Kälteträger für weitverzweigte Verbraucher

Energie- und Rohrnetzaufwand berechnen

Dr. Gernot Weber,
Dozent an der Dualen Hochschule ESaK, Maintal

Bei Kälteträgern unterscheidet man Kälteträger mit Latentwärme und solche ohne Latentwärme. Nach einer Einführung in die Thematik und einer Erläuterung des Begriffs der Sole als eutektische Lösung wird in diesem Beitrag ein Vergleich der Transportmassen, der Energietransport- und Rohrnetzaufwand für Kälteträger mit Latentwärme (NH_3, CO_2) und Kälteträger ohne Latentwärme (Sole) aufgezeigt.

Fernliegende Kältebedarfsstellen, wie sie in der industriellen Kälte oft vorliegen, werden vorzugsweise über „Pumpenanlagen" aus einer zentralen Kälteanlage versorgt.

In der Praxis werden
a) Kälteübertragungsflüssigkeiten als „indirektes Kühlsystem" bis ca. -100 °C,
b) Kälteträger mit Latentwärme (Kältemittel, das beim Verbraucher verdampft) und
c) „Binäreissysteme" angewendet.

Allgemeines

Bei dem „Kälteträger mit Latentwärme" ist der Arbeitsstoff flüssiges Kältemittel im Vergleich zu dem „Kälteträger ohne Latentwärme" wie Wasser bzw. Sole. Verdampft der Kälteträger bei Nutzungstemperatur am Ort des Kältebedarfs, wird die umzuwälzende Menge – der Volumenstrom – um den Faktor

$$\dot{m}_k / \dot{m}_s = c \cdot \Delta t / h_v$$

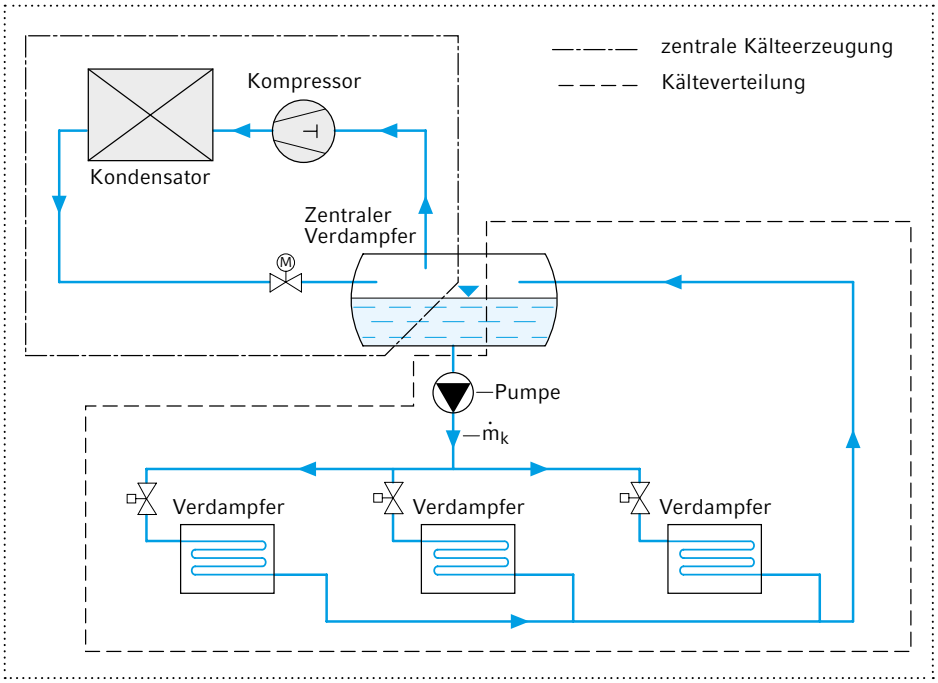
kleiner, denn:

$$\dot{Q}_o = \underbrace{\dot{m}_k \cdot h_v}_{\text{Kältemittel}} = \underbrace{\dot{m}_s \cdot c \cdot (t_v - t_R)}_{\text{Kälteträger Sole}}$$

$\dot{Q}_o$ = Kälteleistung
$\dot{m}_k$ = flüssiger Kältemittelstrom
h_v = Verdampfungsenthalpie des Kältemittels
$\dot{m}_s$ = Solestrom
c = spez. Wärmekapazität der Sole
$(t_v - t_R)$ = Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf der Sole = Δt

Solen sind eutektische Lösungen von Salzen in Wasser wie chlorhaltige, chlorfreie, wässrige Alkohollösungen (eutektische Temperatur = Erstarrungspunkt von 22,4 % Massenanteil an Kochsalz im Wasser beträgt -21,2 °C z.B.).

