

Implementierung eines internen Wassernebel-Kühlsystems

Innovativer Doppelbetrieb

In einem einzigartigen Retrofit-Projekt ist es Sulzer Turbo Services gelungen, eine Dampfturbine für eine doppelte Nutzung nachzurüsten. Damit ist der Kunde nun in der Lage, im Sommer Strom zu erzeugen und im Winter Dampf an eine pharmazeutische Anlage zu verkaufen. Ausgerüstet mit fundiertem technischem Know-how, bietet Sulzer Turbo Services Lösungen für individuelle Probleme an.

Sulzer Turbo Services erhielt den Auftrag, eine Machbarkeitsstudie zur Implementierung eines Kühlnebelsystems für eine Dampfturbine in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage durchzuführen und ein entsprechendes System zu entwerfen. Ziel des Kunden war es, eine vollständige Entnahme des

Dampfes nach der zweiten Stufe zu ermöglichen, da es für das Unternehmen lukrativer ist, den Dampf im Winter an eine nahegelegene pharmazeutische Anlage zu verkaufen, als damit Strom zu erzeugen. Vorgesehen war daher eine Auskopplung des gesamten Dampfes nach der zweiten Turbinenstufe – aller-

dings nur in den Wintermonaten. Da die pharmazeutische Anlage im Sommer keinen Dampf benötigt, sollte die Turbine in dieser Zeit mit ihrer vollen Kapazität zur Stromerzeugung genutzt werden.

Dieser Doppelbetrieb (Winter und Sommer) stellte die Konstrukteure vor

In Wärmekraftwerken kann der Dampf für die Stromerzeugung, Heizung und chemische Prozesse verwendet werden. Die Ingenieure von Sulzer legen das Verhältnis nach den Bedürfnissen der Kunden aus.



© tamapapat | shutterstock.com

einige Herausforderungen. So würde die Turbine im Winterbetrieb ohne einen ständigen Dampfstrom durch die Stufen nach dem Entnahmepunkt mit Sicherheit überhitzen. Außerdem musste ein normaler Betrieb in den Sommermonaten möglich bleiben (d.h. Dampfstrom durch alle Stufen).

Die Lösung bestand aus einem internen Wasserebel-Kühlsystem und der dazugehörigen Leittechnik. Das einzigartige Retrofit-Projekt wurde 2007 realisiert, und die Turbine ist seitdem erfolgreich in Betrieb.

Diese Anwendung von Wasserebelvorhang-Technologien im großen Maßstab erforderte Weitblick und Ideenreichtum sowie klassische Ingenieurarbeit. So wurden zum Beispiel einige renommierte Experten zu Rate gezogen, um die mit Ventilationsverlusten verbundenen Probleme zu lösen.

Die Lösung erfüllte die Anforderungen des Kunden auf revolutionäre Weise und lieferte dem Unternehmen einen deutlichen Mehrwert verbunden mit einer größeren Flexibilität.

Realisierung einer vollständigen Dampfentnahme

Um die vollständige Auskopplung des Dampfes zu ermöglichen, wurde ein relativ einfaches System entwickelt, das gleichzeitig dafür sorgt, dass die Gehäusetemperaturen innerhalb sicherer Grenzen bleiben. Außer dem Leckagedampf, der durch die Labyrinthdichtung zwischen der zweiten und dritten Stufe dringt, wird kein zusätzlicher Dampf zur Kühlung benötigt. Kühlwasser wird ausschließlich in den Stufen 3 und 8 zugeführt.

Bild 1 zeigt einen Querschnitt durch die Turbine, bei dem die Wassereinspritzstellen grün hervorgehoben sind. Die erste Einspritzstelle befindet sich vor den Laufschaufeln der dritten Stufe. Hier wird das Kühlwasser in Form von

Wasserebel eingespritzt, um das Gehäuse optimal zu kühlen. Die zweite Einspritzstelle befindet sich hinter den Schaufeln der achten Stufe, wo das Kühlwasser fächerförmig eingespritzt wird. An verschiedenen Stellen wurden Thermoelemente zur Überwachung der Gehäusetemperatur und Sammler zur Ableitung von Kondenswasser aus der Turbine angeordnet. Um die gewünschte Kühlwirkung zu gewährleisten, werden in der dritten Stufe 0,7 und in der achten Stufe 1 bis 1,3 Liter Kühlwasser in der Minute benötigt.

