

# Spaltrohrmotorpumpen für den Hochtemperatur- einsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle

Spaltrohrmotorpumpen für den  
Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle

## 1. EINLEITUNG

Zahlreiche technische und industrielle Prozesse verlaufen in der Regel immer unter Aufnahme oder Abgabe von Energie. Wegen der hohen spezifischen Wärme setzt man Wasser und Wasserdampf für den Wärmetransport im Temperaturbereich von 0 °C bis 200 °C ein. Im Temperaturbereich von 200 °C bis 450 °C nutzen die Anlagenbauer oder Endkunden überwiegend Wärmeträgeröle, um zu heizen oder zu kühlen. Im Folgenden werden der Aufbau und die Funktionsweise von wellendichtungslosen Spaltrohrmotorpumpen dargestellt mit den Besonderheiten der Hochtemperaturanwendung. Für Temperaturen bis 320 °C werden in der Regel konventionelle Chemie-Norm-Pumpen mit Gleitringdichtung und Pumpenfüße auf der Grundplatte eingesetzt, die vom konventionellen Motor durch eine Wärmesperre getrennt sind. Durch den vorhandenen Kostendruck der Anlagenbauer wird oft auf Kompensatoren verzichtet, so dass bei Temperaturen über 320 °C die Stutzen- und Momentenkräfte des Rohrleitungssystemes direkt auf die Stutzen der Pumpen übertragen werden. Dies kann zum Verzug bis hin zu Deformationen des Pumpengehäuses führen. Für die Temperaturen über 320 °C und bis max. 450 °C ist ein Pumpenkonzept basierend auf der API 685 oft die bessere Lösung. Für dichtungslose Pumpen gibt es seit 2002 die API 685, Edition 1, welche die Lücke der API 610 für 1-stufige, dichtungslose Pumpen schließt (Magnetkupplungspumpen und Spaltrohrmotorpumpen). Das Pumpengehäuse ist mit Aufhängungen (Pumpenfüße) achsmittig ausgestattet, wie es zum Beispiel bei Kesselspeisepumpen seit Jahrzehnten üblich ist. Dadurch kann die temperaturbedingte Ausdehnung des Pumpengehäuses gleichmäßig nach oben und unten gewährleistet werden.

Bei Spaltrohrmotorpumpen handelt es sich um dichtungslose, d.h. völlig geschlossene Kreiselpumpen in Monoblock-Ausführung, bei denen der Antrieb auf der gemeinsamen Welle auf elektromagnetischem Wege über den sogenannten Spaltrohrmotor erfolgt. Der Rotor und Stator des im Prinzip



## Spaltrohrmotorpumpen für den Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle



Abbildung 1: Einstufige Spaltrohrmotorpumpe Typ CNPK 100x50x400



Abbildung 2: Einstufige Spaltrohrmotorpumpe Typ CNPF 150x100x290

herkömmlichen Asynchronmotors werden durch unmagnetische Werkstoffe gegen korrosive Einflüsse geschützt. Ein Teilstrom wird zur Kühlung des Motors und zur Schmierung der zwei baugleichen hydrodynamischen Gleitlager benutzt. Nach dem Durchströmen des Spaltes zwischen Rotor und Stator wird der Teilstrom wieder durch die Hohlwelle auf die Druckseite des Laufrades zurückgeführt.

Die Vorteile der Spaltrohrmotorpumpe lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- *Doppelte Dichthülle*: Selbst in seltensten Fällen, bei Zerstörung des Spaltrohres, gelangt keine Förderflüssigkeit nach außen in die Umwelt; dadurch 100 % leakagefrei.
- *Keine Gleitringdichtungen*: Durch die dichtungslose Bauweise entfallen diese kostenintensiven Verschleißteile. Dadurch werden drei- bis vierfache MTBF-Werte (Mean Time Between Failure) erreicht. Reduzierte Maintenance-Kosten und lange Standzeiten sind die Folge.
- *Keinerlei Schmierflüssigkeiten und Sperrmedien*: Dank der wellendichtungslosen Konstruktion und der mediumgeschmierten hydrodynamischen Gleitlager ist keine kostspielige und aufwendige Installation von Schmier- und Kühlsystemen erforderlich.
- *Blockbauweise*: Durch die integrale und kompakte Blockbauweise ist keine Wellenausrichtung erforderlich. Eine mechanische Kupplung und Kupplungsschutz entfallen dadurch, oft auch die aufwendige Grundplattenkonstruktion.
- *Niedriger Geräuschpegel*: Der Geräuschpegel liegt weit unter dem sonst üblichen Niveau von Gleitringdichtungs- und Magnetkupplungspumpen, da konstruktiv keine mechanische Kupplung, Motor-Kugellager und Motorlüfter benötigt werden.