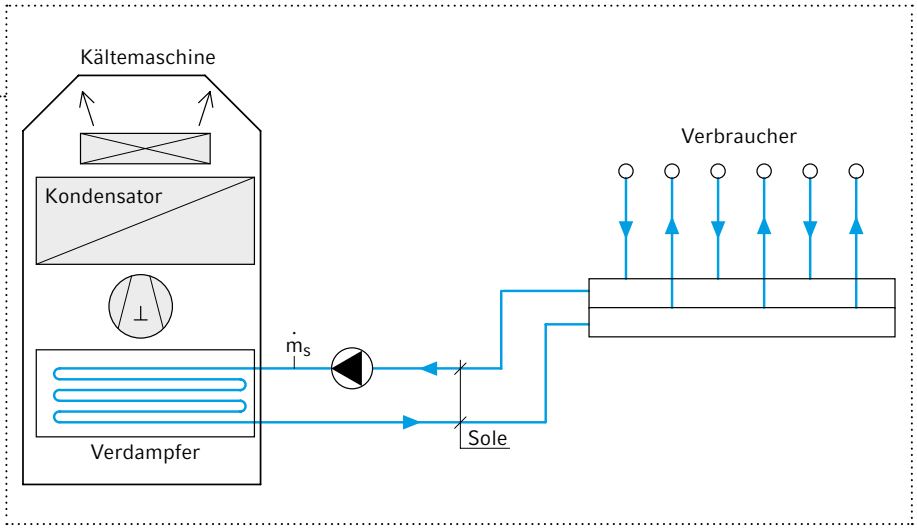
Eine Erweiterung der eutektischen Lösungen ist, wenn die Lösung zusätzlich feinste „Eiskristalle" <0 °C in der flüssigen Phase enthält. Das Eis selbst ist nicht flüssig. Es handelt sich um eine Suspension feinster Eiskristalle (1/100 bis 1/10 mm), die in der eutektischen Lösung den Gefrierpunkt zwischen -1 °C und -40 °C ermöglichen. Dieser pumpfähige „Eisbrei" – auch Binäreis genannt – bietet am Verbraucherort eine Enthalpiedifferenz, die sich aus der fühlbaren Wärme ($q = c \cdot \Delta t$) der Lösung (z.B. Sole) und der Schmelzenthalpie (q_s) des anteilig geschmolzenen Eises zusammensetzt. Bei Eiskonzentrationen von 40 bis 50 % ergeben sich Enthalpiedifferenzen, die im Bereich der Verdampfungsenthalpie von Z.B. R22 (= 133 kJ/kg) liegen.



Schema einer Kältemittelpumpenanlage

Beispiel:
a) spez. Wärmemenge von Wasser bei $\Delta t = 6$ K: $q = c \cdot \Delta t = 4{,}2 \cdot 6 = 25$ kJ/kg
b) Binäreis $q = c \cdot \Delta t + q_s = 4{,}2 \cdot 6 + 333 \cdot 0{,}25 = 108$ kJ/kg bei 25 % Eisanteil
Nachteilig sind die hohen Druckverluste im Rohrnetz.

Im nachstehenden Beispiel wird ein Vergleich der Transportmassen, der Energie-



Schema einer indirekten Solekühlanlage

transport- und Rohrnetzaufwand für Kälteträger mit Latentwärme (NH_3, CO_2) und Kälteträger ohne Latentwärme (Sole) aufgezeigt.

