

FACHBERICHT

Hermetische Pumpen in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle



Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Auswahl von Pumpen zur Zwangsumwälzung von Kältemitteln in Großkälteanlagen sind die anlagen- und pumpenspezifischen Daten und Auslegungskriterien von großer Bedeutung. Die Frage nach der Mindestzulaufhöhe lässt sich unter Berücksichtigung instationärer Verhältnisse in der Anlage, sowie thermodynamischer Einflüsse auf das Saugverhalten der Pumpe beantworten. Wegen der Leckage- und weitgehender Wartungsfreiheit werden heute bevorzugt hermetische Kreiselpumpen eingesetzt. Sie zeichnen sich neben der Kompaktheit, leichter Installierbarkeit, hoher Betriebssicherheit und extrem niedrigem Geräuschpegel durch niedrige Lebenszykluskosten aus!

1. EINLEITUNG

Heute werden Industriekälteanlagen bevorzugt als System mit Zwangsumwälzung des Kältemittels auf der Niederdruckseite ausgeführt. Die Anwendung von Pumpen bietet gegenüber anderen Anlagentypen eine Reihe von Vorteilen, die im Folgenden aufgeführt sind:

- Problemloses Verteilen und Regeln der Kälteleistung bzw. des Kältemittels bei mehreren – auch entfernt liegenden – Verbrauchern bzw. Verdampfern.
- Durch geringe Temperaturdifferenzen bei direkter Verdampfung wird die notwendige elektrische Leistung minimiert.
- Das Rohrleitungssystem wird vereinfacht und die entsprechenden Dimensionen und Abmessungen reduziert.
- Optimierter Wärmeübergang in den Verdampfern.
- Konzentration der wichtigsten Anlageelemente auf einen Raum.
- Einfache Entfrostung und Entölung.



Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

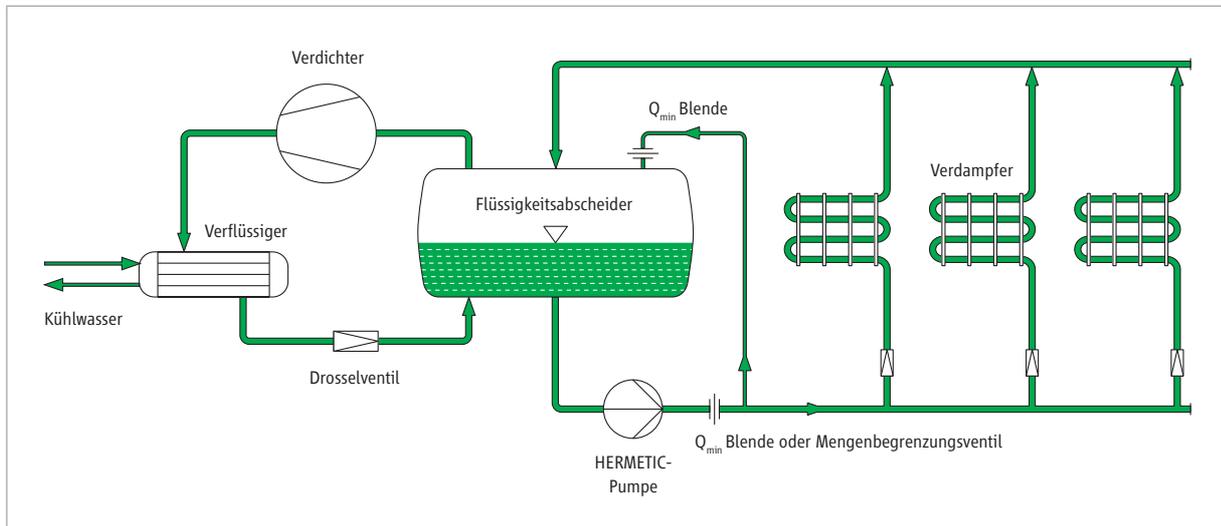


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Großkälteanlage

Das vereinfachte Schema einer industriellen Kälteanlage mit Zwangsumwälzung zeigt Abbildung 1. Eine Großkälteanlage besteht aus einem primären und sekundären Kreislauf. Das Prinzip des Zwangsumwälzprozesses bewirkt, dass eine höhere Menge Kältemittel umgewälzt wird als diejenige, die im Verdampfer unter Wärmeaufnahme verdampft. Das Verhältnis beider Massenströme wird als Umwälzfaktor Z bezeichnet. Der entstehende Dampf und das überschüssige Kältemittel gelangt über den Rücklauf des Sekundärkreislaufes wieder zum Abscheider. Das im zentralen Abscheider anfallende flüssige Kältemittel kann durch eine oder mehrere Pumpen zu den Verbrauchern (Verdampfer) gefördert werden. Der Verdichter, Verflüssiger und das Drosselorgan sind im sogenannten Primärkreislauf angeordnet.

Die Auslegung und Dimensionierung der Pumpen hängt von der Kälteleistung, dem Umwälzfaktor, der Verdampfungstemperatur, der konstruktiven Dimensionierung des Verdampfers und der geometrischen Anordnung der Anlage ab.

Hermetische Pumpen in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle



Abbildung 2: Lebenszykluskosten einer Kreiselpumpe

2. WAHL DER PUMPENART

Pumpen in industriellen Kälteanlagen müssen geeignet sein, Kältemittel nicht nur im Siedezustand zu fördern, sondern auch eine höchstmögliche Betriebssicherheit und Wartungsfreiheit zu gewährleisten. Dazu kommt in jüngster Zeit immer mehr die Frage nach den minimalen Gesamtkosten (Lebenszykluskosten). Aus diesem Grunde werden heute bevorzugt nur noch Kreiselpumpen eingesetzt. Seitenkanalradpumpen werden wegen ihrer besonderen Empfindlichkeit gegenüber Verunreinigungen und dem damit verbundenen Verschleiß nur noch in geringem Maße eingesetzt.

Kreiselpumpen mit Stopfbuchspackungen oder einer Gleitringdichtung, wie sie in früheren Jahren eingesetzt worden sind, erfüllen in Großkälteanlagen nur noch bedingt die Anforderungen des Umweltschutzes und eines modernen „Life-cycle-cost“-Denkens.

Wenn keine Fördermedien austreten dürfen, wie dies in Großkälteanlagen der Fall ist, werden doppelwirkende Gleitringdichtungen eingesetzt, in deren Zwischenräume eine Sperrflüssigkeit gegeben wird. Diese schmiert und kühlt die Gleitflächen der Dichtungsringe. Bei umweltschädigenden Medien sind die Grenzen des wirtschaftlichen Einsatzes dieser Pumpenbauart jedoch erreicht, da nur mit entsprechendem Aufwand durch Sperr- und Überwachungssysteme ein Austreten des Mediums an die Atmosphäre verhindert werden kann.

Im Vergleich zu hermetischen, d. h. wellendichtungslosen Kreiselpumpen, sind die Lebenszykluskosten der oben beschriebenen Pumpen mit Wellendichtungen deutlich höher.

Die Lebenszykluskosten setzen sich aus den Anschaffungskosten, Betriebskosten (Energiekosten), Reparatur- und Wartungskosten, sowie den Kosten der Stillstandzeit zusammen. [Abbildung 2]

Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

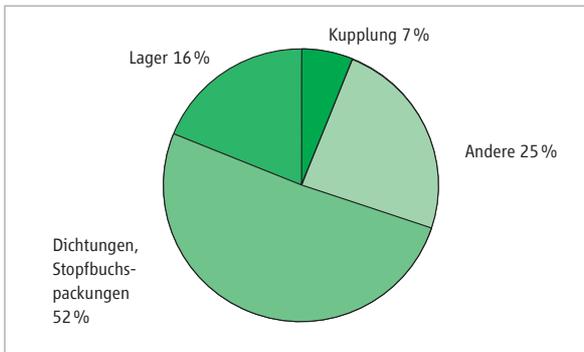


Abbildung 3: Ausfallursachen bei konventionellen Kreiselpumpen

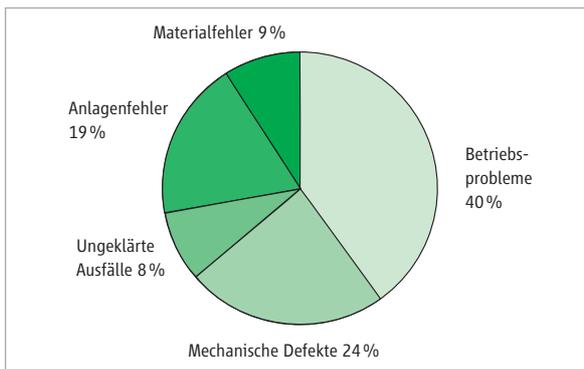


Abbildung 4: Aufteilung der dichtungsbedingten Ausfälle bei konventionellen Kreiselpumpen



Abbildung 5: Standzeiten unterschiedlicher Kreiselpumpenbauarten

- SMP Spaltrohrmotorpumpe
- MKP Magnetkupplungspumpe
- GLRD Pumpe mit Gleitringdichtung

Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass bei konventionellen Kreiselpumpen bei der Ausfallursache die Dichtungen mit 52 % eine dominierende Rolle einnehmen. Dagegen sind die Schäden bedingt durch Wälzlager und Kupplungen deutlich geringer. Betrachtet man diese dichtungsbedingten Ursachen bei konventionellen Pumpen im Detail, so erkennt man, dass betriebsbedingte Probleme wie Anlagen- und Bedienungsfehler mit wiederum 40 % den Löwenanteil einnehmen. [Abbildung 4]

3. HERMETISCHE KREISELPUMPEN

Von den beiden hermetischen Antriebssystemen

- elektromagnetisch mit Hilfe eines Spaltrohrmotors
- permanentmagnetisch mit Hilfe eines Magnetantriebes

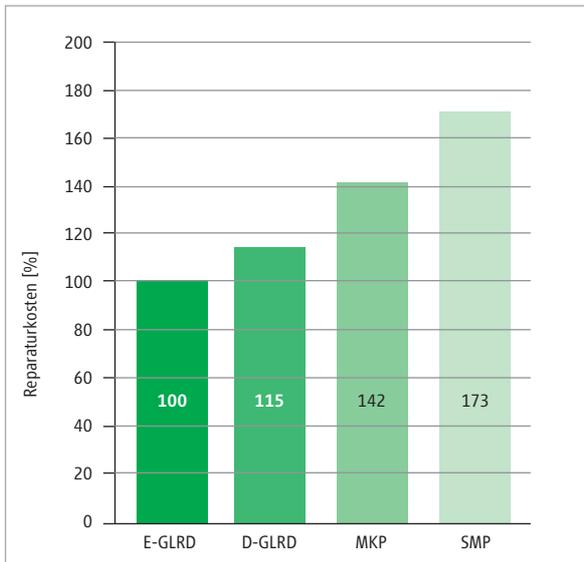
haben sich vor allem Spaltrohrmotorpumpen einen beachtlichen Marktanteil in der Kältetechnik gesichert. Dies hängt damit zusammen, dass Spaltrohrmotorpumpen in sich kompakter, leichter zu installieren, preislich günstiger und vor allem betriebs- und störfallsicher sind.

Dies drückt sich auch in den Standzeiten im Vergleich zu anderen Pumpenbauarten aus [Abbildung 5], bei denen Spaltrohrmotorpumpen (100 %) gegenüber Magnetkupplungspumpen (60 %) und konventionellen Pumpen (40 %) deutliche Vorteile haben.



Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle



Die Instandhaltungskosten von Spaltröhropumpen sind höher als bei den anderen Kreiselpumpenbauarten. [Abbildung 6]

Auf der anderen Seite ist die Reparaturhäufigkeit bei Spaltröhropumpen nur ca. 1/3 der Reparaturquote von Gleitringdichtungspumpen und Magnetkupplungspumpen. [Abbildung 7]

Dadurch sind in der Regel die Lebenszykluskosten von Spaltröhropumpen am niedrigsten!

