagen Einzelanfertigungen für die chemische Industrie oder zur Gefriertrocknung, so werden heute verstärkt Standardanlagen für die Lebensmittelindustrie gebaut. Dabei geht der Trend zu kleineren Einheitsgrößen und in den Bereich höherer Verdampfungstemperaturen. Vor allem in Kombination mit Blockheizkraftwerken bilden diese sogenannten Kälte-Kraftsysteme in vielen Fällen konkurrenzfähige

zum Autor

Dipl.-Wirt.-Ing.  
Jürgen  
Langreck,  
zuständig für  
Entwicklungs-  
arbeiten und  
Anlagenbetreu-  
ung in der  
Firma colibri bv,  
BC Vaals (NL)



Einheiten zu Kompressionsanlagen. Die Wirtschaftlichkeit hängt jedoch sehr stark von den Randbedingungen im Einzelfall ab. Speziell in Ländern, in denen die Verbreitung von Blockheizkraftwerken gefördert wird (wie z. B. in Spanien), ergeben sich gute Voraussetzungen zur Installation von Kälte-Kraftsystemen.

Trotz Standardisierung erlauben Absorptionskälteanlagen eine weitgehende Anpassung an die spezifischen Randbedingungen des Einsatzfalles. Die wichtigsten Einflußparameter werden im folgenden kurz erläutert (siehe auch Bild 1).

## Prozeßauslegung

In Absorptionskälteanlagen, die mit Ammoniak und Wasser arbeiten, kann man in einer Stufe Kälte von bis zu  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  erzeugen. In Bild 2 ist ein Prozeßverlauf beispielhaft im  $\ln\text{-}p\text{-}t$  Diagramm dargestellt. Die Größe der erforderlichen Wärmetauscherflächen hängen in starkem Maße von den Temperaturen der Antriebswärme, der Rückkühlung und der Verdampfung ab. Bei Einzelanfertigungen können durch Optimierungsrechnungen in der

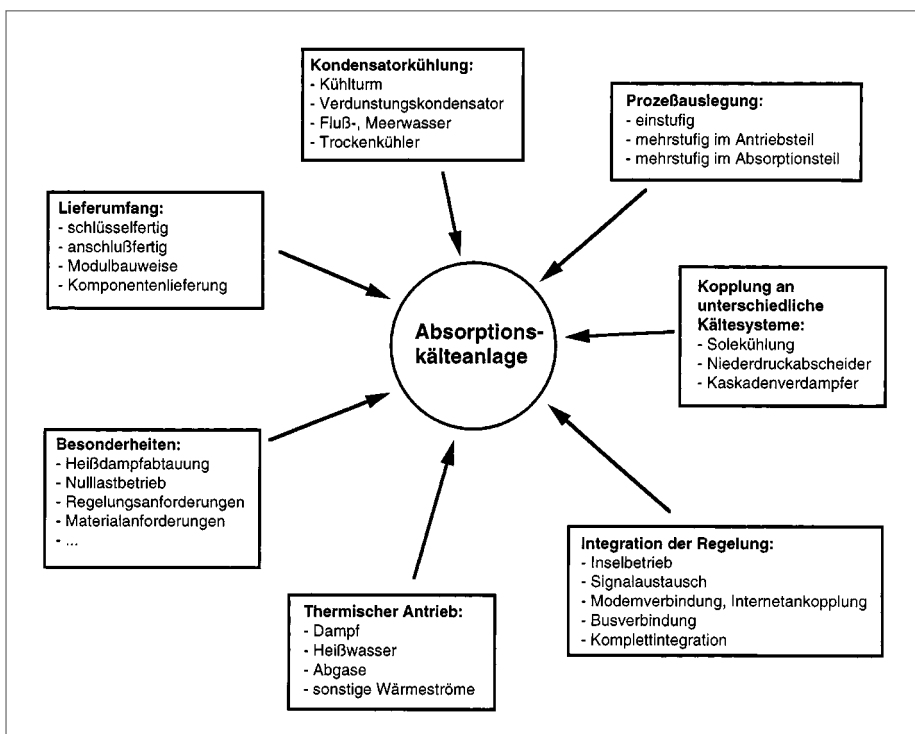
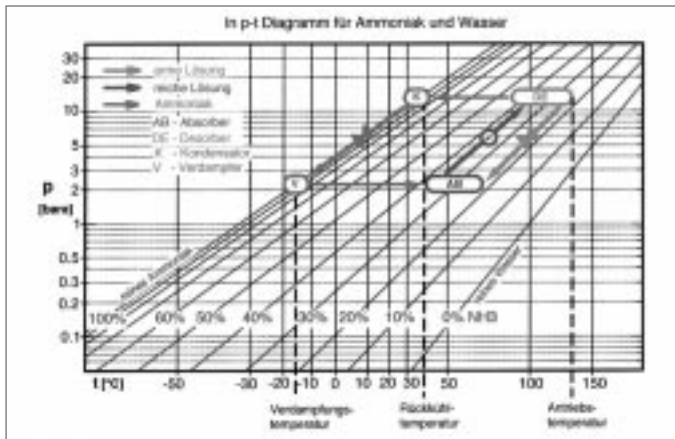


