

Heißes Thema: wartungsarme, effiziente Pumpen für Kraftwerke

Jens-Christian Poppe

Beim Betrieb traditioneller Kraftwerke stellt sich grundsätzlich die Frage der Wartungskosten: Wie lassen sich diese reduzieren, ohne die Effizienz oder Zuverlässigkeit der Anlage zu beeinträchtigen? Verstärkt stellt sich die Wartungskostenfrage bei der Planung und dem Bau neuer Kraftwerke, denn wartungsarme Systeme sollten bestenfalls von Beginn an integriert werden, anstatt im Nachhinein zu versuchen, bestehende durch wartungsärmere Lösungen zu ersetzen. Angesichts der Ankündigungen der neuen Bundesregierungen zum Bau vieler neuer Gas-kraftwerke gewinnt diese Frage zusätzlich an Dringlichkeit. Nimmt man das Problem der Wartungskosten näher in den Blick, zeigt sich, dass innerhalb der Systemtechnik vor allem bei Pumpen erhebliche Einsparungen erzielt werden können.

Herausforderung Förderung

Innerhalb der Kraftwerkstechnik sorgt die Förderung siedender Medien für besondere Herausforderungen, weil diese Medien instabile physikalische Eigenschaften aufweisen. Das führt zu mehreren spezifischen Problemen:

- Druck- und Temperaturschwankungen: Bereits geringe Druckveränderungen können zum plötzlichen Verdampfen oder Kondensieren führen. Das beeinträchtigt die Prozessstabilität und kann zu unregelmäßigem Betrieb oder gar Schäden führen.
- Dampfblasenbildung: Pumpen sind für die Förderung von Flüssigkeiten ausgelegt. Dampf- und Gasblasen lassen sich bei Kreiselpumpen nur bedingt, bis zu einem sehr geringen prozentualen Anteil, mitfördern. Diese beschriebene Fördersituation führt in der Regel bei Kreiselpumpen schon zu einem instabilen Förderverhalten. Steigt der Gasanteil im Medium durch weitere Verdampfung, führt dies zu einem Förderstromabbriss und einem ungewollten Trockenlauf der Pumpe sowie eventuell zum Ausfall der Pumpenposition oder des Anlagenteils.
- Kavitation: Siedende Medien neigen zur Bildung von Dampfblasen. Wenn diese Blasen implodieren, bspw. durch weitere Druckabsenkung im Pumpenlauf, entstehen starke Druckschläge, die Materialschäden und damit einhergehend zu erhöhten Verschleiß an der Pumpe führen können.
- Materialbeanspruchung: Hohe Temperaturen und oben genannte „Dampfschläge“ können die Werkstoffe, die Lagerung und Wellenabdichtung der Pumpe zusätzlich belasten oder beschädigen und erfordern daher eine ausgefeilte Pumpentechnik.

Traditionell versuchen Kraftwerksplaner und Konstrukteure, diese Probleme mit einer Reihe zusätzlicher Maßnahmen und Komponenten um die Pumpe herum zu lösen.

Installation in einer Grube oder der Einsatz hoher Stahlkonstruktionen

Die Installation einer Pumpe in einer Grube hat Einfluss auf die Zulaufhöhe und damit auf den NPSH-Wert (Net Positive Suction Head = Netto positive Saughöhe) bzw. die Haltedruckhöhe einer Pumpe. Der Wert bemisst die Differenz zwischen dem Einlassdruck und dem niedrigsten Druckniveau im Inneren der Pumpe. Wird die Pumpe tiefergelegt, etwa in einer Grube, erhöht sich die statische Zulaufhöhe. Dadurch steigt der Druck am Pumpeneintritt, was die Gefahr von Kavitation deutlich reduziert. Das ist besonders wichtig bei siedenden oder nahe am Siedepunkt geförderten Medien, da hier schon geringe Druckverluste zur Verdampfung führen können. Durch die tiefere Anordnung bleibt auch bei wechselndem Pegel im Zulaufbehälter genügend Flüssigkeit über der Pumpe. Das verhindert das Ansaugen von Luft oder Dampf und sorgt für einen stabilen Betrieb.