Abbildung 6: Instandhaltungskosten unterschiedlicher Kreiselpumpen-Bauarten

- SMP Spaltröhropumpe
- MKP Magnetkupplungspumpe
- E-GLRD Pumpe mit einfacher Gleitringdichtung
- D-GLRD Pumpe mit doppelter Gleitringdichtung

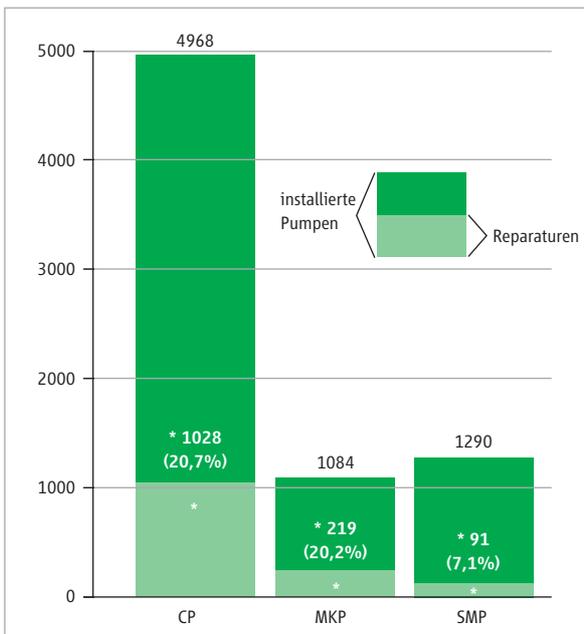


Abbildung 7: Anzahl Pumpen und Reparaturen nach Pumpenbauarten

- SMP Spaltröhropumpe
- MKP Magnetkupplungspumpe
- CP konventionelle Chemiepumpe



Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

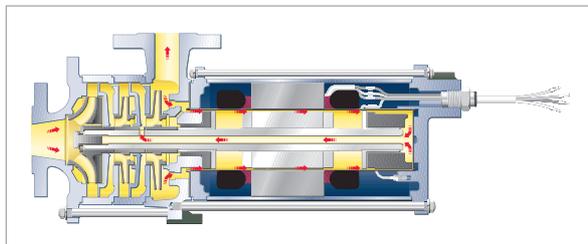


Abbildung 8: HERMETIC-Pumpe Typ CAM

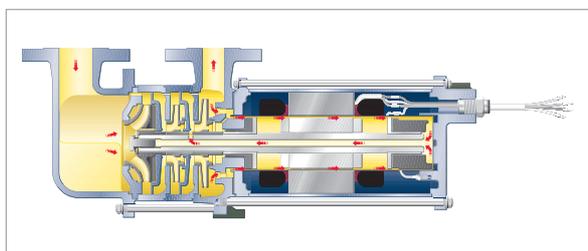


Abbildung 9: HERMETIC-Pumpe Typ CAMR

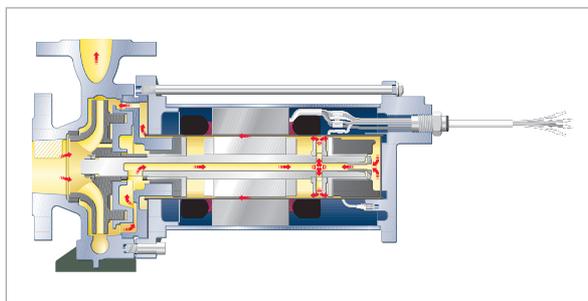


Abbildung 10: HERMETIC-Pumpe Typ CNF

**4. BAUARTEN VON SPALTROHRMOTOR-
PUMPEN**

Bei Spaltröhrmotorpumpen ist das Laufrad auf der Motorwelle angeordnet. Das Pumpengehäuse ist direkt mit dem Motor verbunden. Die Statorwicklung des Antriebes wird durch ein dünnes Rohr, dem Spaltröhr, vom Fördermedium getrennt. [Abbildung 8]