Für diese Hochtemperaturenanwendung bieten sich zwei unterschiedliche Konstruktionsprinzipien an:

- a) Spaltrohrmotorpumpen mit fremdgekühlten Motoren [Abbildung 1],
- b) Spaltrohrmotorpumpen mit eigengekühlten Motoren [Abbildung 2].

Spaltrohrmotorpumpen für den  
Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle



Abbildung 3: Einstufige Spaltrohrmotorpumpe Typ CNPK 250-630

## 2. SPALTROHRMOTORPUMPEN MIT FREMDGEKÜHLTEN MOTOREN

Pumpe und Spaltrohrmotor werden bei diesem Konzept durch ein Zwischenstück, welches als Wärmesperre fungiert, räumlich voneinander getrennt, um zu vermeiden, dass die Wärme von der Pumpe auf den Motor übertragen wird. Über einen relativ engen und langen Ringspalt erfolgt der Druckausgleich zwischen der Hydraulik und dem Rotorraum.

Im Motor selbst ist ein Hilfslaufrad installiert, das die im Rotorraum befindliche artgleiche Flüssigkeit über einen um den Motor herum angeordneten oder separat montierten außenliegenden Kühler umwälzt. Die Motorverlustwärme wird dabei von einer Kühlflüssigkeit aufgenommen. Auf diese Weise entstehen zwei Förderkreise mit unterschiedlichem Temperaturniveau. Der Betriebskreislauf kann für Temperaturen bis 450 °C zugelassen werden, während die Förderflüssigkeit des sekundären Kühl-Schmierkreislauf wesentlich niedrigere Temperaturen von 60 °C bis 80 °C aufweist. Deshalb kann die Motorwicklung mit der langlebigen Isolationsklasse H ausgeführt werden. In Folge des Druckausgleiches im Ringspalt der Wärmesperre findet so gut wie kein Flüssigkeitsaustausch zwischen den beiden Temperaturniveaus statt. Durch die Verwendung eines separaten Kühlkreislaufes ist es nicht notwendig, den Motorteilstrom von dem hohen Betriebstemperaturniveau auf einen bei normalen Spaltrohrmotoren zulässigen Wert herunter zu kühlen, um ihn dann wieder dem Förderstrom beizumengen. Dies würde einen zu hohen Energieverlust verursachen. Diese Kühlervariante bzw. Anordnung kann bei ein- und mehrstufigen Spaltrohrmotorpumpen eingesetzt werden. Aus Kostengründen kann neben dem klassischen Rohrbündelkühler auf kompakte Plattenkühler zurückgegriffen werden.

Steht kein Kühlwasser zur Verfügung, können auch Luftkühler diverser Bauweisen eingesetzt werden. Hier gibt es einfache Wabenkühler mit Ventilatoren, die über dem Aggregat angeordnet und auf der Grundplatte befestigt sind [Abbildung 3]. Bei größeren Pumpenleistungen werden separat aufgestellte System-Trockenluftkühler, ebenfalls mit Axialventilatoren, eingesetzt.