Bild 1 Einflußparameter auf die Ausführung einer Absorptionskälteanlage

Bild 2 Kälteprozeßdarstellung im In p-t Diagramm für Ammoniak und Wasser



Thermischer Antrieb

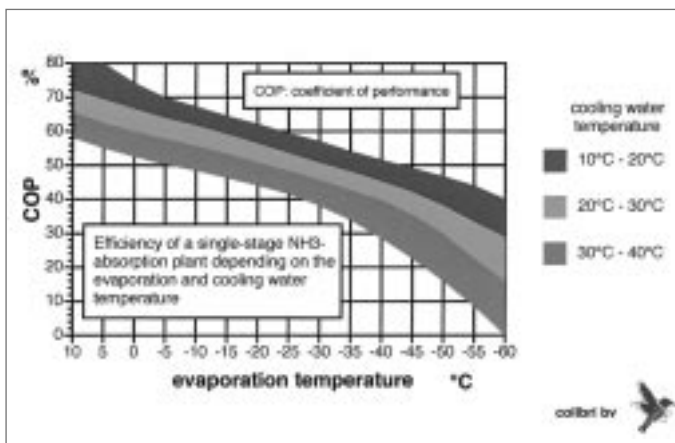
Prinzipiell kann jeder Wärmestrom mit einer bestimmten Temperatur zum Antrieb einer Absorptionskälteanlage eingesetzt werden. Dampf und Heißwasser sind die gebräuchlichsten Antriebsmedien und 90 °C ist in der Regel die Minimaltemperatur, um Kälte unter 0 °C zu erzeugen. Welche minimale Antriebstemperatur im Einzelfall erforderlich ist, hängt von der Kondensations- und Verdampfungstemperatur ab und kann aus Diagrammen der entsprechenden Hersteller entnommen werden. Für andere Antriebsmedien (z. B. Abgase von Motoren oder Turbinen, oder sonstige heiße Gase, Dämpfe oder Flüssigkeiten) müssen in der Regel spezielle Berechnungen durchgeführt werden. Eine Ausnahme sind neuerdings die direkt mit Abgasen angetriebenen ARP des Herstellers Colibri-Stork.

Kondensatorkühlung

Die bei der Verflüssigung des Kältemittels entstehende Kondensationswärme kann auf verschiedene Weise an die Umgebung abgeführt werden. Am gebräuchlichsten ist es, die Wärme durch verdunstendes Wasser an die Umgebungsluft zu übertragen. Dabei gibt es zwei Methoden:

1. Der Einsatz eines Kühlturmes, der Kühlwasser erzeugt, welches sowohl zur

Bild 3 Abhängigkeit des Anlagenwirkungsgrades von der Kühlwasser- und der Verdampfungstemperatur einer einstufigen ARP



Prozesauslegung die Wärmetauscherflächen minimiert werden, um ein günstiges Verhältnis von Anlagenkosten und -wirkungsgrad zu erhalten. Bei Standardagregaten wird geprüft, inwieweit die vom Kunden geforderte Kälteleistung unter den gegebenen Betriebsparametern erreicht werden kann. Zur Orientierung wird in Bild 3 die Abhängigkeit des Anlagenwirkungsgrades von der Kühlwasser- und der Verdampfungstemperatur dargestellt. Im Vergleich mit Kompressionsmaschinen sind Absorptionsanlagen viel flexibler bezüglich der Anpassung an Temperatur- und Leistungsänderungen. Durch einfache regelungstechnische Eingriffe kann man den Prozeß in einer vorhandenen Anlage an unterschiedliche Betriebsbedingungen anpassen.

Mehrstufige Anlagen sind dann sinnvoll, wenn entweder die Antriebstemperatur für die geforderte Kälteerzeugungsaufgabe zu niedrig ist (Mehrstufigkeit im Antriebsteil), oder wenn Kältebedarf auf mehreren Temperaturniveaus besteht (Mehrstufigkeit im Absorptionsteil). Bei solchen Anlagen muß genau geprüft werden, inwieweit der apparative Mehraufwand den zusätzlichen Nutzen rechtfertigt.

