

Jede Stufe zählt – Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

EINLEITUNG

In der chemischen Industrie und in der kohlenstoffverarbeitenden Industrie (Raffinerie, Petrochemie, etc.) werden überwiegend einstufige Kreiselpumpen eingesetzt. Aufgrund der Umweltschutzgesetzgebung (z.B. die Umsetzung der TA-Luft) nimmt der Anteil der wellendichtungslosen Pumpen stetig zu. Während sich in der chemischen Industrie die wellendichtungslosen Pumpen im Laufe der letzten Jahrzehnten längst durchgesetzt haben, nimmt der Anteil in dem HPI-Markt (Hydrocarbon Processing Industry) durch die Schaffung der API 685 nun auch seit einigen Jahren stetig zu /1/, /2/. Ist die Wahl auf eine hermetische Spaltrohrmotorpumpe gefallen, gibt es in vielen Anwendungsfällen auch hier die Möglichkeit, eine einstufige oder mehrstufige Spaltrohrmotorpumpe einzusetzen. In diesem Beitrag wird der Einsatz von mehrstufigen Pumpen unter dem Gesichtspunkt der Lebenszykluskosten und damit über mögliche Energieeinsparungen, betrachtet. Dies ist umso aktueller, da die Preise für die Primärenergie (Rohöl, Erdgas, etc.) in den letzten Monaten dramatisch angestiegen sind. Zudem wird hier der Einsatz dieser Pumpen für die Flüssiggasförderung dargestellt.

Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

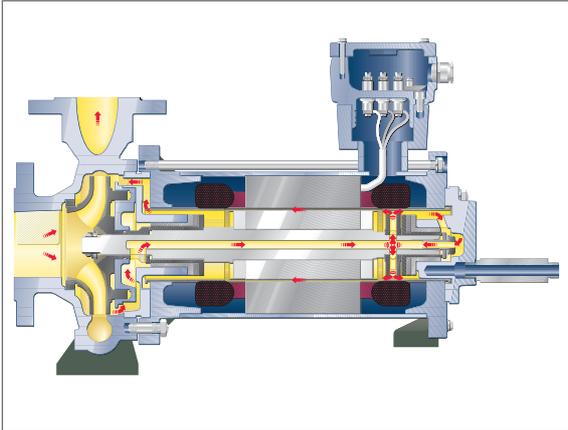


Abbildung 1: Einstufige HERMETIC-Pumpe Typ CNF

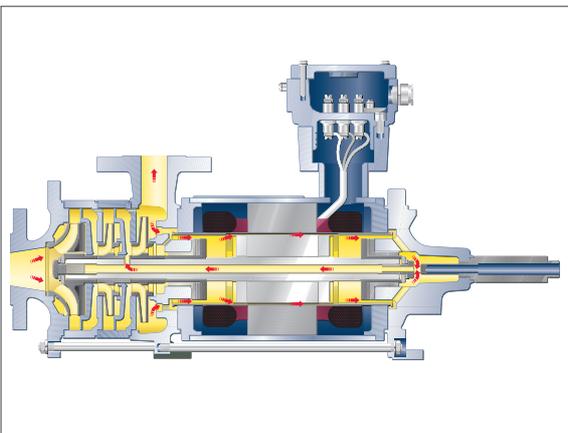


Abbildung 2: Mehrstufige HERMETIC-Pumpe Typ CAM

KONSTRUKTIONSPRINZIP

Die Spaltrohrmotorpumpe ist ein integrales, kompaktes und wellendichtungsloses Aggregat. Motor und Pumpe sind eine Einheit, bei welcher der Rotor und das Laufrad auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind. Der Läufer dieser ein- oder mehrstufigen Pumpen wird durch zwei baugleiche, mediumgeschmierte Gleitlager geführt. Der Stator des Antrieb motors wird durch ein dünnes Spaltrohr vom Rotorraum getrennt. Der Rotorraum seinerseits bildet mit dem Hydraulikteil der Pumpe einen gemeinsamen Raum, welcher vor der Inbetriebnahme mit Fördermedium gefüllt sein muss. Die Verlustwärme des Motors wird durch einen Teilstrom zwischen Rotor und Stator abgeführt. Gleichzeitig schmiert der Teilstrom die beiden Gleitlager im Rotorraum. Neben dem Spaltrohr als hermetisch dichtem Bauteil stellt das Motorgehäuse eine zweite Sicherheitshülle dar. [Abbildung 1 und 2] Dadurch bieten Spaltrohrmotorpumpen gerade bei gefährlichen, toxischen, explosiven und wertvollen Medien stets die höchste Sicherheit.

Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

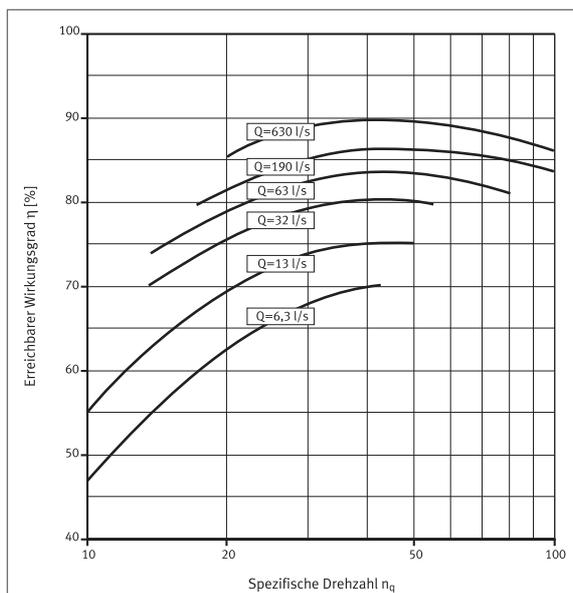


Abbildung 3: Erreichbare Wirkungsgrade von mehrstufigen Kreiselpumpen

**SPEZIFISCHE DREHZAHL –
WIRKUNGSGRAD E**

Mehrstufige Kreiselpumpen kommen in der Regel zum Einsatz bei kleinen Fördermengen und großen Förderhöhen. Sie können konstruktiv als Gliederpumpen oder sogenannte Topfpumpen (barrel type) ausgeführt sein. Letztere kommen überwiegend zum Einsatz bei hohen Systemdrücken und/oder um die Anzahl der statischen Dichtungen von mehreren zu einer Dichtung zu reduzieren. Bevorzugt werden mehrstufige Spaltrohrmotorpumpen eingesetzt, wenn die erforderliche Förderhöhe bei ca. 2900 min⁻¹ nicht mehr erreicht werden kann oder wenn der Gesichtspunkt des maximalen Wirkungsgrades im Vordergrund steht.

Die damit verbundene Energieeinsparung spielt bei der Berechnung der Lebenszykluskosten (LLC) eine entscheidende Rolle, da sie in der Regel den größten Teil der anfallenden Kosten ausmacht.

Der Wirkungsgrad von Kreiselpumpen hängt im Wesentlichen von der spezifischen Drehzahl n_q und der Fördermenge Q ab /3/. In Abbildung 3 ist der erreichbare Wirkungsgrad mehrstufiger Kreiselpumpen als Funktion der spezifischen Drehzahl mit der Fördermenge als Parameter nach KARASSIK /4/ dargestellt. Bei etwa $n_q = 40$ hat der Wirkungsgrad ein Maximum, welches mit wachsendem Förderstrom zunimmt. Die spezifische Drehzahl n_{qr} , eine wichtige Kennzahl der Laufradgeometrie, bezieht sich auf die Förderdaten im Punkt des besten Wirkungsgrades eines Laufrades, bei mehrstufigen Pumpen auf die Förderdaten nur einer Stufe.

