



Eine Sulzer-Turbo-Service-Lösung für Kraft-Wärme-Kopplung

Flexibel und Effizient

FERNANDO ROMERO |
SULZER TURBO SERVICES

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugt ein Kraftwerk, sehr oft mittels einer Dampfturbine, gleichzeitig Elektrizität und Nutzwärme – eine thermodynamisch sehr effiziente Nutzung des Kraftstoffs. Bei der getrennten Produktion von Hitze und Elektrizität hingegen bleibt die Abwärme ungenutzt. Soll jedoch das Verhältnis von Dampf und erzeugter Elektrizität geändert werden, erfordert dies manchmal bedeutende Änderungen an der Dampfturbine. Sulzer Turbo Services erhöhte die Dampfproduktion in einem KWK-System mit einer Lösung, die viel flexibler ist als die, welche der Kunde ursprünglich geplant hatte.

► In herkömmlichen Kraftwerken wird die Abwärme der Elektrizitätserzeugung durch Kühltürme oder mit dem Rauchgas an die Umwelt abgegeben. KWK-Systeme nutzen die Abwärme als Prozesswärme oder zu Heizzwecken. Die Kombination einer Gasturbine mit einem Dampfkreislauf ist eine sehr effiziente Methode zur Erzeugung von Nutzwärme und elektrischer Leistung. In einem Abhitzedampferzeuger (AHDE) produzieren die Abgase der Gasturbine Dampf, der eine Turbine antreibt. Der elektrische Wirkungsgrad eines solchen Gas-/Dampfturbinen-(GuD-)Kraftwerks kann bis zu 58% erreichen. Der Nutzungsgrad steigt weiter, wenn die Abwärme der Dampfturbine genutzt werden kann.

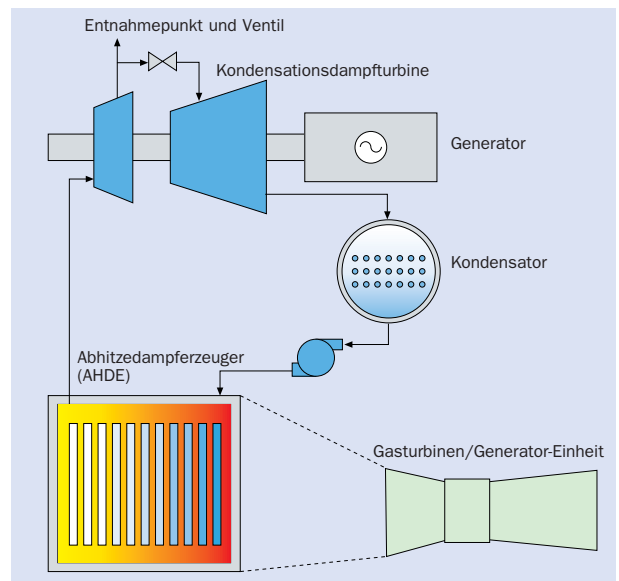
Flexible Lösung

Ein unabhängiger Energieversorger für industrielle und andere Großkunden hatte festgestellt, dass es rentabler ist, Nutzwärme zu verkaufen als elektrische Leistung. Im erzeugenden System produzierte eine Gasturbine 20 MW elektrische Leistung und ein AHDE Dampf für eine 6-MW-Turbine. Die Nachfrage nach Dampf hatte nun die Nachfrage nach Energie überwogen. Um die Dampfantnahme zu maximieren, hatte der Kunde ursprünglich geplant, die Schaufeln von 6 Stufen des Turbinenrotors zu entfernen. Sulzer Hickham Inc., eine Firma von Sulzer Turbo Services, hat eine Lösung vorgeschlagen, die bedeutend weniger Eingriffe in das vorhandene Design der Turbine erforderte. Die technische Herausforderung besteht darin, dass die stromabwärts angeordneten Teile

der Turbine überhitzen, wenn nach den Hochdruckstufen Dampf entnommen wird. Sulzer hat vorgeschlagen, gezielt Wassernebel von 38 °C in das Turbinengehäuse einzuleiten und so die durch Ventilationsverluste und Leckagedampf erwärmten Teile zu kühlen. Diese Lösung lässt sich innerhalb des bestehenden Turbinengehäuses verwirklichen und bietet dem Betreiber die Möglichkeit, die Elektrizitätserzeugung wieder auf die volle Kapazität zu fahren, falls die Nachfrage dies verlangt.