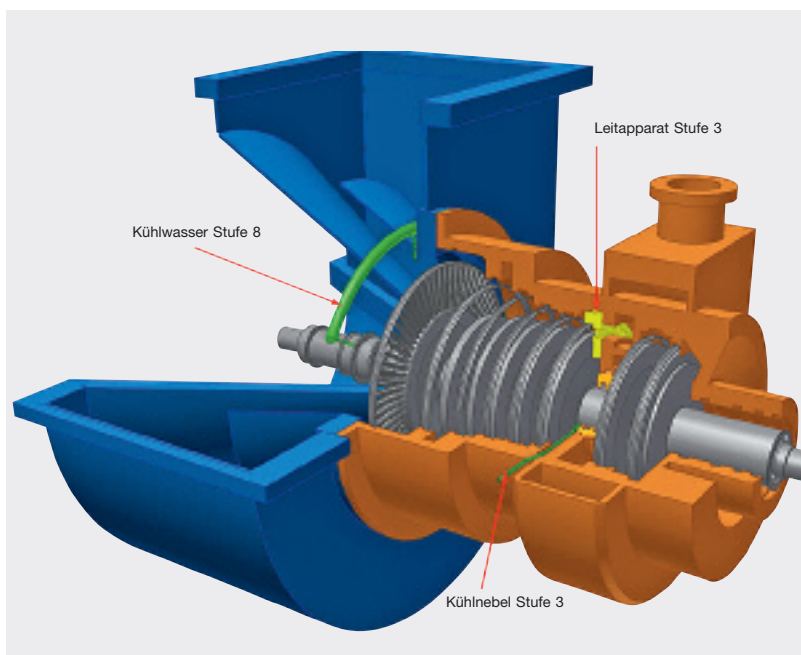
Damit sind die Anforderungen an die Kühlwasserzufuhr relativ gering. Der Durchfluss des Systems ist etwa um 25 bis 50% höher als der geschätzte Wert und wird über Nadelventile in der Nähe der Einspritzstellen gedrosselt. In der achten Stufe wird das Kühlwasser mit 4,13 bar eingespritzt, um der turbulenten Strömung von den Schaufeln entgegenzuwirken. Die Wassertemperatur liegt zwischen 39 °C und 42 °C.

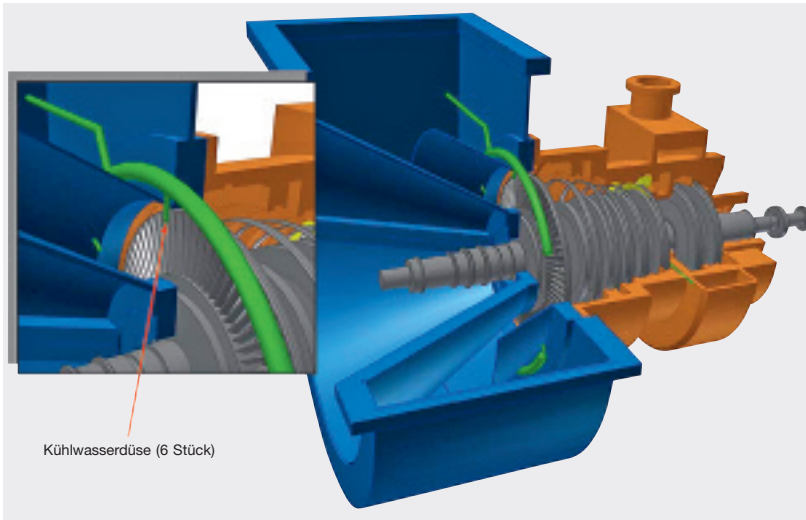
Technische Analyse

Bei der technischen Analyse wurden die Ventilationsverluste mithilfe von empirischen Formeln berechnet. Die Dampfzustände (Druck und Temperatur) in den einzelnen Turbinenstufen wurden auf der Grundlage von Erfahrungen mit diesem Konstruktionstyp näherungsweise ermittelt. Der Kühlwasserfluss wurde auf der Basis einer zulässigen Höchsttemperatur für das Turbinengehäuse von 300 °C für die Stufen 3 bis 6, von 188 °C für die Stufe 7 und von 85 °C für die Stufe 8 errechnet.

Die errechnete Leckage aus der Wellendichtung der dritten Stufe liegt für den einfachen bzw. doppelten Nennwert des Dichtspalts zwischen 6,3 und 16,8 l/min. Die doppelte Dichtspaltgröße diente hierbei als «Worst-Case-Szenario», zum Beispiel hervorgerufen durch übermäßigen Verschleiß oder Reibung. Die Berechnungen ergaben, dass die Kühlwasserzufuhr

1 Kühlnebel- und Sprühwasser-Einspritzstellen in der dritten und achten Stufe.





2 Verteilerrohr für die Wasserdüsen nach der achten Stufe.

zur dritten Stufe für alle betrachteten Leckagewerte auf einen Wert festgelegt werden konnte, ohne dass die Temperaturgrenzen der einzelnen Stufen überschritten werden.