Alternativ kann der Zulaufbehälter/Saugbehälter, aus dem die Pumpe fördert, höher, beispielsweise mittels Stahlkonstruktion/-gerüst, oberhalb der Pumpe installiert werden, um den NSPH-Wert vor der Pumpe positiv zu beeinflussen, damit die betrieblichen Anforderungen erfüllt werden können. Das ist besonders bei Anlagen mit wechselnden Betriebsbedingungen oder unterschiedlichen Medienströmen von Vorteil. Grundsätzlich schützt eine ausreichend hohe Zulaufhöhe die Pumpe vor Trockenlauf und Kavitationschäden, was die Lebensdauer der Anlage und der installierten Bauteile positiv beeinflusst und die Wartungskosten senkt.

Pufferbehälter mit Min-/Max-Schaltung

Alternativ oder ergänzend kommt häufig ein Pufferbehälter mit Min/Max-Schaltung in den Fördersystemen eines Kraftwerks zum Einsatz. Der Pufferbehälter dient als Zwischenspeicher für das zu fördernde Medium damit sich bei der „Zwischenspeicherung“ das Druck- und Temperaturniveau vor der

Autor

Dipl.-Ing. Jens-Christian Poppe
Vertriebs- und Projektingenieur
PAUL BUNGARTZ
GMBH & CO. KG
Düsseldorf, Deutschland

Pumpe positiv verbessert. In der Regel ist ein Behälter mit mindestens zwei Füllstandsensoren (z.B. Schwimmerschalter oder elektronische Sensoren) ausgestattet: einer auf der gewünschten Mindesthöhe (Min) und einer auf der gewünschten Maximalhöhe (Max). Sinkt der Flüssigkeitspegel auf Höhe des Min-Sensors ab, gibt dieser ein Signal an die Steuerung. Die Steuerung kann daraufhin beispielsweise die Pumpe abschalten, um Trockenlauf zu verhindern, oder eine Nachspeisung aktivieren, damit der Behälter wieder gefüllt wird. Steigt der Flüssigkeitspegel auf die Höhe des Max-Sensors, wird ebenfalls ein Signal ausgelöst, das den Zulauf stoppt oder eine weitere Pumpe zuschaltet, um ein Überlaufen des Behälters zu verhindern. Die Aufstellungshöhe dieses Behälters wird durch den NPSHr-Wert der Pumpe bei siedenden Medien bestimmt und kann abhängig vom Druck mehrere Meter betragen.

Durch Einsatz eines Pufferbehälters mit Min/Max-Schaltung soll sichergestellt werden, dass immer genügend Flüssigkeit für die Pumpe zur Verfügung steht. Schwankungen im Zulauf oder Verbrauch werden durch den Pufferbehälter ausgeglichen, was einen kontinuierlichen und sicheren Betrieb der Pumpen ermöglicht. Die Automatisierung durch die Min/Max-Schaltung soll das Bedienpersonal entlasten und die Betriebssicherheit erhöhen.

Frequenzumrichter

Bei dem Betrieb von Kreiselpumpen werden häufig von Planern und Betreibern Frequenzumrichter eingesetzt. Diese funktionieren, indem sie die Netzwechselspannung zunächst in Gleichspannung und anschließend wieder in eine Wechselspannung mit variabler Frequenz und Amplitude umwandeln. Dadurch ermöglichen sie die stufenlose Regelung der Drehzahl und des Drehmoments der Elektromotoren, die die Pumpen antreiben.

