

Flexibilität hermetischer Pumpen durch modulares Baukastensystem

Betrachtet man die Gesamtkosten, die eine Kreiselpumpe im Laufe ihrer Lebenszeit verursacht, hat das Dichtsystem einen entscheidenden Anteil. Der Beschaffungsprozess von Kreiselpumpen beinhaltet heute auch die Betrachtung der Lebenszykluskosten. Aus diesem Grund kommen in der Chemie, Verfahrenstechnik, in petrochemischen Anlagen und Raffinerien im wachsenden Umfang wellendichtungslose Kreiselpumpen zum Einsatz. Als Folge der Umsetzung gesetzlicher Auflagen und allgemein gestiegenem Umweltbewusstseins wird diese Entwicklung beschleunigt.

In diesem Beitrag wird dargestellt, wie Spaltrohrmotoren dazu beitragen können, die Gesamtkosten auf Dauer zu senken und gleichzeitig die Auflagen des Gesetzgebers – z. B. TA Luft nach dem Bundes-Emissionsschutz, maximal zulässige MAK-Werte (maximale Arbeitsplatz-Konzentration) etc. – zu erfüllen.

Im ersten Teil werden zunächst Aufbau und Wirkungsweise am Beispiel von einstufigen Spaltrohrmotorpumpen vorgestellt. Dabei wird auch auf grundsätzliche konstruktive Ausführungen eingegangen.

Der zweite Teil befasst sich mit der Struktur eines modularen Baukastens, der durch die sinnvolle physikalische Kombination von Hydraulikteilen und Spaltrohrmotoren entsteht. Dadurch lassen sich die Pumpen leicht an veränderte Betriebsbedingungen anpassen.



Dr. G. Feldle
 Global Sales Manager,
 HERMETIC Pumpen GmbH,
 Gundelfingen;
 Tel. 0761-5830-281,
 E-Mail: Feldle.Guenter@
 lederle-hermetic.com

Die Gesamtkosten (auch Lebenszykluskosten genannt) einer Kreiselpumpe über eine bestimmte Lebensdauer ergeben sich im Wesentlichen aus den Anschaffungs-, Energie- und Reparaturkosten (**Bild 1**).

Die Beachtung der Lebenszykluskosten zahlt sich vor allem bei größeren Leistungen aus, da die reinen Anschaffungskosten in der Regel nur etwa 5 bis 10 %