$$n_q = n \cdot Q_{opt}^{1/2} / H_{opt}^{3/4} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

mit: n in min⁻¹
 Q_{opt} in m³/s
 H_{opt} in m



Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

Der Verlauf der Wirkungsgradkurven hängt neben n_q und Q noch von der Bauart und der Gehäuseform ab. Die physikalischen Gründe dafür sind die Radseitenreibung, die Spaltstromverluste, sowie die inneren Reibungsverluste im Laufrad selbst. Teilt man die erforderliche Gesamtförderhöhe H_{ges} auf mehrere Stufen i auf, kann eine Erhöhung der spezifischen Drehzahl gegenüber einstufigen Pumpen und damit eine Erhöhung des Wirkungsgrades erzielt werden:

$$n_q = n Q_{opt}^{1/2} / (H_{ges} / i)^{3/4} \quad (2)$$

$$n_q = n i^{3/4} Q_{opt}^{1/2} / H_{ges}^{3/4} \quad (3)$$

Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

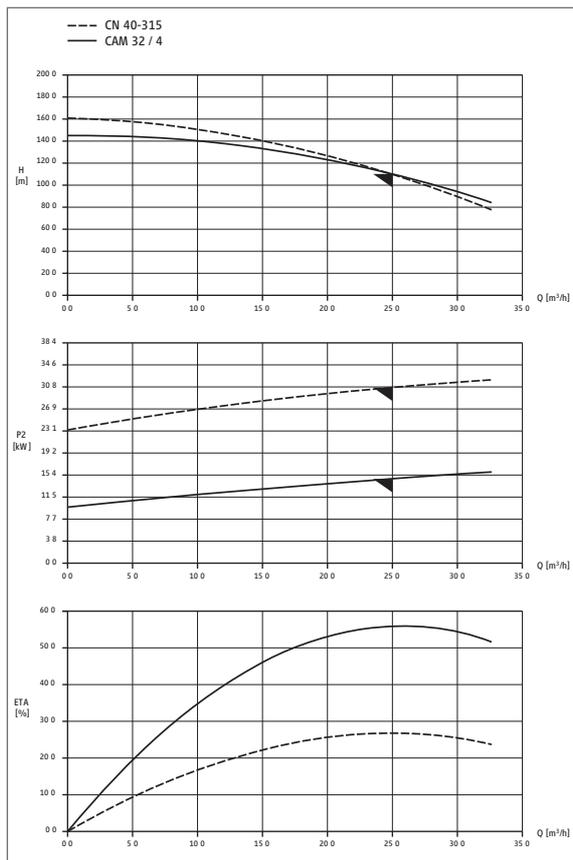


Abbildung 4: Kennlinien für Chemienormpumpe und Gliederpumpe mit Spaltrohrmotor

**LEBENSZYKLUSKOSTEN –
ENERGIEEINSPARUNG**

Die Auswirkungen dieser Betrachtung sollen am folgenden Beispiel dargestellt werden.

Für eine hermetische Spaltrohrmotorpumpe wird für folgende Förderdaten eine optimale Lösung gesucht:

- Fördermedium: Formalin (40 %)
- Fördermenge: 25 m³/h
- Förderhöhe: 110 m
- Dichte: 1100 kg/m³
- Temperatur: 50 °C

Zunächst wird eine einstufige Spaltrohrmotorpumpe mit einer Chemienormhydraulik der Baugröße 40 - 315 mit 2960 min⁻¹ ausgewählt. [Abbildung 4] Der Gesamtleistungsbedarf beträgt laut Kennlinie 30,7 kW, bei einem Wirkungsgrad von 26,8 %. Die spezifische Drehzahl beträgt gemäß Gleichung (1) $n_q = 7$. Verteilt man die Gesamtförderhöhe auf mehrere Stufen, so kann man eine vierstufige Gliederpumpe mit Spaltrohrmotor CAM 32/4 und einer Drehzahl 2955 min⁻¹ alternativ auswählen. Dabei erhöht sich die spezifische Drehzahl auf $n_q = 21$. Laut Kennlinie beträgt der entsprechende Gesamtleistungsbedarf nur noch 14,8 kW, weil sich der Pumpengesamt-Wirkungsgrad auf 55,8 % erhöht! Die einzusparende Leistungsdifferenz beträgt 15,9 kW, was sich positiv auf den Energieverbrauch auswirkt. Die Investitionen für mehrstufige Spaltrohrmotorpumpen sind konstruktiv bedingt höher als die für einstufige Spaltrohrmotorpumpen. Durch den erforderlichen kleineren Spaltrohrmotor wird jedoch ein Teil der Mehrkosten kompensiert, so dass sich der Preisunterschied relativiert. Die Produktionskosten eines Spaltrohrmotors betragen im Schnitt ca. 2/3 des Pumpenpreises. Bei diesem Beispiel wird bei angenommenen 8.000 Betriebsstunden und einem Energiepreis von 0,08 € pro kWh die jährliche Einsparung an Energiekosten ca. 10.176 € betragen. Damit ist die höhere Investition in kurzer Zeit amortisiert.



Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

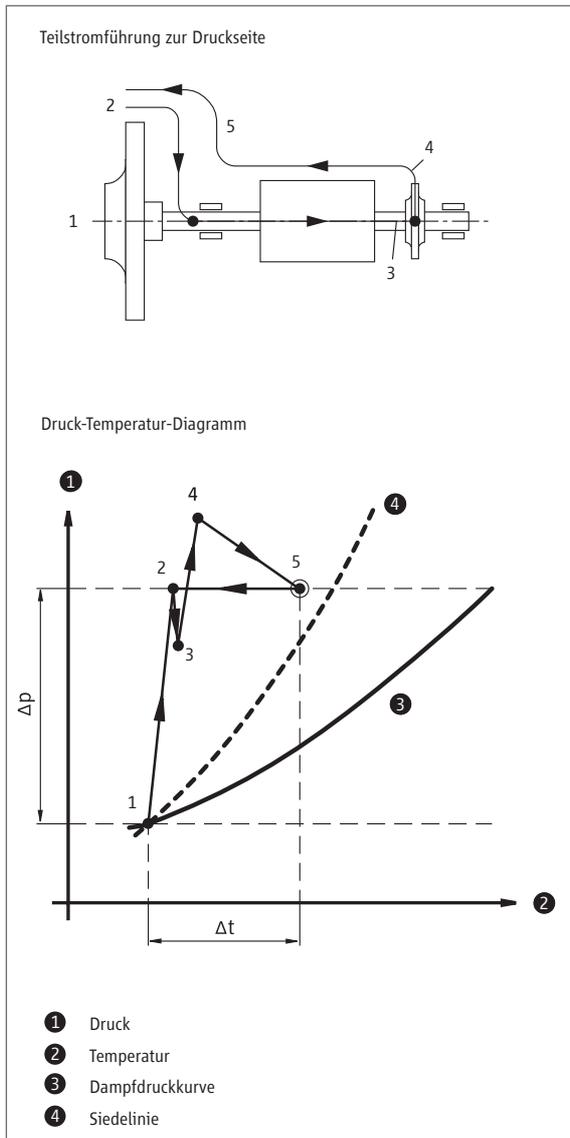


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Teilstromführung und Auswirkungen auf die Druck- und Temperaturverhältnisse bei einstufigen Spaltrohrmotorpumpen

FLÜSSIGGASANWENDUNG

Bei Flüssiggasanwendungen haben mehrstufige Spaltrohrmotorpumpen konstruktionsbedingt noch zusätzliche hydraulische und thermodynamische Vorteile.

Die einstufige Baureihe CNF wurde speziell zur Flüssiggasförderung entwickelt [Abbildung 1]. Mit dieser Pumpenausführung können auch Flüssiggase mit extrem steiler Dampfdruckkurve gefördert werden und zwar ohne externe Rückführung des Teilstromes in den Zulaufbehälter bzw. Abscheider. Der Teilstrom zur Kühlung des Motors und zur Schmierung der Gleitlager wird in der Peripherie des Laufrades abgezweigt und nach Durchströmen des Spaltes zwischen Rotor und Stator wieder auf der Druckseite zugeführt. Ein Hilfslaufrad dient zur Überwindung der anfallenden hydraulischen Druckverluste. Durch die Teilstromrückführung zur Druckseite hat der der größten Erwärmung entsprechende Punkt 3 im Druck-Temperatur-Diagramm [Abbildung 5] genügend Abstand von der Siedelinie. Unter sonst gleichen Bedingungen können daher mit der Baureihe CNF auch Flüssiggase mit extrem steiler Dampfdruckkurve gefördert werden, wie aus der gestrichelten Dampfdruckkurve in Abbildung 5 zu sehen ist.