Der Einsatz von Frequenzumrichtern erlaubt es, die Förderleistung exakt an den aktuellen Bedarf anzupassen. Durch die bedarfsgerechte Steuerung der Drehzahl kann der Energieverbrauch deutlich gesenkt, und Lastspitzen können vermieden werden. Zudem ermöglichen Frequenzumrichter einen sanften Anlauf und Auslauf von Motoren, wodurch sie die Netzbelastung ebenso reduzieren wie die mechanische Belastung beim Anfahren und Stoppen. Das soll den Verschleiß der Pumpen und Motoren verringern und die Lebensdauer der Anlagen erhöhen. Die stufenlose Regelung soll darüber hinaus für eine gleichmäßige und stabile Förderung sorgen, und durch die präzise Anpassung an den optimalen Betriebspunkt soll der Systemwirkungsgrad gesteigert und Verluste minimiert werden.

Weitere Steuer- und Überwachungssysteme

Im traditionellen Setup einer Kreiselpumpe kommen häufig zusätzlich zu den oben ge-

nannten Komponenten bzw. Aggregaten diverse Regelventile, Trockenlaufschutzsignale, Filter, zusätzliche Dichtungssysteme usw. zum Einsatz, um die störungsfreie Funktion einer Pumpe zu gewährleisten.

Systemische Betrachtung

Aus dem Gesagten wird deutlich, dass im klassischen Einsatz von Pumpen zur Förderung siedender Medien in Kraftwerken eine Reihe zusätzlicher Komponenten und Aggregate erforderlich sind, die – innerhalb dieses Rahmens – ihre Berechtigung haben. Allerdings gestalten die zusätzlichen Elemente rund um die Pumpe, deren Einsatz deutlich komplexer. Jede dieser Komponenten stellt nicht nur eine zusätzliche Fehlerquelle dar, sondern erfordert zusätzlichen Aufwand und Kosten für Planung, Beschaffung, Programmierung, Betrieb, Instandhaltung und Dokumentation.

Diese Erkenntnis stellt Planer und Betreiber vor die Herausforderung die Kreiselpumpe nicht mehr im „Einzelkomponentenvergleich“ zu betrachten, sondern Pumpe und Zusatzkomponenten als „Gesamtsystem“ zu bewerten, in Bezug auf Neuinvestitionen und die Frage der Nachhaltigkeit.

Die Firma Bungartz beschäftigt sich seit Jahren mit dieser Thematik und hat eine Kreiselpumpe entwickelt, mit der sich das System „Pumpe“, selbst bei schwierigen Prozessbedingungen, stark vereinfachen lässt. Die selbstregelnde Spezialkreiselpumpe mit hydrodynamischer Abdichtung und niedrigen NPSH-Wert ist für den Einsatz in Kraftwerken konzipiert und benötigt beispielsweise keine Zulaufhöhe vor der Pumpe, selbst bei Förderung von siedenden oder am Dampfdruck befindlichen Medien. Es wird kein Mindestförderstrom für den sicheren Betrieb der Pumpe vorgegeben. Auch der Betrieb mit einem Frequenzumrichter ist bei den Kraftwerkspumpen im Sonderbau nicht zwangsläufig erforderlich. Zudem können bei Neuinvestitionen Pufferbehälter, Gruben, hohe Stahlgerüste für Behälter sowie überwachende Signale eingespart oder komplett aus der Anlagenplanung gestrichen werden und/oder entfallen.

Spezialpumpen für Kraftwerke

Im Folgenden werden die Eigenschaften und Konstruktionsprinzipien einer selbstregelnden Spezialkreiselpumpe mit niedrigem NPSH-Wert, die zudem feststofftauglich, trockenlaufsicher und physikalisch abdichtend ist, der Reihe nach betrachtet.

Vorteil Kreiselpumpe

Kreiselpumpen bieten eine Reihe konstruktionsbedingter Vorteile. Dazu gehören die Möglichkeit einer kompakten Bauweise, ein pulsationsarmer Betrieb selbst bei hohen Drehzahlen sowie der geringe Verschleiß. Bei der Förderung herausfordernder Medien, z.B. in Kraftwerken, ist vor allem rele-