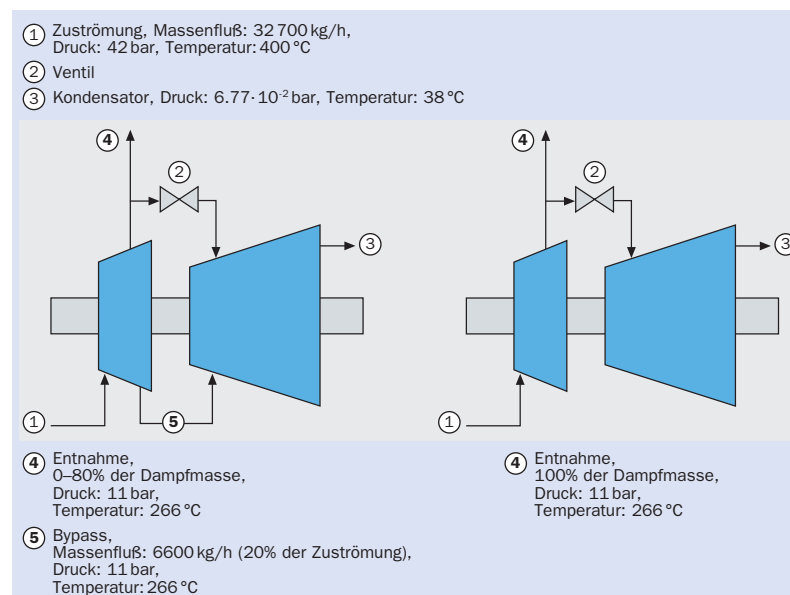
Erzeugung von Wärme und Strom

Die KWK-Anlage ist ein GuD-Kraftwerk mit insgesamt 26 MW elektrischer Leistung (Bild 1). Im Kreislauf nutzt ein AHDE die heißen Abgase einer 20-MW-Gasturbinen/Generator-Einheit. Der Dampf treibt eine 6-MW-Kondensationsdampfturbine, die mit ihrem Generator die Gesamtkapazität auf 26 MW elektrisch erhöht. Die Dampfturbine erlaubt eine Dampfantnahme nach der zweiten Laufstadium. Der extrahierte Dampf wird in der Folge als Pro-



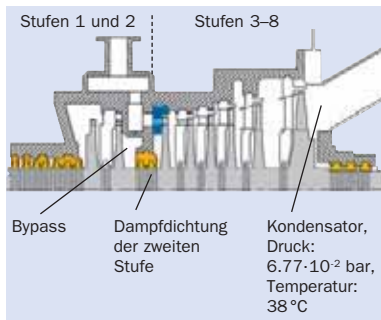
1 Die Kombination einer Gas- und einer Dampfturbine für das Erzeugen von Elektrizität und Nutzwärme ist sehr effizient. Sulzer Turbo Services modifizierte die Dampfturbine in einem solchen System, um die Menge des Entnahmedampfes zu erhöhen.

zessdampf oder für die Gebäudeheizung im Winter benutzt. Geänderte Marktbedingungen haben dazu geführt, dass es lukrativer geworden ist, den Dampf nach der zweiten Stufe zu verkaufen als Strom zu produzieren. Unter den ursprünglichen Betriebsbedingungen konnten zwischen 0 und 80%

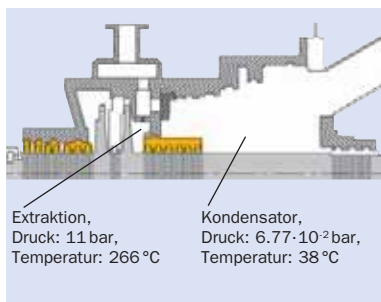


2 Die ursprünglichen Betriebsbedingungen (links) mussten geändert werden, um die Menge des Entnahmedampfes zu erhöhen.

3 Wird der Bypass geschlossen, laufen die Stufen 3–8 nahezu im Vakuum.



4 Das Entfernen der Schaufeln in den Niederdruckstufen stromabwärts der Dampfentnahme erfordert nicht reversible Änderungen an der Turbine.



