

Thermografische Prüfung von industriellen Gasturbinenteilen

Aufschlussreiche Hotspots

Die Lock-in-Thermografie ist eine vielseitige Prüfmethode zur Erkennung von Defekten in Gasturbinenteilen. Sulzer Turbo Services Venlo nutzt diese fortschrittliche Methode nicht nur zur Untersuchung von Turbinenkomponenten, sondern setzt sie auch als F&E-Instrument ein, um diese Komponenten zum Nutzen der Kunden weiter zu entwickeln und zu verbessern.

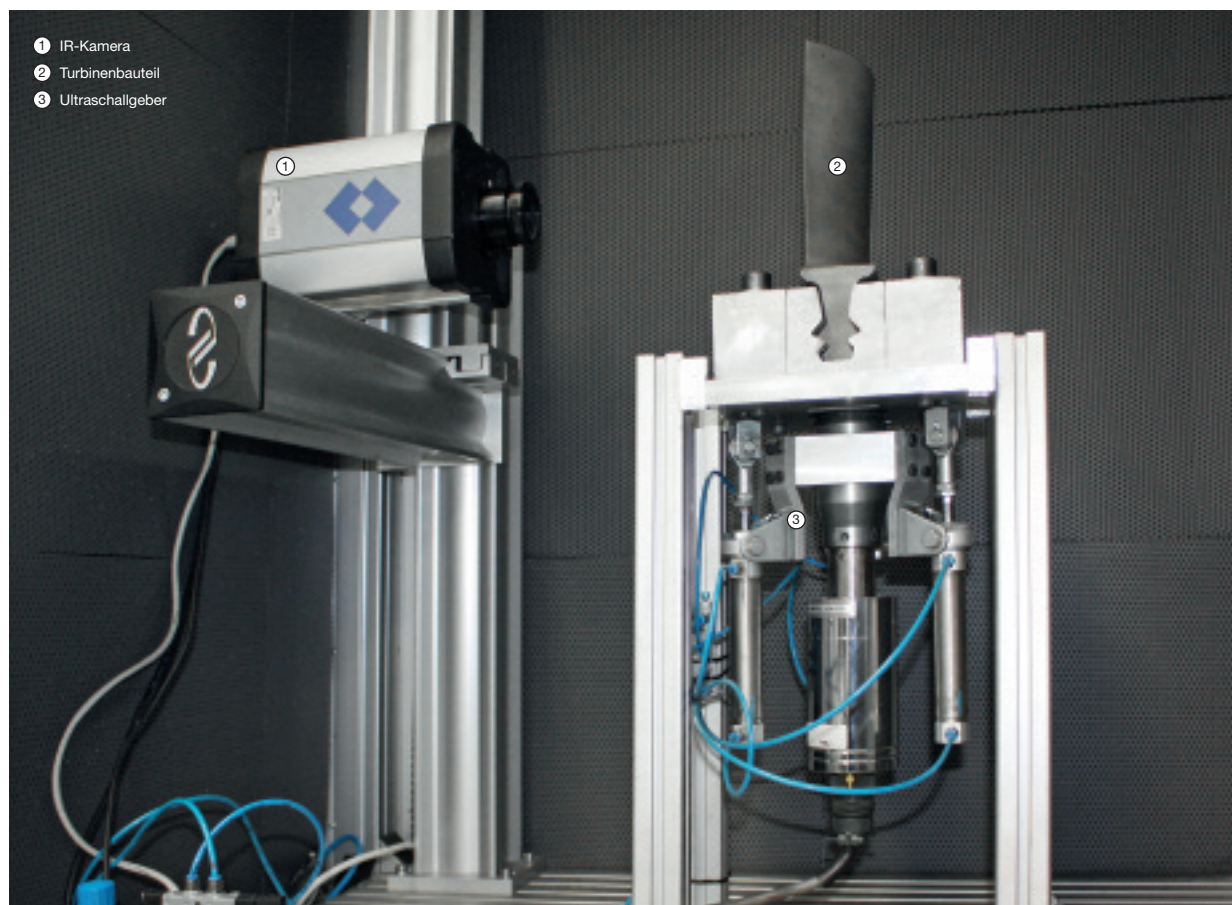
Die Erkennung von Defekten in Turbinenschaufeln ist eine wichtige Aufgabe des Lock-in-Thermografie-Systems bei Sulzer Turbo Services ¹. Dabei leitet ein Ultraschallgeber elastische Wellen (sich ausbreitende elastische Verformungen) in die Turbinenkomponenten. Bei homogenen Werkstoffen sind die reflektierten

Wellen gleichmäßig verteilt. An Schadstellen hingegen wird ein Teil der Wellenenergie absorbiert und Wärme erzeugt. Die Infrarotstrahlung dieser warmen Stellen (den sogenannten Hotspots) unterscheidet sich von den umliegenden Bereichen und kann von einer Infrarotkamera (IR-Kamera) erfasst werden ² (siehe Infobox).