Während des Betriebes ist der Rotorraum mit Fördermedium gefüllt und bildet mit dem Hydraulikteil der Pumpe eine kompakte, integrale Einheit. Das vom Stator erzeugte elektromagnetische Feld wirkt durch das Spaltröhr auf den vom Medium umgebenen Rotor, so dass das gewünschte Antriebsmoment entstehen kann. Wegen der Einheit von Pumpe und Motor benötigen Spaltröhrmotorpumpen weder Grundplatten noch spezielle Fundamente. Darüber hinaus zeichnet sich diese Art von Pumpen durch extrem niedrige Geräuschpegel aus. Der Motor ist flüssigkeitsgekühlt; zu diesem Zweck wird ein Kühlstrom von der Pumpendruckseite in den Rotorraum abgezweigt und, nach Aufnahme der Motorverlustwärme, durch die Hohlwelle zwischen zweitem und drittem Laufrad in ein Gebiet höheren Drucks zurückgeführt. Auf diese Weise kann ein Verdampfen des Motorkühlstromes verhindert werden.

Die **CAMR** mit radialem Saugstutzen ist besonders für sogenannte Kompaktanlagen mit kleinen Sammelbehältern geeignet. Durch die Möglichkeit der saugseitigen Entgasung ist die Pumpe nach einer Abschaltung schneller betriebsbereit. Die Pumpe kann platzsparend ohne 90°-Bogen direkt unter dem Behälter hängend befestigt werden. [Abbildung 9]

Dies ergibt außerdem eine positive Auswirkung auf den NPSH-Wert der Pumpe – zusätzlich zur Platzeinsparung durch die hängende Befestigung.

Durch die spezielle Gestaltung des Sauggehäuses und Anordnung des radialen Saugstutzens reißt die Pumpe bis ca. 8 % Dampfgehalt (2-Phasen-Förderung) nicht ab. Natürlich gehen Fördermenge und Förderhöhe mit zunehmendem Dampfgehalt dramatisch zurück.

Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

Neben Ausführungen in mehrstufiger Gliederbauweise werden – bei größeren Umwälzströmen – auch einstufige Kältemittelpumpen mit einer speziellen Führung des Motor-kühlstromes eingesetzt. [Abbildung 10]

Bei dieser Baureihe wird der Kühlstrom an der Peripherie des Laufrades abgezweigt und nach Durchströmen der Hohlwelle und des Rotorspaltes wieder auf die Druckseite der Pumpe zurückgeführt. Ein innerhalb des Rotorraumes untergebrachtes Hilfsrad dient zur Überwindung der auf diesem Weg anfallenden hydraulischen Widerstände. Der Rotorraum wird bei dieser Bauart mit dem gesamten Pumpendruck überlagert und dadurch ein Verdampfen des erwärmten Kühlstromes ausgeschlossen. Der stets konstante, von der Förderhöhe unabhängige Motorkühlstrom ergibt gleichbleibende Kühlungsverhältnisse über den gesamten Kennlinienbereich.

Kältemittelpumpen nach Abbildung 8, 9 und 10 zeichnen sich durch eine flüssigkeitsdichte Ausführung des Motorgehäuses sowie der Kabeldurchführungen aus. Dadurch wird die Wicklung vor Kondenswasser und Reifbildung geschützt und im Havariefall, bei Schädigung des Spaltrohres, ein Austritt vom Kältemittel in die Umgebung verhindert. Vereisung des Spalttopfes von außen, wie sie bei Magnetkuppelungspumpen auftreten und zum Festsitzen bzw. Blockieren des äußeren Antriebsteils, insbesondere beim Start führen können, sind bei Spaltrohrmotorpumpen mit Sicherheit ausgeschlossen. Aus Servicegründen ist das Spaltrohr bei allen Ausführungen in Topfbauweise ausgeführt. Im Falle eines Motorschadens erlaubt dies einen einfachen Zugang zur Wicklung, sodass Reparaturen auch ohne Schweißungen am Spaltrohr von jeder Motorenwicklerei, jeweils vor Ort, durchgeführt werden können.