Bild 1: Lebenszykluskosten einer Kreiselpumpe

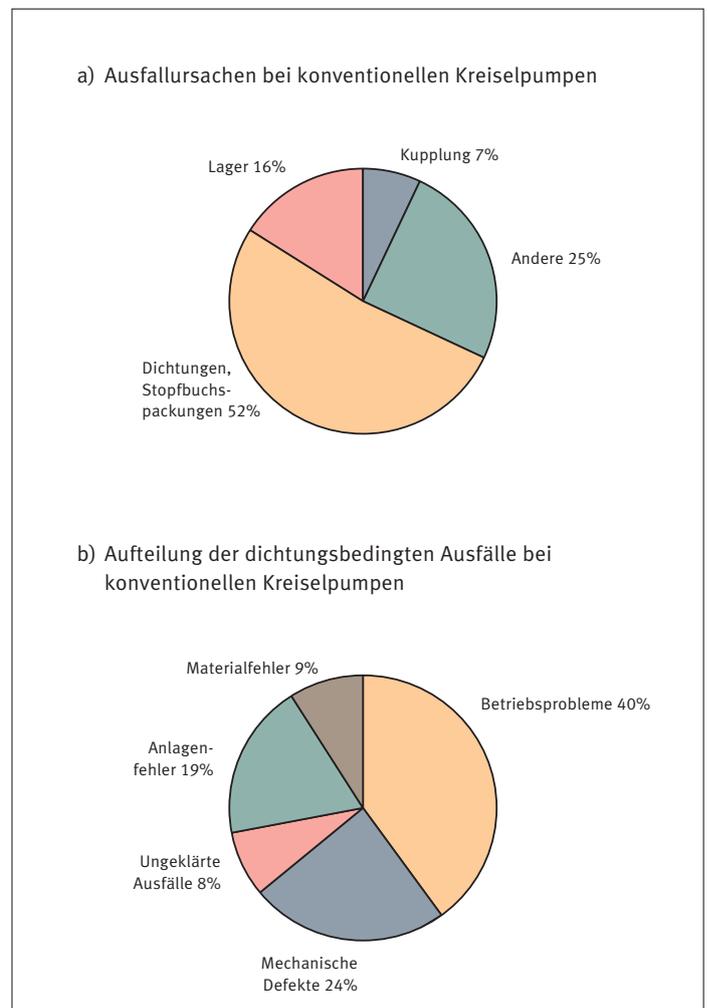


Bild 2: Ausfallursachen

der Gesamtkosten betragen. Dieses Erkenntnis hat schon in den frühen 80er Jahren während der Ölkrise in der Kraftwerkstechnik zur Gesamtkostenbetrachtung von Kesselspeisepumpen geführt [1].

Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass bei konventionellen Kreiselpumpen die Dichtungen mit 52 % der Ausfallursachen die dominierende Rolle führen [2]. Dagegen sind die Schäden, bedingt durch Wälzlager und Kupplungen, deutlich geringer.

Betrachtet man diese praktischen Erfahrungen, so zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Pumpenausführungen hinsichtlich deren erreichbarer Verfügbarkeit.

In einer mehrjährigen Untersuchung einer Raffinerie machte man die Erfahrung, dass Spaltrohrmotorpumpen die größte Verfügbarkeit unter den eingesetzten Kreiselpumpen aufweisen.

In Bild 3 sind die MTBF-Werte (MTBF = Mean Time Between Failure) zwischen den verschiedenen Pumpenbauarten dargestellt. Man kann erkennen, dass Spaltrohrmotorpumpen den weitaus höheren MTBF-Wert haben als einfach- und doppelwirkende Gleitringdichtungspumpen. Es handelt sich hier zwar nur um einen Einzelfall mit bestimmten Randbedingungen, wie z. B. die Überwachung von Temperaturen und Flüssigkeitsniveau bei den Spaltrohrmotorpumpen, aber die Tendenz ist deutlich zu erkennen.

Funktionsweise

Spaltrohrmotorpumpen sind gekennzeichnet durch ein kompaktes, integrales Aggregat [3], [4]. Motor und Pumpe sind eine Einheit, wobei der Rotor und das Laufrad auf einer gemeinsamen Welle angeordnet sind.

Der Läufer wird durch zwei baugleiche, mediumgeschmierte Gleitlager geführt. Der Stator des Antriebsmotors wird durch ein dünnes Spaltrohr vom Rotorraum getrennt.

Bild 4 zeigt den schematischen Aufbau einer Spaltrohrmotorpumpe.

Der Rotorraum seinerseits bildet mit dem Hydraulikteil der Pumpe einen gemeinsamen Raum, der sich im Betrieb mit dem Fördermedium füllt. Die Verlustwärme des Motors wird durch einen Teilstrom zwischen Rotor und Stator abgeführt. Gleichzeitig schmiert der Teilstrom die beiden hydrodynamischen Gleitlager im Rotorraum.

Neben dem Spaltrohr als hermetisch dichtem Bauteil, stellt das Motorgehäuse eine zweite Sicherheitshülle dar. Dies zeichnet die Spaltrohrmotorpumpe neben der kurzen kompakten Bauart und dem sehr niedrigen Geräuschpegel gegenüber anderen Pumpen aus.

