

Energetischer Vergleich von Schraubenverdichtern in Flüssigkühlsätzen für industrielle Prozess-Anwendungen mit Ammoniak und R134a

Zur energetischen Bewertung der technischen Lösung werden die für den Betreiber der Klimaanlage maßgeblichen Energiekosten herangezogen, die benötigt werden, um eine geforderte Kälteleistung mit den gewünschten Kaltwassertemperaturen bei den konkret vorhandenen Betriebsbedingungen bereitzustellen.

Betriebskosten werden durch Kälteleistung und EER-Wert der Energieumwandlung beeinflusst sowie durch Finanzierungskosten, die von Anschaffungspreis und Zinskonditionen abhängig sind. Die laufenden Finanzierungskosten sind im Vergleich zu den Betriebskosten allerdings vergleichsweise klein.

Betriebskosten

Die Effizienz der Energieumwandlung von Elektroenergie in „Kälte“ hängt nicht nur vom Kältemittel ab, sondern auch von den technischen Parametern der eingesetzten Komponenten und von den Betriebsbedingungen. Komponenten sind hauptsächlich Verdichter (Gütegrad der Verdichtung), Wärmeübertrager (Fläche und Wärmedurchgangszahl) und Hilfseinrichtungen (Pumpen, Lüfter).

Temperaturdifferenzen in Wärmeübertragern senken die Verdampfungs- und vergrößern die Verflüssigungstemperatur. Das verursacht höhere Betriebskosten. Daher sind sie möglichst klein zu halten.

Kältemittelabhängige Einflüsse auf die Komponenten (z.B. auf den Wärmeübergang und auf Druckabfälle) lassen sich durch Abmessungen, Gestaltung und/oder Werkstoffe kompensieren.

Deshalb werden für den energetischen Vergleich der verwendeten Kältemittel gleiche Kaltwasser-Ein- und Austrittstemperatur am Verdampfer und gleiche Kühlwasser- bzw. Luft-Ein und Austrittstemperatur am Verflüssiger angenommen und auch die gleichen Verdampfungs- und Verflüssigungstemperaturen benutzt.

Saisonale Effizienzbewertung (SEPR)

Durch saisonale Effizienzbewertung wird die energetische Bewertung den tatsächlichen Nutzungsbedingungen während eines ganzen Jahres besser gerecht, als eine Bewertung bei Volllast, da dieser Betriebszustand nur wenige Stunden im Jahr gefordert ist.

Zur saisonalen Effizienzbewertung wird die saisonale Energiekennzahl **SEPR** (**S**easonal **E**nergy **P**erformance **R**atio) benutzt. Dazu ist ein standardisiertes Nutzungsprofil definiert, das die Kühllastanforderungen zwischen 80% und 100% in Abhängigkeit der Außentemperatur und deren Dauer während einer Saison berücksichtigt.

Demnach wird der Flüssigkeitskühlsatz bei Umgebungstemperaturen zwischen 5°C und 35°C Außentemperatur bewertet. Die Betriebszeit für ein Jahr ist mit 8760 Stunden festgelegt.

Zur Berechnung der Energiekennzahl SEPR sind die **EER**-Werte (**E**nergy **E**fficiency **R**atio) für vier Betriebszustände A (Volllast), B, C, D (Teillasten) erforderlich.

Technisches Konzept

Für Prozessanwendungen sind Flüssigkeitskühlsätze mit indirekter Kühlung Standarderzeugnisse. Der „Kälteträger“ ist im allgemeinen Wasser, der in einem Pumpenkreislauf durch die Verbraucher gefördert wird. Neben synthetischen Kältemitteln wird in Deutschland und einigen (nord-) europäischen Ländern mehr und mehr Ammoniak verwendet. In dieser Informationsschrift werden Flüssigkeitskühlsätze verglichen, die entweder mit R134a oder mit Ammoniak betrieben werden.

In Deutschland dürfen Ammoniak-Kälteanlagen auch in öffentlich zugänglichen Gebäuden betrieben werden, wenn indirekt geschlossene Systeme verwendet werden (indirekte Kühlung) und alle kältemittelführenden Teile im Maschinenraum oder im Freien installiert sind.

Die Kältemittelfüllung für Flüssigkeitskühlsätze mit Ammoniak ist durch die Verwendung von Platten- oder Rohrbündelwärmeübertragern mit Innenverdampfung weitest reduziert.

Als Richtwert für wassergekühlte Maschinen können 0,040 - 0,100 kg/kW (je nach Typ) für überflutete Verdampfer angenommen werden. Dadurch sind in einem weiten Leistungsbereich Flüssigkeitskühlsätze mit weniger als 50 kg Ammoniak möglich, die in Räumen mit Zugangsberechtigung auch ohne Maschinenraum aufgestellt werden dürfen.

Ein mit Ammoniak betriebener Flüssigkeitskühlsatz unterscheidet sich konzeptionell nicht von Flüssigkeitskühlsätzen mit anderen Kältemitteln (s. Bild 1).