Spaltrohrmotorpumpen für den  
Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle

### 3. SPALTROHRMOTORPUMPEN MIT EIGENGEKÜHLTEN MOTOREN

Wenn für die Motorkühlung nicht genügend oder gar keine Kühlflüssigkeit in ausreichender Qualität zur Verfügung steht, muss auf ein anderes Konstruktionsprinzip zurückgegriffen werden. Bei Fördermedien der unterschiedlichsten Art ist darüberhinaus immer eine Aufheizung des Fördermediums vor der Inbetriebnahme sowohl in der Pumpe als auch im Spaltrohrmotor erforderlich. Die hierfür benötigten Temperaturen liegen in der Regel in einem Bereich, welcher die zulässige Höchsttemperatur der vorgenannten Isolationsklasse H überschreitet. Hier kommen nun die mit der Sonderwicklung der Isolationsklasse C versehenen Spaltrohrmotoren zum Einsatz. Mit den sogenannten „Heißmotoren“ können verschiedene Förderaufgaben im Hochtemperaturbereich einfach gelöst werden. Als Isolationsmaterial wird Silikon-Keramik verwendet, wobei somit durch geeignete Maßnahmen die Oxidation des Kupferdrahtes vermieden wird. Wicklungen dieser Art sind in der Lage, Dauertemperaturen von 450 °C im Wickelkopf zu bewältigen. Dies läßt wirtschaftliche Motorbelastungen bis 400 °C (Temperatur des Fördermediums) zu. Zentrisch am Motorgehäuse angeordnete Rippen verbessern bei eigengekühlten Spaltrohrmotoren die Wärmeabgabe durch natürliche Konvektion [siehe Abbildung 2].

## Spaltröhropumpen für den Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle

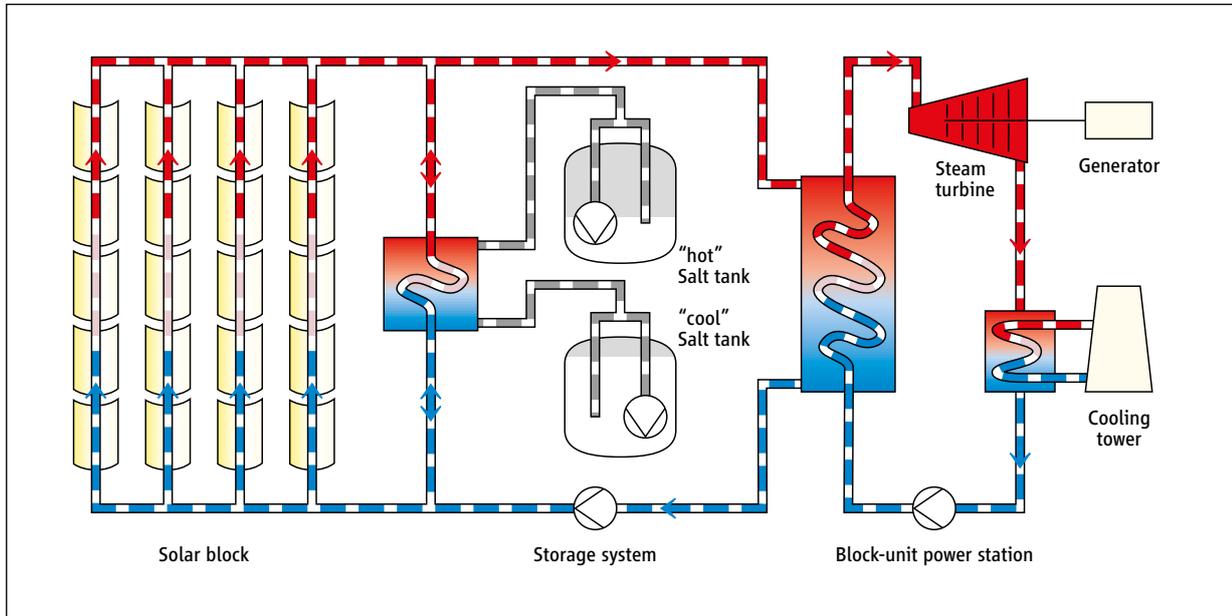


Abbildung 4: Schema einer CSP-Anlage /1/

### 4. NEUE ANWENDUNGEN IN DER SOLARENERGIE

Eine zukünftige Hochtemperatur-Anwendung ist der Einsatz von Spaltröhropumpen in Solarkraftwerken.