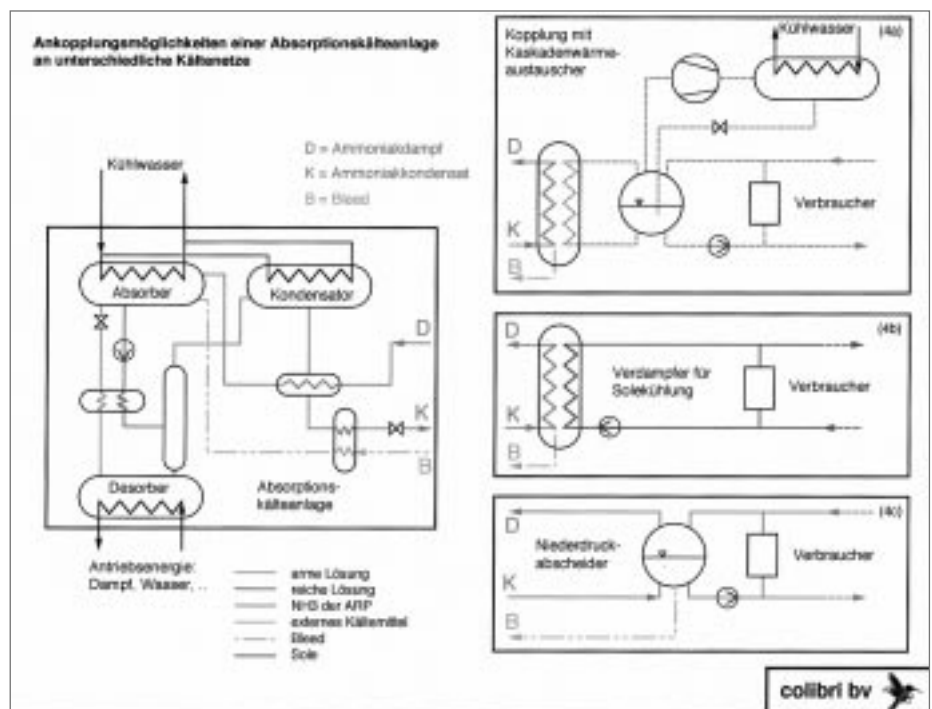


Bild 4 Ankopplungsmöglichkeiten einer Absorptionskälteanlage an unterschiedliche Kältenetze

Kondensatorkühlung, als auch zur Absorberkühlung verwendet wird. Der Kühlturm kann zusätzlich auch zur Kühlung anlagenfremder Apparate eingesetzt werden.

2. Der Einsatz eines Verdunstungskühlers als Kondensator. Hierbei sind die Funktionen der Kältemittelverflüssigung und der Verdunstungskühlung in einem Wärmetauscher integriert, was zu einer niedrigeren Kondensationstemperatur führt. Dadurch kann die erforderliche Temperatur für den thermischen Antrieb entsprechend niedriger gewählt werden.

Eine nur trockene Luftkühlung führt zu wesentlich höheren Investitionskosten

der Anlage, zu einem niedrigeren Wirkungsgrad und zu einer höheren erforderlichen Temperatur des Antriebsmediums.

Weiterhin kann der Kondensator natürlich direkt mit Oberflächenwasser (Flußwasser, Meerwasser, etc.) gekühlt werden. Dabei ist auf eine entsprechende Materialwahl im Wärmetauscher zu achten.

### *Kopplung an unterschiedliche Kältesysteme*

Die Einkopplung der von der Absorptionsanlage erzeugten Kälte läßt sich an die je-

weiligen Kältesysteme anpassen. Im folgenden werden die drei meist angewandten Methoden kurz beschrieben (siehe Bild 4):

#### **1. Solekühlung (siehe Bild 4b)**

Ein Kälteflüssigkeit oder ein Produktstrom kann direkt in einem Verdampfer gekühlt werden, der in der Absorptionskälteanlage integriert ist. Als Verdampfer typ kommen alle gebräuchlichen Ammoniakverdampfer in Frage.

#### **2. Direkte Kopplung an einen Niederdruckabscheider (siehe Bild 4c)**

Eine Absorptionskälteanlage kann anstelle eines Kompressors direkt an einen Niederdruckabscheider gekoppelt werden, wenn keine Kompressionsmaschinen auf denselben Abscheider arbeiten. Das Ammoniak in Absorptionsanlagen enthält immer einen gewissen Wasseranteil, der sich schädlich auf Kompressoren auswirken kann, und das Ammoniak aus Kompressionsanlagen enthält immer etwas Öl, welches sich schädlich auf den Absorptionsprozeß auswirkt. Daher sollte es vermieden werden, daß Ammoniak aus Kompressionsanlagen in Absorptionsanlagen verwendet wird.