HERMETIC-Pumpen sind in sich völlig geschlossene Kreiselpumpen ohne jegli-

Bild 3: MTBF-Vergleich (MTBF – Mean Time Between Failure)

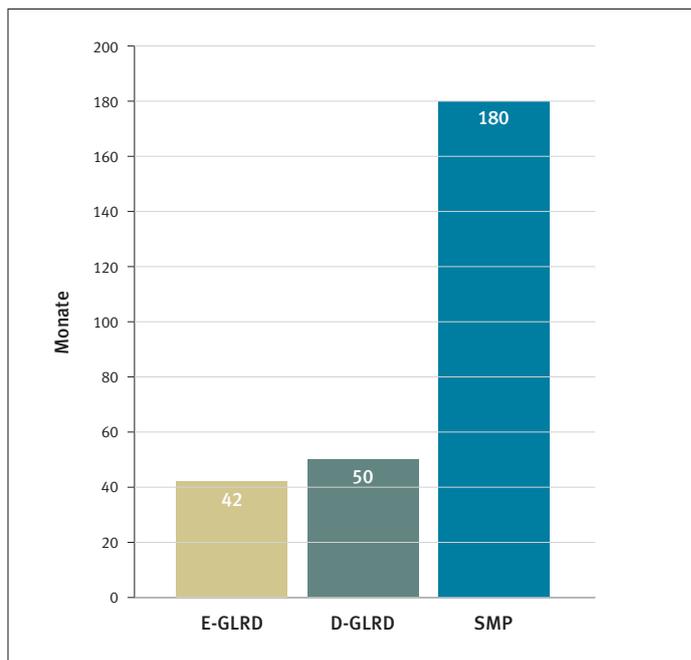


Bild 4: Schema einer Spaltrohrmotorpumpe

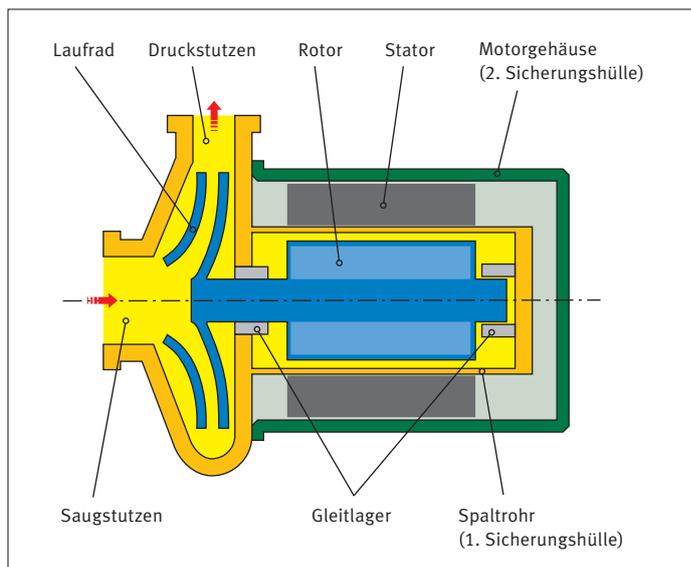
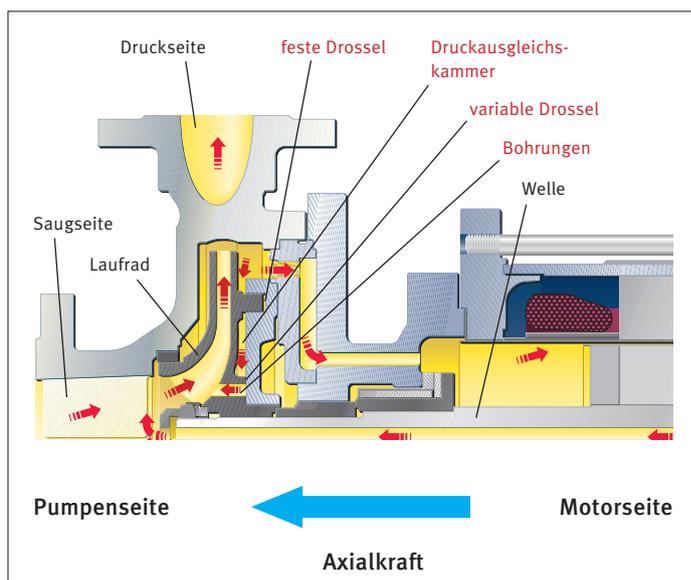