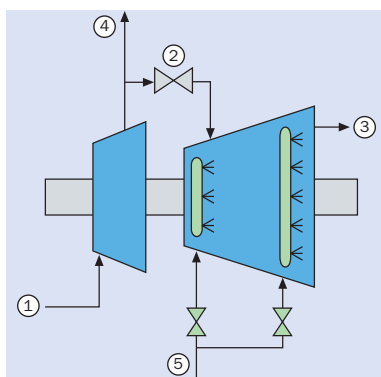
des Dampfes entnommen werden (Bild 2). Ein Bypass stellte sicher, dass mindestens 20 Massenprozent des Dampfes die letzten 6 (Niederdruck-)Stufen der Turbine durchströmten. Dies war die Minimalmenge, um den Rotor im Niederdruckteil und das Gehäuse vor Überhitzung zu schützen.

Maximierte Dampfentnahme

Die Menge des Entnahmedampfes lässt sich maximieren, wenn die Bypass-Bohrungen verschlossen werden. Bei geschlossenem Ventil strömt dann kein Dampf zum Kondensator (Bild 3) und in den Stufen 3–8 herrscht der Kondensatorzustand (nahezu Vakuum). Bei diesem Betriebszustand trägt Leckagedampf aus der Dichtung der zweiten Stufe am stärksten zur Erwärmung der Niederdruckstufen bei. Die erste Option, die der Betreiber in Betracht gezogen hatte, um die gewünschte volle Dampfentnahme zu erreichen, war das Entfernen aller Schaufeln aus den Stufen 3–8. Eine Dampfdichtung nach der zweiten Stufe sollte den Dampf mit 11 bar Druck zurückhalten. Diese Variante würde signifikante Änderungen am ursprünglichen Design der Maschine bedingen (Bild 4). Das Entfernen der rotierenden Schaufeln ändert die Massenverteilung und das dynamische Verhalten des Rotors drastisch. Diese Maßnahme würde eine rotordynamische Untersuchung zum Stabilitätsnachweis der neuen Rotorkonfiguration erfordern. Die bedeutendste Konsequenz jedoch wäre die, dass es nicht möglich wäre, zu den ursprünglichen Betriebsbedingungen zurückzukehren. Wenn sich die Dampf nachfrage erneut ändern sollte, würde der Betreiber einen neuen Rotor benötigen, um wieder im ursprünglichen Auslegungspunkt zu arbeiten.

triebsbedingungen mit deutlich weniger Konsequenzen zulassen würde. Die Sulzer-Ingenieure empfahlen, gezielt Wassernebel einzuleiten und so die Hitze abzukühlen, die durch Ventilationsverluste und Leckagedampf der zweiten Stufe erzeugt wird (Bild 5). Das Zumischen eines feinen Wassernebels entzieht dem Dampf Energie und kühlt ihn ab. Nach der dritten Stufe kühlt der Nebel von 38 °C hauptsächlich den Leckagedampf der zweiten Stufe. Ein Sprayverteilerrohr, das stromabwärts der Schaufeln der achten Stufe angeordnet ist, kühlt vor allem durch Ventilation erzeugte Wärme, die entsteht, wenn die Schaufeln mit wenig oder keinem Durchfluss rotieren (Bild 6).

5 Wegen der guten Kenntnis der Kundenanwendung konnte Sulzer eine andere Lösung vorschlagen als der Kunde ursprünglich geplant hatte.



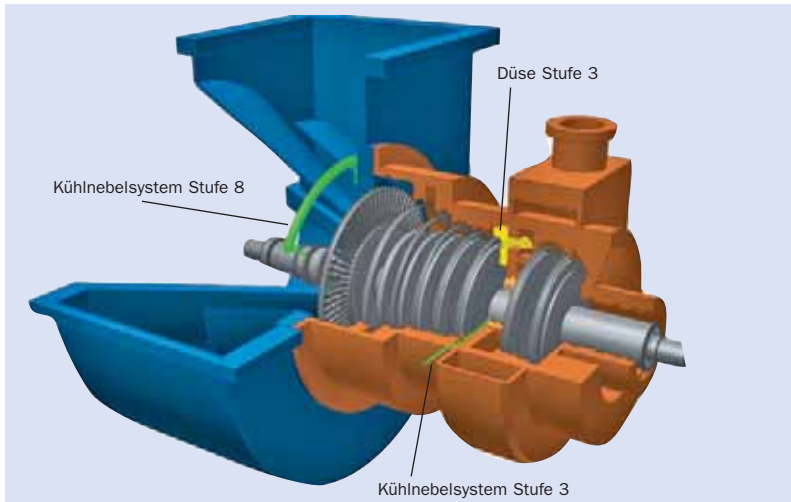
- ① Zuströmung, Massenfluß: 32 700 kg/h, Druck: 21 bar, Temperatur: 400 °C
- ② Ventil
- ③ Kondensator, Druck: $6.77 \cdot 10^{-2}$ bar, Temperatur: 38 °C
- ④ Entnahme, 100% der Dampfmasse, Druck: 11 bar, Temperatur: 266 °C
- ⑤ Kühlnebel