Mit Infrarotbildern Defekte ermitteln

Durch Modulation der Ultraschallwelle wird der Wärmekontrast verstärkt und sowohl ein Amplituden- als auch ein Phasenbild der Turbinenkomponente erzeugt. Das Amplitudenbild ist ein Maß für die Temperatur und basiert auf der Temperaturleitfähigkeit. Das Phasenbild gibt Auskunft über die Größe und Tiefe

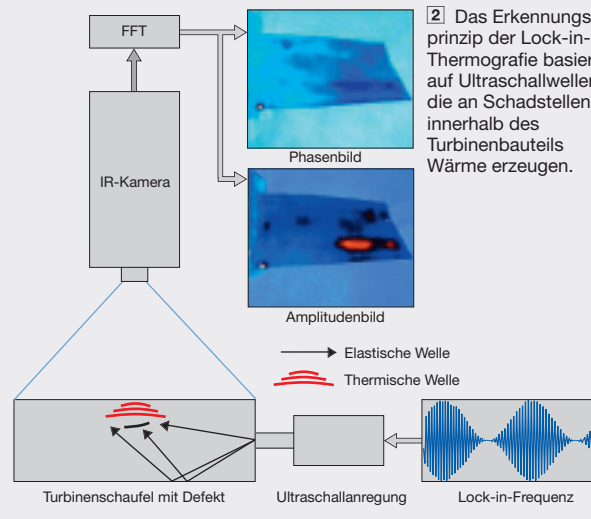
¹ Sulzer Turbo Services Venlo nutzt die Ultraschall-Thermografie zu Prüf- und Forschungszwecken im Turbinenbereich.



Thermografische Prüfung

Bei der thermografischen Prüfung wird die Wärmeverteilung in einem Objekt mithilfe einer Infrarotkamera gemessen und visualisiert. Dabei werden zwei Verfahren unterschieden:

- Die **passive Thermografie** misst die vorhandene Wärmestrahlung eines Objekts. Bekannte Anwendungen sind die Erkennung von Isolationsfehlern bei Häusern, Überhitzungen in Stromversorgungsanlagen und die Füllstandserkennung in Speicherbehältern.
- Bei der **aktiven Thermografie** wird Energie in das Objekt eingeleitet und seine Reaktion gemessen. Ein solches Verfahren ist die Lock-in-Thermografie, die Ultraschallwellen in das Objekt leitet.



2 Das Erkennungsprinzip der Lock-in-Thermografie basiert auf Ultraschallwellen, die an Schadstellen innerhalb des Turbinenbauteils Wärme erzeugen.

des Defekts. Die Phase ergibt sich aus einer Verschiebung zwischen dem Ausgangs- und Eingangssignal und hängt mit der Ausbreitungszeit bzw. -tiefe zusammen.

Die hellen Punkte im Phasenbild müssen genau untersucht werden, um festzustellen, ob es sich bei dem betreffenden Hotspot um einen Defekt handelt. Dazu wird das Sequenzprofil analysiert, das heißt die an einem Punkt gemessene Strahlungsmenge in Abhängigkeit von der Zeit berechnet. Das Sequenzprofil eines Defekts unterscheidet sich vom Profil anderer Wärmequellen wie zum Beispiel Reflektionen einer Lampe. Bei einem Defekt ähnelt die Resonanzkurve der Modulationsfrequenz der Anregung.

Unterscheidung zwischen inneren und äußeren Defekten

Mit dem Verfahren der Lock-in-Thermografie kann Sulzer Turbo Services Venlo strukturelle Defekte in Turbinenteilen erkennen. Dazu gehören beispielsweise Risse entlang der Korngrenzen, die durch Korrosion, Oxidation, mechanische Belastung oder Gießfehler verursacht werden.