Bild 5: Funktionsprinzip einer hydraulischen Entlastungseinrichtung



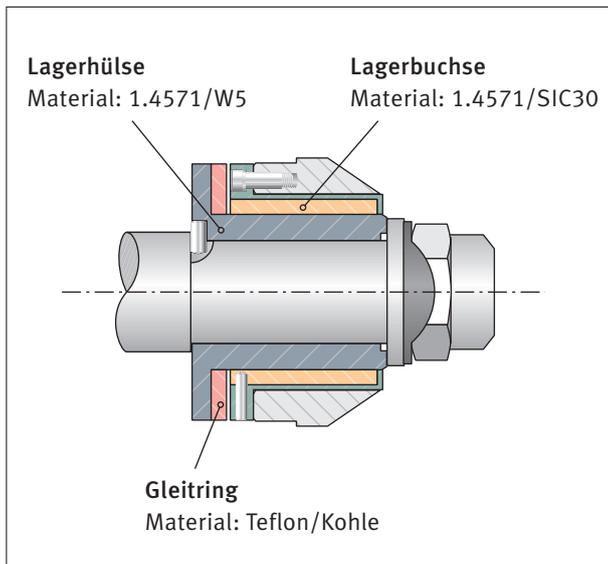


Bild 6: Aufbau eines Gleitlagers

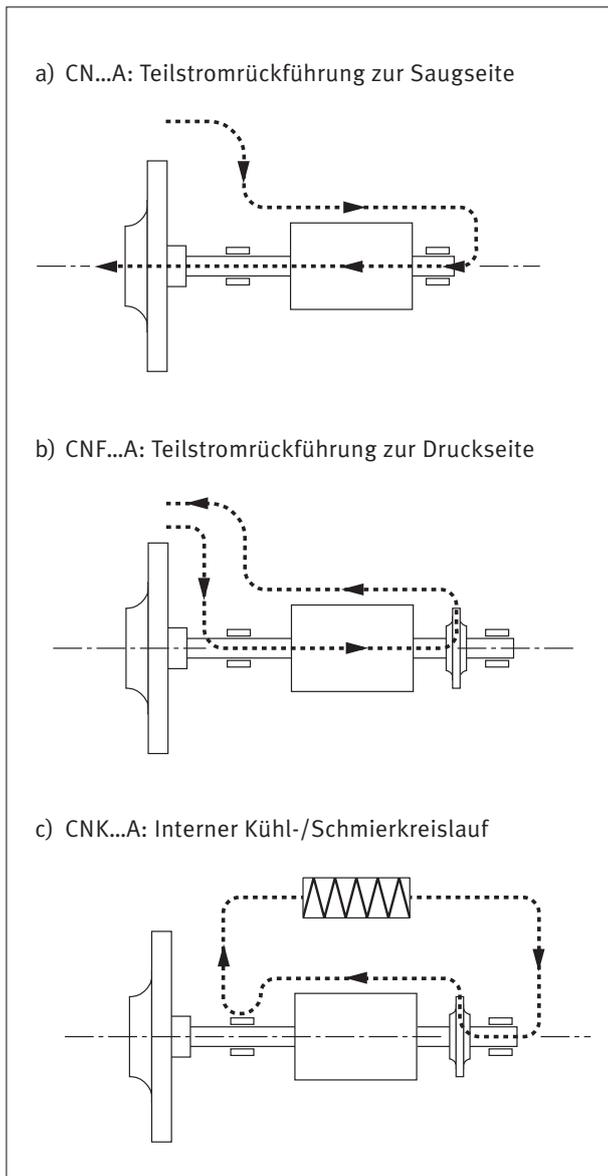


Bild 7: Teilstromrückführung verschiedener Bauarten

che Wellenabdichtung, bei denen der Antrieb auf elektromagnetischem Weg über den sogenannten Spaltrohrmotor erfolgt. Je nach Förderaufgaben werden einstufige oder mehrstufige Spaltrohrmotorpumpen eingesetzt.