Solarthermische Kraftwerke gelten als geeignete Großtechnologie um, insbesondere im sogenannten Sonnengürtel der Erde, preiswerten Kraftwerkstrom aus Sonnenenergie zu erzeugen. Diese konzentrierende Systeme werden unter dem Begriff CSP (Concentrating Solar Power) Technologie zusammengefasst. Vier verschiedene Typen solarthermischer Kraftwerke, unterschieden nach der Art des Spiegelsystems, sind auf dem Markt: Parabolrinnen-Kraftwerke, solare Turmkraftwerke, Dish-Stirlingsysteme und die Fresnelsysteme.

In Europa wurden Konzepte und Komponenten auf dem internationalen Testfeld Plataforma Solar de Almeria (PSA) erprobt.

#### 4.1 Parabolrinnen-Kraftwerke mit Wärmeträgeröl-Zwischenkreislauf

Parabolrinnen-Kraftwerke gelten als erprobt und werden z. Z. schon im großtechnischen Maßstab gebaut. Zum Beispiel als reines Solarkraftwerk bis 50 MW Leistung (CSP) in Spanien [Abbildung 4] und als Hybrid-Solarkraftwerk ISCCS (Integrated Solar Combined Cycle System) in Ägypten bis 150 MW. Bei Hybrid-Solarkraftwerken wird ein Teil des Stromes durch Erdgas erzeugt. Sie bestehen aus dem Solarteil, dem Speicherblock und dem Powerblock. Beim Parabolrinnen-Kraftwerk befindet sich ein Rohr (Receiver) mit einer Wärmeträgerflüssigkeit in der Brennlinie des Parabolspiegels. Dieser wird mit einer Achse der Sonne so nachgeführt, dass das Sonnenlicht immer auf das Wärmeträgerrohr gebündelt wird. Infolge der sich konzentrierenden Sonneneinstrahlung erhitzt sich das Wärmeträgermedium, in der Regel ein synthetisches Wärmeträgeröl, bis auf etwa 400 °C. Die einzelnen Rinnenkollektoren sind durch Sammelleitungen miteinander verbunden.