Da Turbinenteile aus metallischen Legierungen hergestellt werden, ist die erzeugte Wärmesignatur nicht auf den eigentlichen Defekt begrenzt. Die Wärme wird weitergeleitet und erzeugt einen etwas schwächeren Hotspot, der größer ist als der eigentliche Defekt. Der Vorteil dieser Wärmeleitung ist, dass die Wärmesignatur von inneren Defekten als diffuse

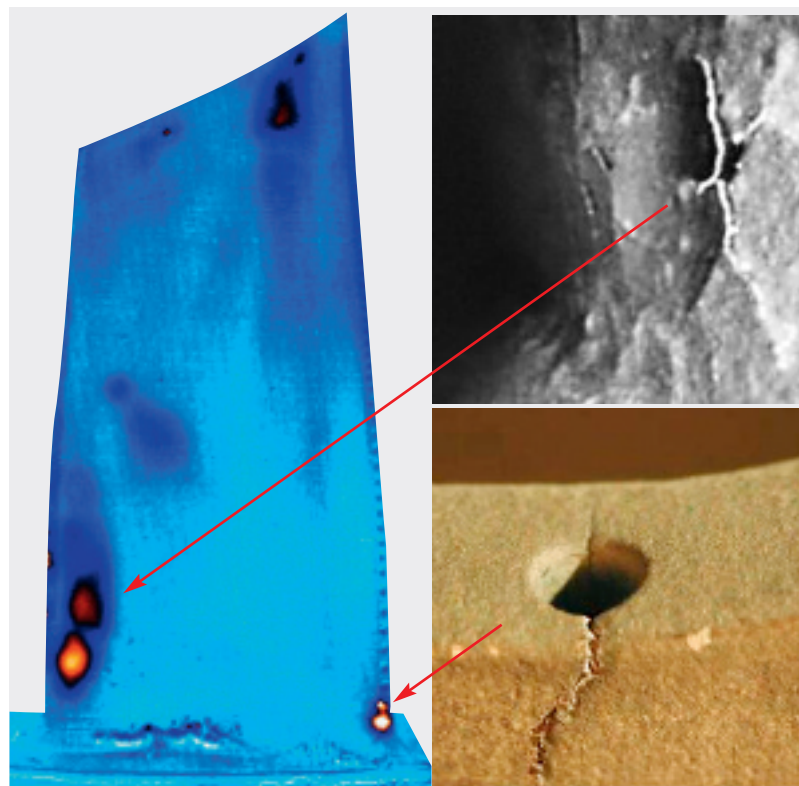
Wärmequelle an der Oberfläche erkennbar ist. Somit können mithilfe der ultraschallangeregten Lock-in-Thermografie sowohl äußere als auch innere Defekte erkannt werden. Bild 3 zeigt die Erkennung von Rissen an der Oberfläche und im Inneren einer Turbinenschaufel. Diese Methode bietet deutliche Vorteile gegenüber anderen Verfahren. So können etwa mit der fluoreszierenden Eindring-

prüfung (FPI) keine inneren Defekte erkannt werden, und eine boroskopische Untersuchung ist sehr zeitaufwändig.

Thermografische Prüfung von Beschichtungen

Mit der ultraschallangeregten Lock-in-Thermografie kann auch eine mangelhafte Bindung zwischen Bauteilen und metallischen Beschichtungen erkannt werden.

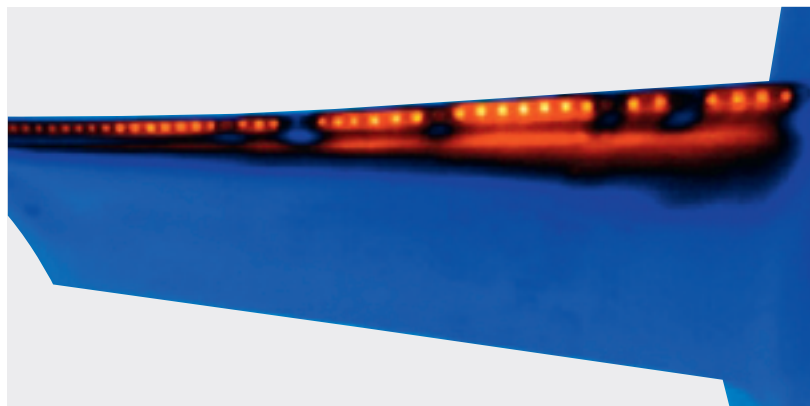
3 Die Ergebnisse einer thermografischen Prüfung lassen Schäden an einer Turbinenschaufel erkennen. Die obere Vergrößerung zeigt einen inneren Riss, die untere Vergrößerung einen Riss an der Oberfläche.