Spaltrohrmotorpumpen haben im Zweifelsfall bei gefährlichen, toxischen, explosiven und wertvollen Medien immer die besseren Voraussetzungen.

Axialschubentlastung

Dem Axialschubverhalten gilt bei der Konstruktion einer Kreiselpumpe allgemein und bei einer Spaltrohrmotorpumpe im Besonderen das spezielle Augenmerk.

Bei konventionellen Kreiselpumpen mit Wellenabdichtung werden die Axialkräfte durch Kugel- und Kegelrollenlager aufgenommen.

Bei hermetischen Pumpen ist diese Kraftaufnahme aufwendiger, wenn man reine Axiallager nicht verwenden will. Hier gibt es die Möglichkeit der hydraulischen Axialschubentlastung (Bild 5).

Bei dieser technischen Lösung sind die axialen Kräfte der Läufer-einheit über den gesamten Betriebsbereich der Pumpe im Gleichgewicht. Die Pumpe arbeitet somit verschleißfrei, weil idealerweise kein Kontakt zwischen den Bauteilen im Betrieb stattfindet.

Die Entlastung wird durch das Zusammenwirken einer festen Drossleinrichtung (Labyrinthspalt) am Außendurchmesser der Laufradrückseite und einer variablen Drossel im Bereich der Laufradnabe erzielt.

In der Laufradnabe befinden sich Bohrungen, die rückseitig in die variable Drossel (Ventilspalt) einmünden.

Der Druck auf der Rückseite des Laufrades verändert sich mit der axialen Position des Pumpenläufers. Hierdurch erfolgt eine Regelung des Druckes in der Druckausgleichkammer. Je nach axialer Lage des Läufers öffnet oder schließt sich die variable Drossel, d. h. es werden die Entlastungsbohrungen mehr oder weniger verdeckt. Die axiale Stellung des Läufers regelt sich somit automatisch, wodurch sich keinerlei Berührung mit den axialen Anlaufbunden ergibt, sie dienen nur als Anfahr- und Abfahrhilfe.

Eine Alternative stellt ein Axiallager in Verbindung mit dem Radiallager dar. Diese Lösung führt zu zwei unterschiedlichen Lagern, was z. B. für die Ersatzteilerhaltung negativ zu Buche schlägt.

Bei negativen Veränderungen der Betriebsbedingungen besteht auch die Gefahr erhöhter Axialkräfte, die zu erhöhtem Verschleiß und bis zur Zerstörung der Lager führen können.

Gleitlagerung

Ein weiterer Schwerpunkt in der konstruktiven Gestaltung einer Spaltrohrmotorpumpe sind die hydrodynamischen Gleitlager. Wie bereits erwähnt, sind in der hier beschriebenen Ausführung zwei baugleiche, mediumgeschmierte Gleitlager vorhanden.

Bei der in Bild 6 dargestellten Gleitlagerung ist eine Werkstoffkombination von Siliciumcarbid mit beschichteten, metallischen Bauteilen realisiert.

Um die bekannten Nachteile von reinem gesintertem Siliciumcarbid (SSiC) zu vermeiden, wurde ein moderner Siliciumcarbid-Graphit-Verbundwerkstoff (SiC 30) bei der stehenden Lagerhülse eingesetzt. Dieser Werkstoff wird über eine Imprägnierung eines hochporösen Elektrographits mit schmelzflüssigem Silicium hergestellt. Gleichzeitig mit dem Eindringen des Siliciums in die Poren erfolgt die chemische Reaktion von Silicium und Kohlenstoff zu Siliciumcarbid.