Technische Daten:
- Kälteleistung $\dot{Q}_o = 1$ MW
- Fluidtemperatur -20 °C
- Leitungslänge l = 1000 m
- Wirkungsgrad der Pumpen $\eta = 0{,}75$
- Kälteträger: Ammoniak NH_3, Kohlendioxid CO_2, Sole (38 % Wasser-/Antifrogen-Gemisch)

AMMONIAK NH_3

Parameter (bei -20 °C):

Dichte $\rho = 650$ kg/m³,

kinematische Viskosität $\nu = 0{,}35 \cdot 10^{-6}$ m²/s,

Umwälzfaktor $x = \dot{m}_p / \dot{m}_k = 1{,}1$, $\dot{m}_p$ = Pumpenmassenstrom

Dampfdichte $\rho_D = 1{,}6$ kg/m³,

Verdampfungsenthalpie $h_v = 1300$ kJ/kg,

Rohrdimension:
Strömungsgeschwindigkeit c = 1 m/s

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_k \cdot h_v$$

$$\dot{m}_k = \frac{1000}{1300} = 0{,}77\ \text{kg/s}$$

$$\dot{m}_p = x \cdot \dot{m}_k = 1{,}1 \cdot 0{,}77 = 0{,}847\ \text{kg/s}$$

$$\dot{m}_p = \dot{V} \cdot \rho = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot 1 \cdot 650$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}_p}{c \cdot \rho \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}847}{1 \cdot 650 \cdot 3{,}14}} = 40{,}74\ \text{mm Ø}$$

$$= 40\ \text{mm Ø gewählt}$$

Sie suchen einen Plug & Play Verflüssigungssatz, den Sie ganz nach Ihren individuellen Bedürfnissen konfigurieren können?
Durch das modulare Baukastenprinzip der neuen GEA Plusbox Verflüssigungssätze haben Sie die Wahl:
Basic Ausführung, Plug & Play oder individuell erweitert - Sie bestimmen Lieferumfang und Zubehör.

Hier geht's zum Plusbox-Konfigurator:
www.bock.de/plusbox/de/index.html

GEA Bock GmbH
Benzstr. 7, D-72636 Frickenhausen
Tel.: +49 7022 945 4-0 Fax: +49 7022 945 4-137
bock@gea.com, www.gea.com, www.bock.de

GEA Refrigeration Technologies

engineering for a better world

IDEEN VERBINDEN

mit dem Marktfeld
Lüftung / Klima

BeNeLux-Tag
12. März 2014

SHK
ESSEN

DIE FACHMESSE FÜR
SANITÄR, HEIZUNG, KLIMA
UND ERNEUERBARE ENERGIEN

12.-15. März 2014

Messe Essen GmbH
Norbertstraße
45131 Essen
Telefon +49.(0)201.72 44-0
Telefax +49.(0)201.72 44-384

www.shkessen.de

MESSE
ESSEN
Place of Events

Antriebsleistung:

$$P_p = \frac{\Delta p_v \cdot \dot{V}}{\eta}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_p}{\rho} = \frac{0{,}847}{650} = 0{,}0012\ m^3/s$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda}{d} \cdot l\right) \cdot 1{,}3 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot c^2$$

Der Faktor 1,3 ist der Einzelwiderstandszuschlag.

λ = Rohrreibungskoeffizient = $\frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}}$ nach Blasius

Re = Reynoldszahl = $\frac{d \cdot c}{\nu} = \frac{0{,}04 \cdot 1}{0{,}35 \cdot 10^{-6}} = 114268$

Re ≥2300 turbulente Strömung

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{114268}} = 0{,}017$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{0{,}017}{0{,}040} \cdot 1000\right) \cdot 1{,}3 \cdot \frac{650}{2} \cdot 1^2 = 1{,}80 \cdot 10^5\ Pa$$

$$P_p = \frac{1{,}8 \cdot 10^5 \cdot 0{,}0012}{0{,}75} = 0{,}29\ kW$$

KOHLENDIOXID CO_2

Parameter (bei -20 °C):
Dichte $\rho = 1000\ kg/m^3$,

kinematische Viskosität $\nu = 0{,}12 \cdot 10^{-6}\ m^2/s$

Umwälzfaktor $x = \dot{m}_p / \dot{m}_k = 1{,}6$

Dampfdichte $\rho_D = 52\ kg/m^3$

Verdampfungsenthalpie $h_v = 282\ kJ/kg$

Rohrdimension:
Strömungsgeschwindigkeit c = 1 m/s

$$\dot{m}_k = \frac{1000}{282} = 3{,}55\ kg/s$$

$$\dot{m}_p = x \cdot \dot{m}_k = 1{,}6 \cdot 3{,}55 = 5{,}68\ kg/s$$

$$\dot{m}_p = \dot{V} \cdot \rho = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot c \cdot \rho$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 5{,}68}{1 \cdot 1000 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}847}{1 \cdot 650 \cdot 3{,}14}} = 85\ mm\ Ø$$