#### **3. Indirekte Kopplung an einen Niederdruckabscheider (Kaskadenverdampfer)**

Für den Fall, daß noch andere Kälteerzeuger (z. B. Ammoniakkompressoren) auf denselben Niederdruckabscheider wie die Absorptionsanlage arbeiten sollen, ist ein Kaskadenwärmetauscher, wie in Bild 4a dargestellt, zwischenzuschalten. In diesem Wärmetauscher verdampft auf der einen Seite das Ammoniak der Absorptionskälteanlage, während auf der anderen Seite das Kältemittel des Verbrauchersystems kondensiert.

### *Integration der Regelung*

Moderne Absorptionskälteanlagen werden meist von einer SPS gesteuert, welche die Regelung der Anlage unabhängig von äußeren Eingriffen durchführt. Dabei ist ein Datenaustausch mit anderen Datenverarbeitungssystemen oft wünschenswert. Solch ein Datentransfer kann unterschiedliche Ausmaße haben:

- direkte Übertragung einzelner digitaler oder analoger Signale
- Modemverbindung, Internetanbindung
- Anbindung an ein Bussystem
- komplette Integration der Regelungssoftware in ein zentrales Leitsystem

Bild 5 Modular aufgebaute Absorptionskälteanlage beim Hersteller (System Colibri-Stork)

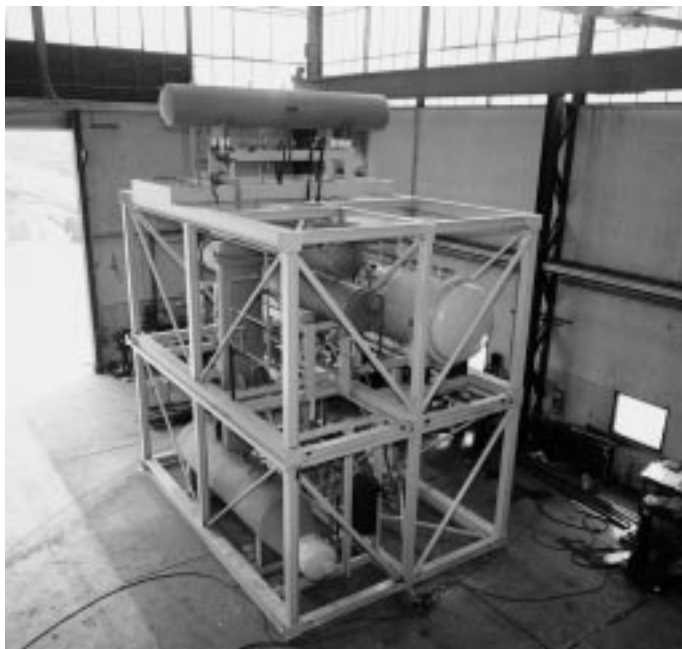


Bild 6 ARP für 1400 kW bei -28 °C (System Colibri-Stork)



Das Ausmaß und der Komfort der Datenaustauschmöglichkeiten hängt nur von den Wünschen und der Investitionsbereitschaft des Anwenders ab.

Besonders bei vollautomatisch laufenden Anlagen ist die Möglichkeit der Fernüberwachung sehr nützlich.

### Lieferumfang

Je nach Kundenwunsch und Hersteller kann der Umfang und die Art und Weise der Lieferung sehr unterschiedliche Formen annehmen.

Der Umfang kann nur die Lieferung der Hauptkomponenten (Wärmeaustauscher) umfassen und bis zur schlüsselfertigen Gesamtanlage gesteigert werden. Die Abstimmung, was in welcher Form geliefert wird, muß zusammen von dem Betreiber und den fachkundigen Ingenieuren der Hersteller festgelegt werden.

In der Regel kann man sagen, daß Anlagen unter 1000 kW Kälteleistung, weitgehend vormontiert in ein oder zwei standardisierten Modulen geliefert werden, so daß am Aufstellungsort nur noch die Anschlüsse gelegt werden müssen und minimale anlageninterne Arbeiten durchzuführen sind.

Bei größeren Leistungen muß im Einzelfall zwischen Lieferant und Kunde besprochen werden inwieweit die Anlage bereits beim Hersteller vormontiert wird. Ein Aufbau in Modulbauweise verringert auf jeden Fall den Montageaufwand am Aufstellungsort. In Bild 5 wird eine beim Hersteller vormontierte Anlage für eine Kälteleistung von 1300 kW gezeigt. Sie besteht aus vier Modulen, die mit Tiefladern nach Spanien transportiert wurden.