Jede Stufe zählt –
Einsatz mehrstufiger Spaltrohrmotorpumpen

Dr. G. Feldle

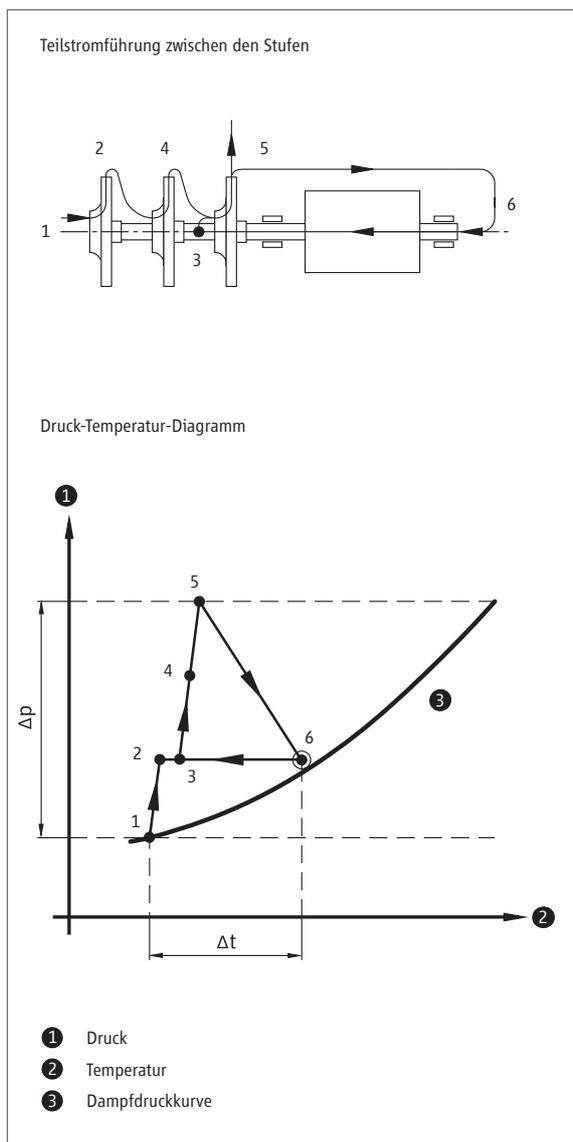


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Teilstromführung und Auswirkungen auf die Druck- und Temperaturverhältnisse bei mehrstufigen Spaltrohrmotorpumpen

Bei der mehrstufigen Baureihe CAM [Abbildung 2] ist dieses Problem schon konstruktionsbedingt gelöst. Der Teilstrom wird hier an der Peripherie des letzten Laufrades entnommen und durch den Motorraum zur Abführung der entstehenden Wärme geführt. Nach der Schmierung der Lager wird er durch die Hohlwelle zwischen dem letzten und vorletzten Laufrad zur Druckseite abgeführt. Dadurch kommt der erwärmte Teilstrom immer an einer Stelle höheren Druckes als der Saugseite an. Der der größten Erwärmung entsprechende Punkt 3 im Druck-Temperatur-Diagramm [Abbildung 6] hat so immer genügend Abstand von der Dampfdruckkurve, um so ein Verdampfen innerhalb der Pumpe auszuschließen.

LITERATUR

- /1/ G. Feldle
Spaltrohrmotorpumpen nach API 685 – Ein Beitrag zum Umweltschutz
Industriepumpen + Kompressoren, Heft 2, Mai 2006
- /2/ R. Krämer
Hermetisch dichte Spaltrohrmotorpumpen in der Raffinerietechnik
Praktiker-Konferenz Pumpen in der Raffinerietechnik, Universität Graz, 2007
- /3/ R. Neumaier
Hermetische Pumpen
Verlag und Bildarchiv W. H. Faragallah, 2000
- /4/ G. Feldle
Einfluss der Gesamtkostenbetrachtung auf die Entwicklung einer neuen Gliederpumpenbaureihe
KSB Technische Berichte, Heft 20, 1984