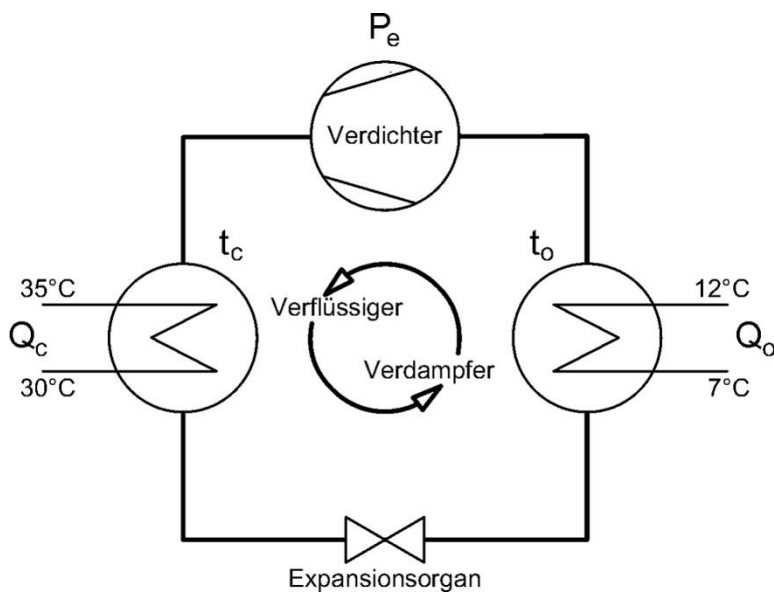


Bild 1: Vereinfachtes Schema eines wassergekühlten Flüssigkeitskühlsatzes

Verdampfer

Verdampfer werden mit Ammoniak typischerweise überflutet betrieben. Die Verdampfungstemperatur ist für Verdampfer mit Einspritzung (Trockenexpansion – diese wird für synthetische Kältemittel bevorzugt verwendet – bei vergleichbarer Kaltwasseraustrittstemperatur kleiner. Das ist aus energetischer Sicht ein Nachteil.

Im Folgenden werden zwei Flüssigkeitskühlsätze mit überflutetem Verdampfer verglichen.

Temperaturen (Vollast)

Kaltwassertemperaturen, Ein-/Austritt: 12 / 7°C

Verdampfungstemperatur: 5°C

Verflüssiger

Die Verflüssigung des Kältemittels kann durch Kühlwasser, Luft oder Verdunstungswärme erfolgen. Die Verflüssigungsvariante beeinflusst die Höhe der Verflüssigungstemperatur. Die Verflüssigungstemperatur zwischen luft- und wassergekühlten Verflüssigern unterscheidet sich beträchtlich. Diese beiden Verflüssiger-Ausführungen werden für Ammoniak und R134a verglichen.

Luftgekühlter Flüssigkeitskühlsatz

Ein vereinfachtes Rohrschema eines luftgekühlten Flüssigkeitskühlsatzes mit überflutetem Verdampfer zeigt Bild 2.

Temperaturen (Vollast)