Die Kombination der positiven Eigenschaften von Graphit (gute Trockenlaufeigenschaften, Temperaturwechselbeständigkeit) und Siliciumcarbid (Härte, Festigkeit, Abrasionsbeständigkeit) ermöglicht Problemlösungen, die mit anderen Werkstoffen nicht realisiert werden können (Thermoschockverhalten, chemische Beständigkeit, Verhinderung von Blisterbildung).

Die drehenden Gleitlagerhülsen sind direkt auf der Welle befestigt und bestehen aus Edelstahl mit hochgeschwindigkeitsbeschichtetem Wolframcarbid. Damit ist bei hohem Verschleißwiderstand das Problem der verschiedenen Ausdehnungsverhalten von Welle (1.4571) und Lagerhülse (z. B. SSiC) wie bei anderen Konstruktionen gelöst bzw. nicht vorhanden.

Durch den extrem einfachen Aufbau der Gleitlagerung ist eine einfache Montage und Wartung gewährleistet.

Modulares Baukastensystem

Die Anforderungen an ein modernes Baukastensystem haben nicht nur das Ziel mit möglichst wenigen Baugruppen ein Optimum an standardisierten Varianten zu erhalten. Ein Baukasten von Spaltrohrmotorpumpen moderner Ausprägung muss zusätzlich den folgenden Ansprüchen genügen:

- a) optimale, standardisierte Varianten durch physikalisch, sinnvolle Kombination von Baugruppen, wie z. B.:
 - Hydrauliken (Pumpengehäuse / Laufräder)
 - Spaltrohrmotoren
 - Adapter (Wärmesperre)
 - Hilfslaufrad
 - Kühler
- b) Ausführungsvarianten nach Anwendungen, wie z. B.:
 - Basisversion
 - Flüssiggasausführung
 - Hochtemperaturanwendungen
- c) Variantenträger für zusätzliche Einsatzfälle:
 - Hochtemperaturanwendung ohne externe Kühlung mit Förderguttemperaturen max. 180 °C bzw. 360 °C (Keramikwicklung C220/C400)
 - Vertikalaufstellung für niedrige Viskositäten (< 0,2 cP)
 - extrem hohe Dampfdrücke, z. B. CO₂ zwischen -20 °C und 0 °C (externe Umföhrungsleitung)
 - beheizte Ausführung (Gehäuse und/oder Spaltrohrmotor)

In den eingangs erwähnten Industrien werden nahezu alle Medien gefördert. Diese vielseitigen Förderaufgaben erfordern verschiedene konstruktive Ausführungen von Spaltrohrmotorpumpen. Im Wesentlichen unterscheiden sich diese Ausführungsvarianten durch die unterschiedliche Teilstromausführung des Kühl- und Schmierstromkreislaufes (Bild 7).

Problemstellung

- a) Zur Förderung aggressiver, giftiger, explosiver, kostbarer, feuergefährlicher, radioaktiver und auch leicht flüchtiger Fluide, wird als Basisvariante die Standard-Spaltrohrmotorpumpe CN...A eingesetzt. Wesentliches Konstruktionsmerkmal dieser Basisausführung ist die interne Teilstromrückführung. Der Teilstrom zur Kühlung des Motors und Schmierung der Gleitlager wird an der Peripherie des Laufrades druckseitig abgezweigt und

nach dem Durchströmen des Motors, d. h. dem Spalt zwischen Rotor und Stator, wieder durch die Hohlwelle auf die Saugseite des Laufrades zurückgeführt. Diese Ausführung ist geeignet zur Förderung von unkritischen Flüssigkeiten, die nicht leicht zum Verdampfen neigen.

- b) Für die Förderung von Flüssiggasen, wie z. B. Propan, Butan, Vinylchlorid, Ethylenoxid, Chlor, Phosgen, Propylen, Schwefelkohlenstoff, Kohlenwasserstoff, Ammoniak, CO₂, etc. wird die Ausführungsvariante CNF...A eingesetzt, die speziell für diese Anwendung entwickelt wurde. Mit dieser einstufigen Pumpenausführung können auch Flüssiggase mit extrem steiler Dampfdruckkurve gefördert werden. Das besondere Konstruktionsmerkmal ist die interne Rückführung des Teilstromes, was den Wegfall einer externen Rohrleitung zur Rückführung des Teilstromes in den Zulaufbehälter bzw. Abscheider zur Folge hat. Der Teilstrom bei der CNF...A wird ebenfalls an der Peripherie des Laufrades abgezweigt und nach Durchströmen der Hohlwelle wieder auf die

Druckseite des Laufrades durch den Spalt zwischen Rotor und Stator zurückgeführt.