4 Kühlkanäle schützen Turbinenschaufeln vor hohen Temperaturen.

Die elastischen Wellen erzeugen Schwingungen im Bauteil. Bei einer korrekten Verbindung der Beschichtung mit dem Grundwerkstoff entsteht keine Reibungswärme. Eine unzureichende Bindung erzeugt dagegen Reibungswärme und führt zu einer hellen thermischen Signatur. Ein kürzlich durchgeführter Vergleich zeigt eine 100%ige Übereinstimmung der Befunde einer thermografischen Prüfung und einer herkömmlichen manuellen Ultraschalluntersuchung mit einer Sonde.



5 Die thermografische Messung an einer Turbinenschaufel zeigt offene und verstopfte Kühlkanäle.

Erkennung von verstopften Kühlkanälen

Bei Turbinenkomponenten spielt die Kühlung eine wichtige Rolle für den Schutz und die Lebensdauer der Komponenten 4. Daher muss bei der Instandsetzung von Leit- und Laufschaufeln sichergestellt werden, dass alle vorhandenen Kühlbohrungen offen sind.

Eine IR-Kamera zeigt auf einen Blick, ob dies der Fall ist.

Dazu wird warme Luft durch das Bauteil geblasen und die

Erwärmung des Bauteils mithilfe eines Wärmebilds visualisiert. Ein Beispiel einer solchen Aufnahme ist in Bild 5 dargestellt. Offene Kühlbohrungen erscheinen aufgrund der Erwärmung durch die warme Luft hellgelb. Verstopfte Kühlkanäle hingegen werden nicht erwärmt und erscheinen blauschwarz.

Forschung zur Effizienz von Kühlbohrungen

Sulzer hat ein Forschungsprojekt gestartet, um eine Methode zur Evaluierung der Effizienz von Kühlkanälen in Leit- und Laufschaufeln von Turbinen zu entwickeln. Die Ergebnisse des Projekts sollen weitere Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen der Geometrie der Kühlbohrungen und der Kühlwirkung liefern.

Die Forschungen basieren auf einem

Modell, das das niederländische National Aerospace Laboratory entwickelt hat. Dieses Modell beschreibt die Wärmeübertragung zwischen dem Verbrennungsgas, der Kühlluft und der Oberfläche des Bauteils. Zur Validierung des Modells baute Sulzer eine Prüfanordnung, die die Situation in der Turbine nachstellt, nur mit umgekehrten thermischen Bedingungen. Warme Luft

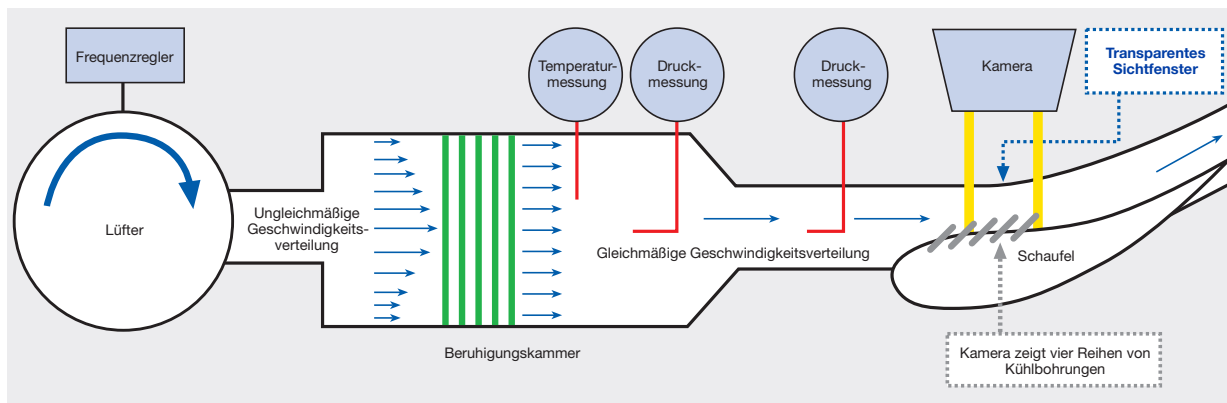
Die Forschungsergebnisse werden die Kühl-effizienz verbessern.

wird durch die Kühlkanäle geleitet, während kalte Luft an der Oberfläche des Bauteils entlangströmt. Die Parameter wurden entsprechend skaliert, um die richtigen Strömungsbedingungen sicherzustellen.