vant, dass eine Kreiselpumpe ohne komplizierte bewegliche Teile im Förderraum auskommt. Allerdings ist Kreiselpumpe nicht gleich Kreiselpumpe. So baut der Spezialpumpenhersteller Bungartz Kreiselpumpen im „Sonderbau“, die sich durch besondere technische Eigenschaften und innovative Wellenabdichtungen von anderen Kreiselpumpen abheben. Zum Portfolio gehören die vertikalen, trocken installierten und selbstentlüftenden Kreiselpumpen vom Typ „V-AN“. Durch eine Modifikation des Pumpengehäuses und des Laufrads ist diese Pumpe in der Lage sich selbstständig im laufenden Betrieb zu entlüften und besitzt zudem einen NPSHr-Wert von $<0,1\text{m}$, selbst bei einer Drehzahl von $n_{\text{max}} = 3600\text{ U/min}$ und einer zeitgleichen Förderung eines Mediums am Dampfdruck entsteht am Laufrad keine Kavitation.

Eine wichtige Eigenschaft der Spezialkreiselpumpen für den Einsatz in Kraftwerken ist auch die konsequente Trennung des Fördermediums vom Bereich der Lagerung und der Wellenabdichtung. Nach diesem einfachen Prinzip sind alle Pumpen des Herstellers ausgelegt. Egal, ob eine einfache Stopfbuchse, oder eine atmosphärisch abdichtende Dichtung (beispielsweise Doppel-Gleitringdichtung) verwendet wird, das Fördermedium bleibt hierbei im Pumpengehäuse und berührt im laufenden Betrieb nicht die eigentliche Wellenabdichtung. Diese „Flüssigkeitstrennung“ wird durch eine zusätzlich verbaute hydrodynamische Abdichtung am Pumpenlaufrad erzielt.

Richtig dicht

Das Prinzip der hydrodynamischen Abdichtung ist leicht erklärt, in der Praxis allerdings alles andere als trivial in der Umsetzung. Es basiert auf einem speziellen Laufrad mit Rückenschaufeln, das während des Pumpenbetriebs das Fördermedium vom Wellendurchtritt aktiv wegfördert. Dadurch wird das nachgeschaltete Wellendichtungssystem im Betrieb vom eigentlichen Förderdruck entlastet und komplett vor direktem Kontakt mit dem Fördermedium geschützt.

Die hydrodynamische Abdichtung bietet eine Reihe weiterer Vorteile. So ist sie im Betrieb vollkommen dicht, selbst bei Verwendung von einfachen, mechanischen Wellenabdichtungen wie beispielsweise Stopfbuchsen. Auch bei feststoffhaltigen Medien wie Abwasser erreicht dieses vom Förderdruck entlastete Dichtungskonzept hohe Standzeiten, da Feststoffe gezielt im Betrieb von der Wellenabdichtung ferngehalten werden. Im laufenden Betrieb dichtet die hydrodynamische Abdichtung ohne mechanischen Kontakt ab. Sie ist somit außerordentlich verschleiß- und wartungsarm, was für geringe Wartungskosten und hohe Standzeiten sorgt.

Wichtig ist das Zusammenspiel der hydrodynamischen Abdichtung als Primärdichtung mit einer weiteren, herkömmlichen Wel-

lenabdichtung, die als Sekundärdichtung ausschließlich im Stillstand der Pumpe fungiert. Für die Förderung atmosphärisch siedender Medien in Kraftwerken können deshalb einfache Stopfbuchsen als Sekundärdichtung beim Pumpentyp V-AN verwendet werden. Diese haben im Pumpenbetrieb keine Leckage und besitzen im Vergleich zu einfachen Gleitringdichtungen eine viel längere Standzeit.