Lufttemperaturen, Ein-/Austritt: 35 /46°C

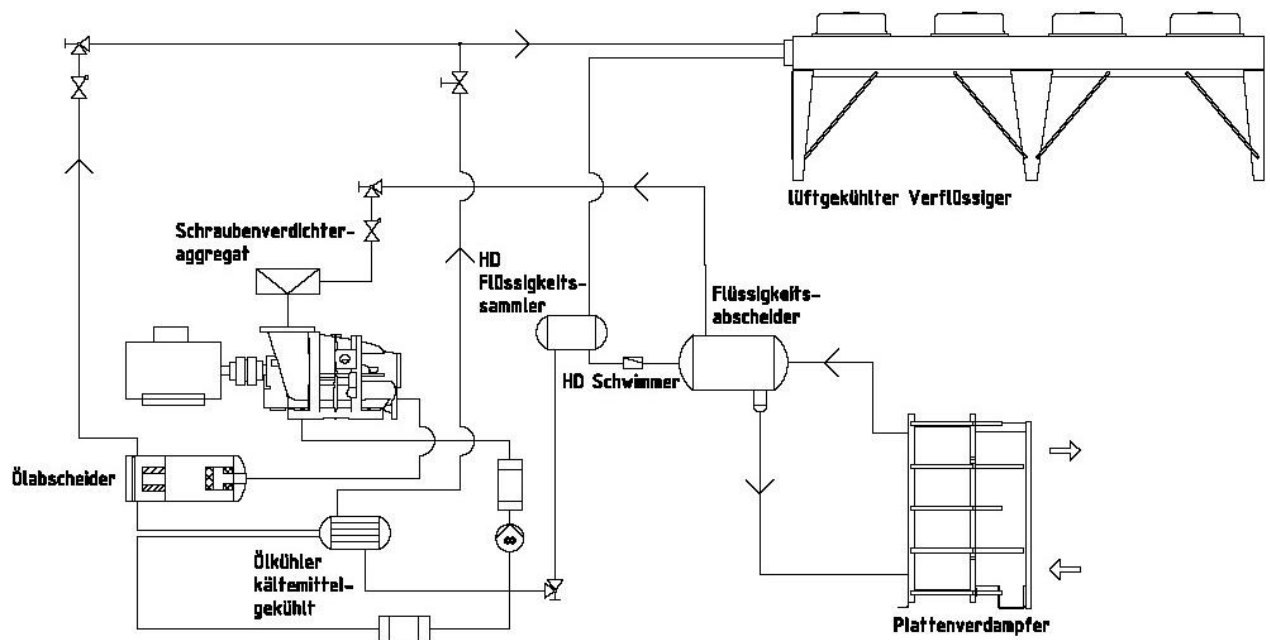
Verflüssigungstemperatur: 48°C

Wassergekühlter Flüssigkeitskühlsatz

Temperaturen (Vollast)

Kühlwassertemperaturen, Ein-/Austritt: 30 /35°C

Verflüssigungstemperatur: 37°C



Schwerkraftumlauf des Kältemittels

Bild 2: Schema eines luftgekühlten Flüssigkeitskühlsatzes mit überflutetem Verdampfer und Ammoniak

EER-Werte und Energiekostenbetrachtung

Die EER-Werte lassen sich verbessern, wenn die Verdampfungstemperatur vergrößert und / oder die Verflüssigungstemperatur abgesenkt werden können. Mit dieser Maßnahme sind allerdings Wärmeübertrager verbunden, die im Allgemeinen zu größeren Herstellungskosten führen. Es ist gängige Praxis, auf diesem Wege Leistungszahlen zu verbessern, so dass Effizienzunterschiede der Kältemittel Ammoniak und R134a in ausgeführten Flüssigkeitskühlsätzen verkleinert werden können.

Auch durch Reduzierung der Sauggasüberhitzung bei Trockenexpansionssystemen sind Verbesserungen der EER-Werte möglich. So erlauben elektronische Regelventile eine kleinere Überhitzung als thermostatische Expansionsventile.

Die Entscheidung für die eine oder andere Variante eines Flüssigkeitskühlsatzes wird von den Anschaffungskosten, von den konkreten Bedingungen am Aufstellungsort und von der zu erwartenden jährlichen Betriebsstundenzahl abhängen. Eine Gesamtkostenrechnung, die Kapitalkosten und Energiekosten berücksichtigt, lässt eine quantitative Entscheidung aus wirtschaftlicher Sicht zu.

Die Tabelle zeigt Unterschiede für einen Flüssigkeitskühlsatz mit 1.100 kW Vollastkälteleistung im Ganzjahresbetrieb mit Schraubenverdichter, wenn die oben angeführten Kühllast- und Temperaturänderungen innerhalb einer Saison zu Grunde gelegt werden.

Tabelle: Jahresenergiebedarf E_a und Relation der SEPR-Werte für R134a und Ammoniak

| Kältemittel | Kühl- fluid | SEPR _{R134a} / SEPR _{Ammoniak} | E_a [MWh] |
|-------------|----------------|---|----------------|
| Ammoniak | Wasser | 1,0 | 870 |
| R134a | Wasser | 0,90 | 960 |
| Ammoniak | Luft | 1,0 | 1.200 |
| R134a | Luft | 0,90 | 1.320 |

Oft verbietet das konkrete Umfeld für den Maschinenraum aus Kostengründen den Einsatz einer wassergekühlten Maschine, so dass der erhöhte Energiebedarf des luftgekühlten Flüssigkeitskühlsatzes in Kauf genommen werden muss. In Anbetracht steigender Kühlwasserkosten (Wasseraufbereitung) muss diese Lösung jedoch nicht immer unwirtschaftlicher sein.

Die Entscheidung für das eine oder für das andere Kältemittel kann bei einer Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung getroffen werden, wenn die reinen Betriebskosten durch die Anschaffungskosten des Flüssigkeitskühlsatzes ergänzt werden. In jedem Fall

zeigt die vorliegende Untersuchung, dass die Energiekosten bei Einsatz des Kältemittels Ammoniak niedriger sind als bei dem Kältemittel R134a.

Dem Bedürfnis, umweltgerechten technischen Lösungen den Vorrang einzuräumen, kann durch Einbeziehung des TEWI-Wertes in den Entscheidungsprozess entsprochen werden, da der indirekte Anteil des TEWI-Wertes unmittelbar mit dem Energieverbrauch verbunden ist.

Herausgegeben von *eurammon*

Postfach 71 08 64 D-60498 Frankfurt

Telefon +49 69 6603 1277 Fax +49 69 6603 2276

e-mail: karin.jahn@eurammon.com

<http://www.eurammon.com>