Ein Hilfslaufrad dient zur Überwindung der auf diesem Weg anfallenden zusätzlichen hydraulischen Druckverluste. Durch die Teilstromrückführung zur Druckseite ist immer genügend Druckreserve von der Siedelinie des zu fördernden Mediums vorhanden.

- c) Zur Förderung von heißen Medien, wie organischen Wärmeträgerölen, ist die CNK...A entwickelt worden. Darüber hinaus kann die Ausführungsvariante CNK...A auch für alle Medien wie unter a) eingesetzt werden. Das Fördermedium gelangt durch den Saugraum in das Laufrad und wird durch dieses zum Druckstutzen gefördert. Den direkten Wärmeübergang vom Hydraulik- zum Motorteil verhindert eine Wärmesperre, die gleichzeitig als Adapter dient. Die Motorverlustwärme wird durch einen sekundären Kühlkreislauf in einen getrennt angeordneten Wärmetauscher abgeführt. Dieser Kühlkreislauf übernimmt auch gleichzeitig die Schmierung der Gleitlager.

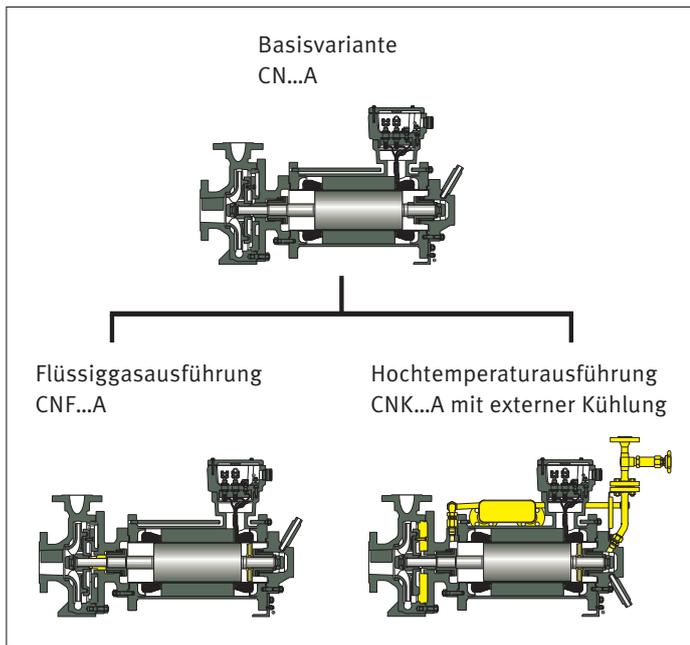


Bild 8: Modulares Baukastensystem

Um diese verschiedenen Ausführungsvarianten abzudecken, wurde ein modulares Baukastensystem entwickelt, das mit einer hohen Anzahl von Standardbauteilen und minimalen Anzahl von Baugruppen diese Anforderungen erfüllt.

Das Baukastensystem besteht aus 14 Baugrößen (Hydrauliken) und sechs Spaltrohrmotorgrößen, die über zwei Adapter miteinander zu einer technisch/physikalisch sinnvollen Kombination verbunden werden (**Bild 8**). Damit können Fördermengen bis $200 \text{ m}^3/\text{h}$ und Förderhöhen bis 100 m verwirklicht werden.