Wird überhitzter Dampf oder aus dem Vakuum gefördert, sollte eine atmosphärisch abdichtenden Wellenabdichtung verwendet werden, beispielsweise in Form einer doppelten Gleitringdichtung mit separatem Tank für das Kühl- und Sperrmedium. Hierbei werden zwei Gleitringdichtungen hintereinander auf der Pumpenwelle installiert. Zwischen diesen beiden Dichtungen befindet sich ein Hohlraum, der als Sperrflüssigkeitskammer dient. In diese Kammer wird über den separaten Tank ein Kühlfluid eingeleitet, das unter einem definierten Druck steht, der höher ist als der Druck des Fördermediums. Die Sperrflüssigkeit schmiert und kühlt die Dichtflächen, wodurch die Lebensdauer der Dichtung erhöht wird. Sie verhindert zudem, dass das geförderte Medium nach außen gelangt, weil bei einer Leckage der inneren Dichtung die Sperrflüssigkeit in das Prozessmedium austritt und nicht umgekehrt. Durch die Fremdkühlung dichtet dieses Dichtungskonzept atmosphärisch ab und ist deshalb die erste Wahl bei entsprechenden oben beschriebenen Prozessbedingungen im Kraftwerksbereich.

Selbstregelung

Soll sich die Leistung einer Kreiselpumpe an unterschiedliche Fördermengen anpassen, kann dies in der Regel nur über zwei unterschiedliche Schaltkonzepte passieren.

Bei Pumpen wird die geförderte Menge und der resultierende Druck über eine Pumpenkennlinie dargestellt. Legt man nun die resultierende Anlagenkennlinie, welche sich aus der zu fördernden statischen Höhe und den Druckverlusten der Rohrleitung ergibt, in diese Pumpenkennlinie, ergibt sich aus dem Schnittpunkt dieser beiden Kennlinien der Betriebspunkt der Pumpe in der Anlage.

Eine Option diesen Schnittpunkt zu verändern wäre eine Anpassung der Drehzahl der Pumpe über eine Frequenzumrichterschaltung. Auf diese Weise kann durch veränderte Frequenz die Pumpendrehzahl angepasst werden, was zu einer parallelen Verschiebung der eigentlichen Pumpenkennlinie auf der Anlagenkennlinie führt und somit auch zu einem anderen Betriebspunkt der Pumpe. Abhängig vom Pumpentyp und der Größe ist diese Parallelverschiebung aber nur bis zu einem gewissen Grad möglich.

Eine weitere Option den Betriebspunkt der Pumpe ohne Umbau der gesamten Anlage oder der Pumpe anzupassen, wäre eine Veränderung des Verlaufs der eigentlichen Anlagenkennlinie. Durch gezieltes Drosseln

der Pumpe auf der Druckseite bekommt die Anlagenkennlinie einen steileren Verlauf, was wiederum zu einem veränderten Schnittpunkt der beiden Kennlinien führt. Dieser Eingriff führt jedoch häufig zu einer größeren Belastung der verbauten Anlagenbauteile und im Zuge dessen auch zu kürzeren Standzeiten des Gesamtsystems.

Zur Vereinfachung dieser Regelung und des Pumpenbetriebs, besitzt die selbstregelnde Kraftwerkspumpe ein modifiziertes Laufrad und Pumpengehäuse. Wie in der Bernoulli-Gleichung zum „Energieerhaltungssatz von strömenden Fluiden“ beschrieben, wird durch die Modifizierung eine stationäre und verlustfreie Strömung durch das Laufrad der Pumpe erreicht, oder anders ausgedrückt: Durch die Modifikation besitzt das Laufrad keinen „saugenden“ Charakter mehr!

Zum Förderverhalten der selbstregelnden Pumpe lässt sich deshalb folgendes herleiten: Die Geschwindigkeit (und damit die Fördermenge), mit der Flüssigkeit aus einem offenen Zulaufbehälter in eine Pumpe strömt, hängt direkt von der Höhe der Flüssigkeitssäule im Zulaufbehälter ab. Konkret bedeutet das: Je höher der Flüssigkeitspegel im Zulaufbehälter, desto größer ist der hydrostatische Druck, der auf die Pumpe wirkt. Dieser Druck bestimmt die Geschwindigkeit, mit der das Medium in die Pumpe eintritt. Verfügt die Pumpe selbst über kein Saugvermögen, nimmt sie nur exakt so viel Medium auf, wie ihr durch den hydrostatischen Druck zugeführt wird.