### Besonderheiten

Besondere Anforderungen können z. B. sein:

- Heißgasabtauung für die Verdampfer in den Kühlräumen
- Teillastregelung bis zu 0 % (Warmhaltebetrieb)
- spezielle Materialanforderungen
- spezielle Regelungsanforderungen
- die Versorgung unterschiedlicher Kälteverbraucher

Der hier aufgeführte Umfang der Einflußparameter auf die Konstruktion einer Absorptionskälteanlage zeigt, wie flexibel und individuell eine solche Anlage gestaltet werden kann. Zu einer fachgerechten Installation gehören jedoch Kenntnisse, die über die in der Kompressionskälte-technik gebräuchlichen hinausgehen. Die Beratung zur Planung solcher Anlagen sollte daher am besten von erfahrenen Herstellern durchgeführt werden. Im Be-

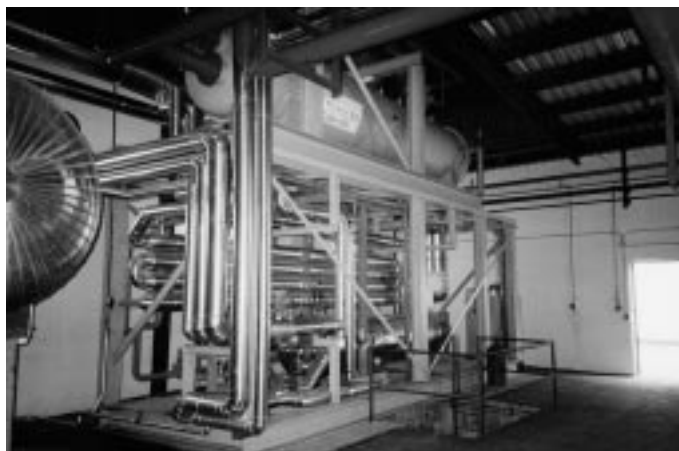


Bild 7 ARP für 700 kW bei -30 °C (System Colibri-Stork)



Bild 8 ARP für 280 kW bei -10 °C (System Colibri)

trieb erweisen sie sich jedoch als sehr unempfindliche und wartungs- sowie reparaturarme Anlagen. Die Betriebsführung erfolgt entweder vollautomatisch oder durch einfache Bedienung.

### Beispiele unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen

#### 1. ARP für 1400 kW bei -28 °C in Rotterdam (siehe Bild 6)

Diese Anlage dient der Kälteversorgung einer Margarinefabrik und wurde in ein vorhandenes Ammoniakversorgungsnetz eingebunden. Die Kopplung erfolgte über einen Kaskadenwärmetauscher. Zur Deckung des Spitzenbedarfs werden Kompressoren hinzugeschaltet, die auf demselben Niederdruckabscheider arbeiten. Die Kühlung für den Kondensator und Absorber erfolgt durch Flußwasser. Die Anlage wird von einer mehrere Kilometer entfernten Sammelleitwarte aus überwacht. Die Aufstellung im Jahr 1996 wurde durch vier vorgefertigte Module realisiert, die in einer vorhandenen Betriebs-halle untergebracht werden mußten.

#### 2. ARP für 700 kW bei -30 °C in Talavera (Spanien) (siehe Bild 7)

In einem Betrieb zur Herstellung von Gefriergemüse wurde eine Kältekraftkopplungsanlage bestehend aus zwei Motoren, einem Dampfkessel und einer Absorptionskälteanlage installiert. Die Absorptionsanlage arbeitet direkt auf einen Niederdruckabscheider, von dem aus die verschiedenen Verbraucher versorgt werden. Für die Verdampfer in den Kühlkammern wurde eine Heißdampf-abtauung vorgesehen. Die Anlage wurde in zwei vorgefertigten Modulen zum Aufstellungsort transportiert. Die Regelung erfolgt vollautomatisch.

#### 3. ARP für 280 kW bei -10 °C in Deventer (Holland) (siehe Bild 8)

Anlage zur Glykolkühlung in einem fleischverarbeitenden Betrieb. Aufgrund sehr geringer Raumhöhe am Aufstellungsort wurde eine extrem niedrige und kompakte Bauweise gewählt. Die Anlieferung erfolgte in einem komplett verrohrten und verdrahteten Modul. Die Anlage wird mit Heißwasser von 120 °C angetrieben, wird durch einen Kühlturm gekühlt und besitzt eine vollautomatische Regelung. □