## Spaltröhropumpen für den Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle

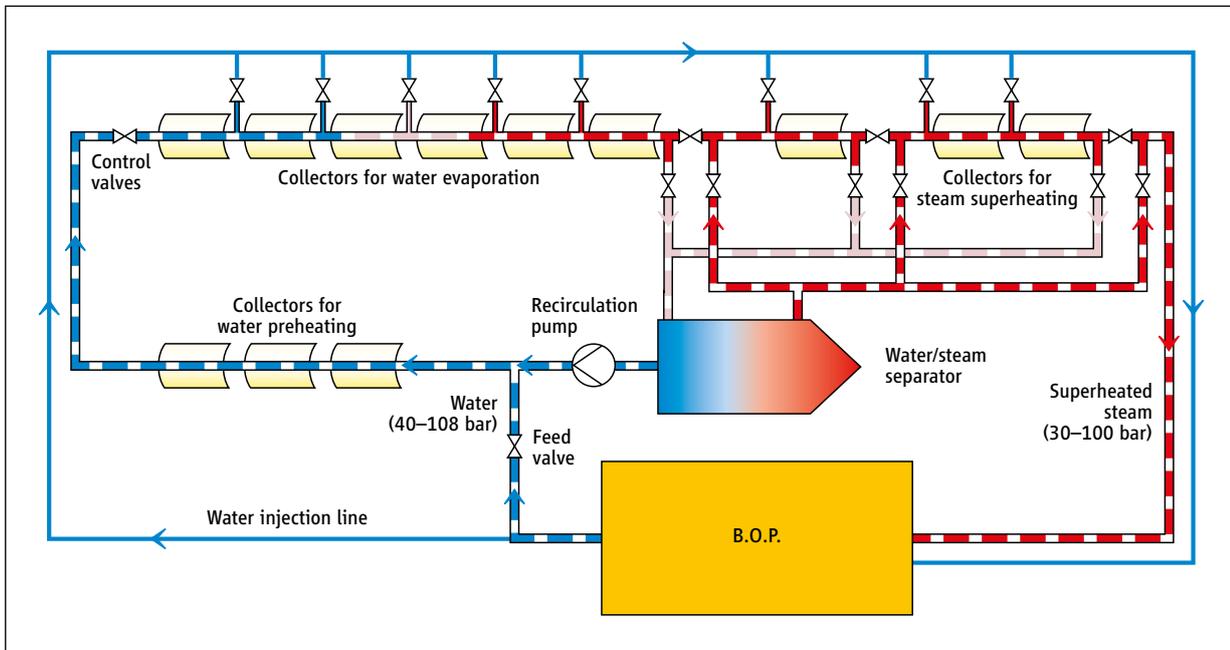


Abbildung 5: Schema einer DISS-Anlage /2/

Diese führen das Wärmeträgeröl einem Wärmetauscher zu, welcher Wasser verdampft. Dieser Dampf treibt wie bei einem konventionellen Kraftwerk eine Dampfturbine an. Die Leistung der Dampfturbine wird auf einen Generator zur Stromerzeugung übertragen. Bei der Integration eines thermischen Speichers (Salzschmelze-Speicher) kann der Strom planbar bereitgestellt werden, da die Solarkraftwerke dann auch nach Sonnenuntergang Strom erzeugen. Für die Umwälzung des synthetischen Thermalöls von 400 °C werden hermetische Spaltröhropumpen Typ CNPK [siehe Abbildung 1] eingesetzt, in diesem Fall mit einem externen Rohrbündelkühler (Spanien), bzw. Trockenluftkühler (Ägypten) [siehe Abbildung 3], die entweder über den Pumpen oder wegen der Größe neben den Pumpen aufgestellt sind. Alle Pumpen werden mit einem Frequenzumformer betrieben, um die verschiedenen Fördermengen im Tagesverlauf bei maximalem Wirkungsgrad zu realisieren.

### 4.2 Parabolrinnen-Kraftwerke mit Direktverdampfung

Bei der direkten Dampferzeugung in Parabolrinnen-Kraftwerken wird das derzeit verwendete Zweikreisssystem mit Thermalöl und Wasser als Wärmeträger durch einen einzigen Wärmeträger, und zwar Wasser, ersetzt. Ohne auf die Vorteile der Direktverdampfung einzugehen sei erwähnt, dass seit ca. 8 Jahren in der weltweit größten Direktverdampfungsanlage, der Parabolrinnen-Testanlage DISS (Direct Solar System) auf der Plataforma Solar de Almeria (PSA) in Spanien, die technischen Herausforderungen untersucht werden [Abbildung 5]. Für die zwei je 500 m langen Kollektorstränge wurde die Funktionstüchtigkeit der Direktverdampfung unter realen Bedingungen nachgewiesen. Hier wurde als Rezirkulationspumpe für das Wasser, mit 100 Bar Systemdruck und 400 °C, eine hermetische Hochdruckpumpe Typ CAMKT 30/6 (PN 100) mit externem Kühler eingesetzt [Abbildung 6]. Die Hochdruckpumpe ist als mehrstufige Spaltröhropumpe in

## Spaltrohrmotorpumpen für den Hochtemperatureinsatz in solarthermischen Kraftwerken

Dr. G. Feldle



Abbildung 6: Mehrstufige Spaltrohrmotorpumpe Typ CAMKT 30/6

Topfbauweise ausgeführt. Die Topfbauweise reduziert die 6 statischen Dichtungen auf eine einzige Dichtung. Auch für das erste Parabolrinnen-Kraftwerk in Asien, das auf dem Prinzip der Direktverdampfung basiert, wird in der Provinz Kanchanaburi im Zentrum von Thailand eine hermetische Hochdruckpumpe Typ CAMKT 44/3 (PN 100) mit externem Kühler eingesetzt. Auch diese Pumpe ist aufgrund der gewonnenen Erfahrungen in Almeria als Topfbauweise ausgeführt.

Spaltrohrmotorpumpen für den Hochtemperatureinsatz werden in vielen technischen und industriellen Prozessen eingesetzt, wenn Prozesswärme zur Verfügung gestellt werden muss. Mit der Solarthermie hat sich nun ein neues Anwendungsfeld aufgetan, in dem Hochtemperatur-Spaltrohrmotorpumpen aufgrund ihrer beschriebenen Eigenschaften bevorzugt zum Einsatz kommen.

### LITERATUR

- /1/ Solar Millennium
- /2/ DLR-German Aerospace Center