Die hermetische Bauweise erfordert die Verwendung von mediumgeschmierten Gleitlagern. Zum Schutz der Lager und vor allem des dünnwandigen Spaltrohres vor Feststoffen und Verunreinigungen, wird der Kühl-/Schmierstrom von

Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

der Druckseite der Pumpe über einen selbstreinigenden Ringfilter geführt. Da innerhalb der Pumpe zeitweise auch mit Gasanfall gerechnet werden muss, werden als Lagerwerkstoffe bevorzugt solche mit entsprechenden Not- und Trockenlaufeigenschaften eingesetzt. Vor allem antimon-impregnierte Kohlelager haben sich hier bestens bewährt. Bei größeren Leistungseinheiten werden neuerdings zunehmend verschleißfeste Lagerpaarungen auf der Basis Siliciumkarbid gegen Siliciumkarbid eingesetzt. Bei richtiger Dimensionierung der Lager werden beachtliche Standzeiten erzielt. Typische Werte reichen von 20 000 bis 65 000 Betriebsstunden, je nach Betriebsweise und Gasanfall.

5. PUMPENABSICHERUNG MITTELS MENGENBEGRENZUNGSVENTIL

Das in Kälteanlagen durch Pumpen zu fördernde Kältemittel befindet sich in jedem Fall im Siedezustand. Lediglich die installierte Zulaufhöhe vor der Pumpe mit der zugehörigen Flüssigkeitssäule im Zulauf vor der Pumpe garantiert in der Pumpe einen kavitationsfreien Betrieb. Dieses wird dadurch zum Ausdruck gebracht, dass der NPSH-Wert der Anlage größer als der NPSH-Wert der Pumpe sein muss. Je nachdem, ob die Pumpe bei kleiner und großer Fördermenge betrieben wird, kann der NPSH-Wert der Pumpe in einen unzulässig hohen Bereich gelangen, der dann zur Kavitation führen kann. Um jederzeit einen sicheren Betrieb der Pumpe zu gewährleisten, hat sich die Absicherung

- gegen Unterschreitung der Minimalmenge mittels Bypassleitung zurück in den Gasraum des Zulaufbehälters (Sammler) mit installierter Q_{min} -Blende und
- gegen Überschreitung der Maximalmenge die Installation einer Q_{max} -Blende in der Druckleitung

bewährt. Die Q_{max} -Blende in der Druckleitung hat naturgemäß jedoch einen starken Drosseleffekt, was zur unerwünschten Energieumwandlung in Wärme führt.



Hermetische Pumpen
in der Kältetechnik

Dr. G. Feldle

Ein wesentlich geringerer Verlust bei gleichzeitiger Absicherung gegen Maximalmengenüberschreitung wird bei Einsatz eines Mengenbegrenzungsventiles anstelle der Q_{max} -Blende erzielt. Das Mengenbegrenzungsventil ist eine federbelastete variable Q_{max} -Blende das bis zu einer konstruktiv eingestellten Durchflussmenge regelt. Im Bereich von minimaler bis maximaler Fördermenge wird die Förderhöhe der Pumpe annähernd erhalten, sodass die unerwünschte Energieumwandlung ausbleibt. Die Pumpe stellt sich immer im Schnittpunkt von Pumpenkennlinie und Anlagenkennlinie auf den jeweiligen Betriebspunkt ein.

Dies führt dazu, dass bei mehrstufigen Pumpen oft eine Stufe eingespart und/oder ein kleinerer Motor eingesetzt werden kann.

LITERATUR

Dr. R. Krämer

Förderung von Kältemitteln mit hermetischen Kreislaspumpen
„Klima, Kälte, Heizung“, Heft 9/85

Wallace, N. M. David, T. J.

Pump reliability improvements through effective sales and coupling management
Proceedings of the 15th international pump users symposium,
HOUSTON 1998

Dr. R. Krämer

Hermetisch dichte Pumpen mit hoher Verfügbarkeit – eine wirtschaftliche Alternative zu Pumpen mit Gleitringdichtungen
„Pumpen + Kompressoren“, Heft 2/95, Vulkan-Verlag, Essen