Bild 9: Vertikale Spaltrohrmotorpumpe CNF...A

Neben den Kombinationsmöglichkeiten innerhalb einer Baugröße hat dieser modulare Baukasten auch die Möglichkeit, eine technisch optimale Auslegung der Pumpen für die jeweilige Anwendung auszuführen. Nachträgliche Änderungen der Betriebsbedingungen können mit diesem Baukasten relativ leicht kompensiert werden. So können innerhalb einer Baugröße mit Hilfe von fünf Baugruppen alle drei Ausführungen CN...A, CNF...A und CNK...A ausgeführt werden. Neben dem Basismodell CN...A ist es möglich, durch ein Hilfslaufrad und einer Hülse eine CNF...A-Variante für Flüssiggase zu erstellen. Alle sonstigen Teile der CN...A-Basisausführung können übernommen werden.

Für eine Hochtemperaturanwendung mit entsprechendem Kühler an der Pumpe (CNK...A) sind nur zwei weitere Bauteile bzw. Baugruppen notwendig: Ein zusätzlicher Gehäusedeckel sowie ein Kühler mit der Verrohrung. Alle anderen Teile dieser drei Bauarten sind identisch.

Neben dem modularen Standard-Baukasten gibt es auch sogenannte Variantenträger, die durch die Verwendung der Basisbaugruppen und zusätzlichen Baugruppen bzw. Bauteile erzeugt werden können.

Als Beispiel sei hier die vertikale Ausführung einer Spaltrohrmotorpumpe für die Förderung von Medien mit extrem niedrigen Viskositäten genannt. In diesem Anwendungsfall ist der Aufbau eines hydrodynamischen Schmierfilms der radialen Gleitlager nicht mehr gewährleistet.

Durch die vertikale Aufstellung werden die Traglager zu Führungslagern umfunktioniert und gewährleisten damit einen sicheren Betrieb (**Bild 9**).

Ergebnis und Auswirkungen

Das Ergebnis dieses hier dargestellten modularen Baukastensystems ist:

- ▷ Standardisierte Hydrauliken und Motoren, die auf Lager gefertigt werden können.
- ▷ Die Fertigung auf Lager ermöglicht kurze Lieferzeiten für alle 3 Ausführungsvarianten.
- ▷ Die Ersatzteilhaltung wird für verschiedene Ausführungen einer Baugröße auf ein Minimum gesenkt.
- ▷ Der Umbau, bedingt durch eine nachträgliche Änderung der Betriebsbedingungen, wird dem Betreiber leicht gemacht.
- ▷ Bedingt durch die Stückzahlerhöhung der Bauteile / Baugruppen konnte eine Kostenreduktion erzielt werden.
- ▷ Durch Verwendung von Schmiedeteilen (z. B. Adapter) wird die Werkstoffqualität weiter erhöht. Außer dem Pumpengehäuse sind alle mediumsbearbeiteten Teile aus Schmiedematerial ausgeführt.
- ▷ Es werden zwei abmessungsgleiche, mediumsgeschmierte Gleitlager pro Baugröße eingesetzt.

Zusammenfassung

Niedrige Lebenszykluskosten, kurze Lieferzeiten und flexible Umbaumöglichkeiten sind die herausragenden Eigenschaften dieser Neuentwicklung. Das Herz des Baukastens ist ein Adaptersystem, das es ermöglicht, physikalisch-technisch sinnvolle Hydraulik-Motoren-Kombination zu realisieren, die die oben genannten Merkmale erfüllen.

Literatur

- [1] Feldle, G.: Einfluss der Gesamtkostenbetrachtung auf die Entwicklung einer neuen Gliederpumpenbaureihe. KSB Technische Berichte, Heft 20, 1984
- [2] 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
- [3] Krämer, R.: Hermetisch dichte Pumpen mit hoher Verfügbarkeit – eine wirtschaftliche Alternative zu Pumpen mit Gleitringdichtungen. 'Pumpen + Kompressoren', Heft 2/95, Vulkan-Verlag Essen
- [4] Neumaier, R.: Hermetische Pumpen. W. H. Faragallah Verlag, ISBN-3-929682-05-2