Reagieren auf geänderte Nachfrage

Diese Variante erlaubt dem Betreiber, von den ursprünglichen Betriebsbedingungen auf 100% Entnahme nach der zweiten Stufe zu wechseln. Bei sinkender Nachfrage nach Dampf oder steigender Nachfrage nach Elektrizität kann problemlos von einer Betriebsart zu anderen gewechselt werden. Magnetventile, die von der digitalen Turbinensteuerung kontrolliert werden, steuern den Massenfluss des Kühlnebels. Das System steuert den Kühlstrom auch während des Starts der Dampfturbine, um einen sanften Übergang vom Normalbetrieb zu 100% Extraktion zu ermöglichen. Sensoren für Druck und Temperatur leiten Warnsignale zum Kontrollraum, falls der Massenstrom des Kühlnebels unter die erforderliche Menge fallen sollte. Neben der Kühlnebelzuführung wurden Sammler in die untere Hälfte des Gehäuses einge-

Eine bessere Lösung

Unter Berücksichtigung des gegenwärtigen und möglichen zukünftigen Bedarfs des Kunden schlug Sulzer Turbo Services in La Porte, TX (USA) eine Alternative vor, welche die gewünschten Be-



6 Das Hinzufügen von Düsen für den Kühlnebel ohne Entfernung der Schaufeln der Stufen 3–8 aus dem Rotor erlaubt die erneute Steigerung der Stromproduktion, falls die Nachfrage dies erfordern sollte.

baut, welche die Abführung des eingespritzten Wassers erlauben.

Eine Idee wird verwirklicht

Ende 2007 entschied der Betreiber, das von Sulzer entworfene Kühlnebelssystem einzubauen. Eine Mannschaft von Sulzer Turbo Services demontierte Gehäuse und Rotor der Dampfturbine und transportierte die Teile für den Umbau nach La Porte. Im Februar

2008 wurde die modifizierte Maschine ausgeliefert (Bild 7). Temperaturfühler waren am Gehäuse und im Dampfpfad angebracht worden, um Stufe für Stufe Dampf- und Gehäusetemperatur überwachen zu können. Daneben werden auch Kühlmitteltemperatur und -druck überwacht, um so Gehäusetemperatur und Kühlbedingungen im zulässigen Bereich sicherzustellen.

7 Zusammenbau der modifizierten Dampfturbine in der Werkstatt von Sulzer Turbo Services.



Erwartungen erfüllt

Im März 2008 nahm technisches Personal von Sulzer Turbo Services das neue Kühlsystem in Betrieb. Mit Datenerfassungssystemen wurden Temperatur und Strömungszustände bei normalen Starts aufgezeichnet. Durch Messungen bei unterschiedlichen Entnahmezuständen wurden Grunddaten für die Betriebstemperaturen erfasst. Diese Daten wurden verwendet, um Warnpunkte für die maximal und minimal zulässigen Gehäusetemperaturen festzulegen. Schließlich wurde das Kühlsystem geprüft und die zuvor errechneten Durchflusswerte für das Kühlmittel bei den verschiedenen Betriebstemperaturen bestätigt. Während der folgenden Tage wurden die Temperaturen genau überwacht, um einen stabilen und gleichmäßigen Betrieb der Turbine bei den neuen Entnahmezuständen sicherzustellen. Ende März war das Nebelkühlssystem mit sehr guten Resultaten vollständig in Betrieb gesetzt. Die Erwartungen des Betreibers wurden erfüllt, als der volle Dampfstrom des AHDE von 32700 kg/h nach der zweiten Stufe der Dampfturbine extrahiert wurde und die Gehäusetemperaturen im Niederdruckteil im normalen Bereich blieben. ◀

► Kontakt

Sulzer Hickham Inc.
Fernando Romero
11518 Old La Porte Rd.
La Porte, TX 77571
USA
Telefon +1 713 567 27 79
Fax +1 713 567 28 41
fernando.romero@sulzer.com