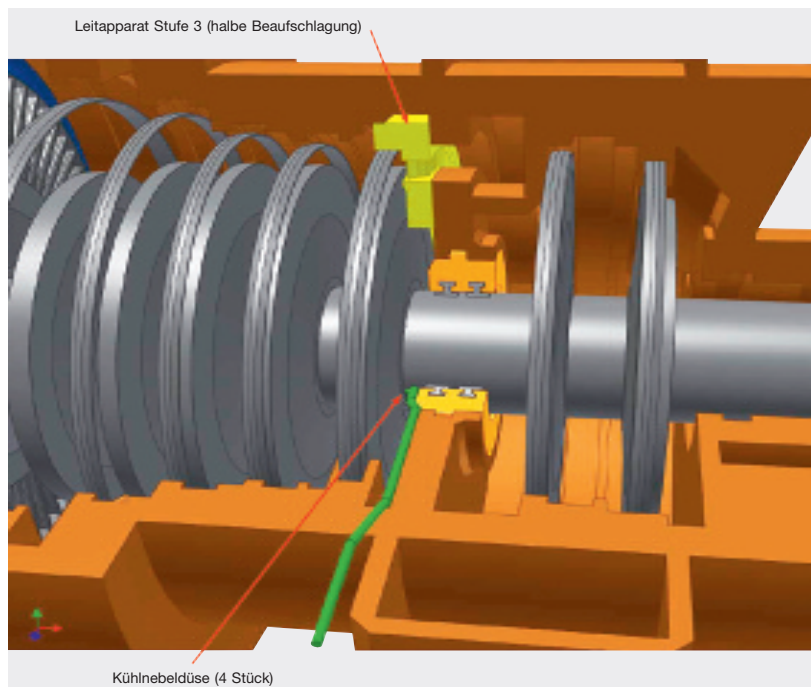
Lösung mit minimalem Eingriff

Bild 2 zeigt den Turbinenabschnitt mit dem Verteilerrohr und den Sprühdüsen aus einem anderen Blickwinkel. Um den Umfang des Verteilerrohrs sind in regelmäßigen Abständen sechs fächerförmige Sprühdüsen angeordnet. Die Düsen ragen etwa um eine halbe bis drei Viertel Schaufellänge hinter den Schaufelaus-

trittskanten in die Turbine hinein und sind auf die Schaufelplattform gerichtet. Eine Rohrleitung zur Versorgung des Verteilerrohrs wurde auf einer Seite des gefertigten Austrittsgehäuses angeschweißt.

Die Wasserzufuhr zur dritten Stufe ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Über eine Stichleitung gelangt das Wasser in die Nähe der Zwischenwände. Dank dieser Lösung kann das Wasser trotz der beengten Platzverhältnisse in der oberen Gehäusehälfte effektiv zu den Nebelköpfen gleiten und die Bearbeitung des Gehäuses minimiert werden.

3 Kühlnebelsystem der dritten Stufe.



Passende Regelungsstrategie

Für die Stufen 3 und 8 wurde eine getrennte Regellogik implementiert. Die Tatsache, dass der Kühlwasserfluss für die Stufe 3 konstant bleiben konnte, vereinfachte die Regelungsstrategie. Lediglich der Kühlwasserfluss für die achte Stufe musste mit geringer Variation geregelt werden, was mithilfe eines Ein/Aus-Thermostats mit einer recht breiten Totzone – ca. 85 °C ein, 65 °C aus – erreicht wurde.

Als geeignet erwies sich eine Regelungsstrategie, bei der der feste Kühlwasserzufluss eingeschaltet wird, wenn die Rückführventile der dritten Stufe die geschlossene Stellung fast erreicht haben. Die genaue Anstiegsrate und der Einschaltzeitpunkt wurden im Rahmen von einfachen Inbetriebnahmeprüfungen bestimmt.

Innovatives Engineering

Aufgrund der Kühlanforderungen in der dritten Stufe bestand die potenzielle Gefahr von Erosionsschäden in den nachfolgenden Stufen. Auch wenn die Erosionsrate nicht vorhersehbar war, wurden die Stirnflächen der Rotorscheiben und Schaufeln mit einer Erosionsschutzschicht versehen. Außerdem wurde dem Kunden eine regelmäßige Überprüfung der Rotorscheiben und Schaufeln auf Erosion empfohlen.

Mit innovativem Engineering ist es Sulzer Turbo Services gelungen, eine Lösung zu entwickeln, die es dem Kunden ermöglicht, seine Turbine in zwei Betriebsarten zu nutzen und somit einen bedeutenden Mehrwert und eine höhere Flexibilität zu erzielen. Nun wird die Turbine genutzt, um im Winter Dampf zu erzeugen, der verkauft wird, und im Sommer Strom zu produzieren.

Luis E. Rodriguez
 Sulzer Turbo Services Houston Inc.
 11518 Old La Porte Rd.
 La Porte, TX 77571
 USA
 Telefon +1 713 567-2776
 luis.e.rodriguez@sulzer.com

John O'Connor
 Sulzer Turbo Services Houston Inc.
 11518 Old La Porte Rd.
 La Porte, TX 77571
 USA
 Telefon +1 713 567-2773
 john.oconnor@sulzer.com