Antriebsleistung:

$$P_p = \frac{\Delta p_v \cdot \dot{V}}{\eta}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_p}{\rho} = \frac{5{,}68}{1000} = 0{,}0057\ m^3/s$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda}{d}\cdot l\right)\cdot 1{,}3\cdot\frac{\rho}{2}\cdot c^2$$

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{708333}} = 0{,}011$$

$$Re = \frac{0{,}085\cdot 1}{0{,}12\cdot 10^{-6}} \geq 2300 \text{ (turbulent)}$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{0{,}011}{0{,}085}\cdot 1000\right)\cdot 1{,}3\cdot\frac{1000}{2}\cdot 1^2 = 0{,}84\cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_p = \frac{0{,}84\cdot 10^5\cdot 0{,}0057}{0{,}75} = 0{,}64 \text{ kW}$$

SOLE (38 %-MISCHUNG)

Parameter (bei -20 °C):

Dichte $\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$,

kinematische Viskosität $\nu = 40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$,

spez. Wärmekapazität $c_s = 3{,}7 \text{ kJ/kg K}$,

Temperaturdifferenz (Vor- und Rücklauf) $\Delta t = 5 \text{ K}$,

Rohrdimension:

Strömungsgeschwindigkeit c = 1 m/s

$$\dot{Q}_O = \dot{m}_p \cdot c_s \cdot \Delta t$$

$$\dot{m}_p = \frac{1000}{3{,}7\cdot 5} = 54{,}05 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_p = \dot{V}\cdot\rho = \frac{d^2\cdot\pi}{4}\cdot c\cdot\rho, \quad \dot{V} = \frac{54{,}05}{1050} = 0{,}052 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$d = \sqrt{\frac{4\cdot 0{,}052}{1\cdot\pi}} = 257 \text{ mm Ø}$$

Antriebsleistung:

$$P_p = \frac{\Delta p_v\cdot\dot{V}}{\eta}$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{\lambda}{d}\cdot l\right)\cdot 1{,}3\cdot\frac{\rho}{2}\cdot c^2$$

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{Re}} = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{6425}} = 0{,}035$$

$$Re = \frac{0{,}257\cdot 1}{40\cdot 10^{-6}} = 6425\ (>2300)$$

$$\Delta p_v = \left(\frac{0{,}035}{0{,}257}\cdot 1000\right)\cdot 1{,}3\cdot\frac{1050}{2}\cdot 1^2 = 0{,}93\cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_p = \frac{0{,}93\cdot 10^5\cdot 0{,}052}{0{,}75} = 6{,}5 \text{ kW}$$

Zusammenstellung (Fluidtemperatur –20 °C)

	Rohrnetz (din mm Ø)	Massenstrom (kg/s)	Volumenstrom (m^3/s)	Energietransport (kW)
NH_3	40	0,847	0,0012	0,29
CO_2	85	5,68	0,0057	0,64
Sole	257	54,05	0,052	6,5

Quelle: Aus dem Vorlesungsskript „Kältesystemtechnik" an der ESak – Maintal.

REMIS

NEU - Komplettsysteme für Kühlzellen

Zuverlässig, hygienisch, sparsam und sie halten den Energieverbrauch gering – so sehen die optimalen Komponenten für Kühlzellen aus. Schließlich sind sie täglich stark beansprucht, viele hundert Mal geöffnet, oft befüllt und müssen hygienisch und optisch ansprechend sein.

REMIS, der Spezialist und europaweite Marktführer für Isolierglastüren im Lebensmitteleinzelhandel, bietet ab sofort für Kühlzellen individuell angepasste und energieeffiziente Türen sowie passende Warenpräsentationssysteme aus einer Hand.

www.remiglas.de

EuroShop 16. – 20. February 2014

Erleben und besuchen Sie uns: Stand B22 in Halle 15.