Wenn sich der Zulauf (z.B. durch Nachspeisung oder Verbrauch) ändert, verändert sich der Flüssigkeitspegel im Behälter und damit der hydrostatische Druck. Die Fördermenge entspricht so exakt dem Volumenstrom, der der Pumpe zufließt, unabhängig von der Drehzahl oder anderen Betriebsparametern. Dieses „selbstregelnde“ Verhalten auf der aktuell wirkenden Anlagenkennlinie erreicht die Pumpe ohne mechanische oder elektrische Regelung. Ein Anlagenkonzept mit einer hydraulischen Anpassung der Pumpe, ohne komplexe, kostspielige und fehleranfällige Regelungstechnik, ist deshalb beim Einsatz dieses Pumpentyps für Planer und Betreiber umsetzbar.

Niedriger NPSH-Wert

Der niedrige NPSH-Wert der beschriebenen Pumpe, beispielsweise einem Modell der V-AN-Baureihe von Bungartz, ergibt sich aus demselben hydrodynamischen Prinzip: Weil sie konstruktiv kein Saugvermögen besitzt, sich darüber hinaus auch durch die Modifikation von Laufrad und Pumpengehäuse im Betrieb der Pumpe selbstständig entlüftet und ausschließlich das Medium fördert, das ihr durch den vorhandenen hydrostatischen Druck zufließt, ist eine Mindestzulaufhöhe vor der Pumpe nicht erforderlich, selbst wenn Medien am Siedepunkt gefördert werden. Eine solche Pumpe lässt sich somit auf viel kleinerem Raum in das Fördersystem

integrieren, und es entfällt die Notwendigkeit zum Bau einer Grube oder eines Stahlgerüsts für vorgeschaltete Behältersysteme.

Systemische Bilanz

Nimmt man zukünftig die Kreiselpumpe als „Pumpensystem“, zeigt sich deutlich, dass eine hochentwickelte Spezialkreiselpumpe zur Förderung siedender Medien in Kraftwerken die bessere Wahl ist, verglichen mit einem herkömmlichen Aggregat in einer Grube oder einem Anlagenkonzept mit Pufferbehälter, hohen Gerüsten für Zulaufbehälter, Frequenzumrichtern und zahlreichen weiteren Zusatzkomponenten. Die Spezialkreiselpumpe punktet nicht nur mit Platzersparnis und Zuverlässigkeit, sondern auch mit deutlichen Einsparungen bei Anschaffung, Betrieb und Wartung gegenüber dem traditionellen Setup. Die robuste Bauweise rundet die Pumpe weiter ab und vereinfacht die Fahrweise und das Handling der Pumpe für das Bedienpersonal, selbst bei komplizierten Förderaufgaben bei gleichbleibend hohen Sicherheitsansprüchen an das Bedienpersonal. Um die technischen Vorteile, die eine solche Pumpe bietet, sinnvoll einzubinden, empfiehlt es sich – gerade bei Neuinvestitionen –, schon zu einem frühen Zeitpunkt des Planungsprozesses, den Pumpenhersteller miteinzubinden, um mögliche „Einsparungen“ im Anlagenkonzept zu berücksichtigen. Hierdurch lassen sich viele Komponenten einsparen, was wiederum zu einer nachhaltigen Anlagenplanung und längeren Standzeiten der Gesamtanlage beiträgt.

Abstract

Hot topic: low-maintenance, efficient pumps for power plants

When operating traditional power plants, the question of maintenance costs always arises: how can these be reduced without compromising the efficiency or reliability of the plant? The issue of maintenance costs becomes even more pressing when planning and constructing new power plants, as low-maintenance systems should ideally be integrated from the outset rather than trying to replace existing systems with low-maintenance solutions at a later date. In view of the new federal government's announcements regarding the construction of many new gas-fired power plants, this question is becoming even more urgent. A closer look at the problem of maintenance costs reveals that considerable savings can be achieved within the system technology, especially with regard to pumps.