Validierung des Wärmeübertragungsmodells

Die Prüfanordnung 6 ermöglicht einen kontrollierten Luftstrom entlang der Schaufel. Die Temperatur und die Geschwindigkeit des heißen Luftstroms durch die Schaufel werden geregelt. Die Versuchsanordnung umfasst:

- Eine von einem Heizelement umgebene Schaufel
- Einen Kaltluft-Abschnitt
- Eine IR-Kamera, mit der die Wandtemperatur der Komponente gemessen werden kann



6 Die Prüfanordnung ermöglicht einen kontrollierten Luftstrom entlang der Schaufel.

Ein Beispiel für eine Messung ist in Bild 7 dargestellt. Die Homogenität der in vier Reihen zu je 10 Bohrungen angeordneten Kühlbohrungen ist deutlich anhand der Spitzentemperaturen zu erkennen. Diese Ergebnisse dienen als Eingaben für die Modellverifizierung im Rahmen des laufenden Forschungsprojekts.

Vielseitige Nutzung der Thermografie

Die Projekte von Sulzer zeigen, dass sich das Verfahren der Lock-in-Thermografie

zur Erkennung verschiedener Defekte eignet:

- Innere und äußere Risse in Turbinenschaufeln
- Korngrenzenanriffe in Turbinenschaufeln
- Korrosion in Turbinenschaufeln
- Abplatzung (Spallation) der Beschichtung
- Verstopfte Kühlbohrungen

Dank der hohen Empfindlichkeit der IR-Kamera können selbst kleinste Hotspots

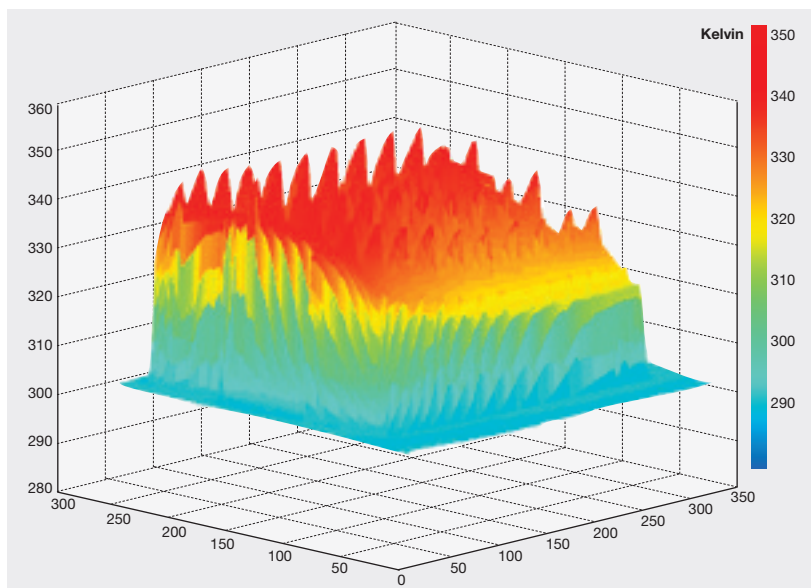
erkannt werden. Eine sorgfältige Analyse durch erfahrene Techniker ist wichtig, um zu entscheiden, ob kleinere Defekte

Mit der Ultraschall-Thermografie erweitern Ingenieure ihr Wissen über Turbinen.

noch innerhalb der zulässigen Grenzen liegen oder repariert werden müssen.

Neben der Fehlererkennung dient die ultraschallangeregte Lock-in-Thermografie als äußerst erfolgreiches F&E-Instrument und ermöglicht Ingenieuren, ihr Wissen über Turbinenkomponenten zu erweitern, Instandsetzungen zu verbessern und neue Designs mit hohem Kundennutzen zu entwickeln.

7 Die thermografische Analyse der Kühlbohrungen liefert wichtige Daten zur Verifizierung des Wärmeübertragungsmodells.



Jos Willems
Sulzer Turbo Services Venlo B.V.
Spikweien 36
NL-5943 AD Lomm
Niederlande
Telefon +31 77 473 85 16
jos.willems@sulzer.com

Marius van der Gun
Sulzer Turbo Services Venlo B.V.
Spikweien 36
NL-5943 AD Lomm
Niederlande
Telefon +31 77 473 86 43
marius.vandergun@sulzer.com