

Dichtigkeitsprüfung an Dampfturbinenkondensatoren

Anwendungsbericht

Einleitung

Turbinen zur Stromerzeugung werden, ungeachtet des verwendeten Brennstoffes, durch Dampf angetrieben. In einem Kessel wird Wasser erwärmt und in Dampf überführt, so dass die Turbine gedreht und dadurch wiederum der Generator angetrieben wird, der elektrischen Strom erzeugt. Nach Durchgang durch die Turbine wird der Dampf durch einen Kondensator geleitet, in dem er durch Abkühlen rekondensiert. Dieses Wasser wird zum Kessel zurückgeführt, um den Zyklus von vorn zu beginnen.

Der Wirkungsgrad dieses Verfahrens ist abhängig vom Druckgradienten zwischen Turbine und Kondensator. Ein Leck im System verringert die Druckdifferenz. Dies kann zu erheblichen Leistungsverlusten von mehr als einem Megawatt pro Turbine führen.

Die Lokalisierung solcher Leckagen in Kraftwerken gestaltet sich in der Regel sehr schwierig. Agilent Technologies, Vacuum Products Division, (ehemals Varian Vacuum Technologies) hat eine Lösung zur Lokalisierung von Leckagen entwickelt, die speziell an die anspruchsvollen Bedingungen dieser Anwendung angepasst ist.



Dampfturbinenbetrieb

Der Hochdruckbereich einer Turbine arbeitet bei Drücken von mehr als 165 bar, während der Arbeitsdruck im Niederdruckbereich bei 30 – 70 mbar liegt. Der Rücklaufdruck in der Turbine bestimmt den Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung aus Wasserdampf. Dieser beträgt in der Regel ungefähr 80 mbar. Verschlechtert sich das Vakuum durch Lufteintritt von außen, an undichten im Rohrleitungen Ventilen oder Problemen im Kühlsystem, kann der Wirkungsgrad des gesamten Systems rapide nachlassen.

Selbst die Ansammlung geringer Mengen nicht kondensierbarer Gase (Luft) beeinträchtigen den Wärmeübertrag im Kondensator und somit die Leistung. Große Mengen können den Kondensationsvorgang buchstäblich blockieren, was folglich zu einem erheblichen Anstieg des Rücklaufdrucks führt. Um übermäßige Ansammlungen zu vermeiden, werden in den meisten Kraftwerken Dampfstrahler und/oder Flüssigkeitsringpumpen eingesetzt, um die nicht kondensierbaren Gase zu beseitigen. Wenn diese Methoden einen zu großen Gaseintritt nicht kompensieren können, müssen die Leckagen geortet und abgedichtet werden.

Die am meisten verbreitete Methode der Feststellung von Lufteintritten ist die Verwendung von Helium als Prüfgas und einem Helium-empfindlichen Massenspektrometer. Verschiedene andere Methoden wurden mit mäßigem Erfolg angewandt, darunter Ultraschall-Lecksuchgeräte. Doch letztere funktionieren in der geräuschvollen Anlagenumgebung nicht und sind nur bedingt empfindlich.

Dichtigkeitsprüfung von Kondensatoren unter Verwendung von Helium

Ein Helium-Lecksuchgerät setzt sich aus einer Hochvakuumpumpe und einer Drehschieberpumpe zusammen, die die korrekten Vakuumbedingungen für ein kleines Massenspektrometer schafft.

In einem Massenspektrometer werden Gase anhand eines Magnetfelds ionisiert und beschleunigt. Das ionisierte Gas wird im Magnetfeld abgelenkt und dadurch spezifisch isoliert. Diese Methode gestattet die Detektion extrem geringer Heliumkonzentrationen und macht es somit ideal für die Dichtigkeitsprüfung von Kondensatoren. Helium wird um die Vakuumbereiche des Kondensators aufgesprüht (Abb. 1), während ein Massenspektrometer niedrige Gaskonzentrationen am



Abbildung 1: Typischer luftgekühlter Kondensator

Auslass der Entnahme oder anderen Stellen innerhalb des Vakuumbereichs des Kondensators misst.

Im Allgemeinen funktioniert die Dichtigkeitsprüfung mit Helium als Prüfgas sehr gut, weil die Leckagen, sobald sie gefunden werden, abgedichtet werden können. Anschließende Tests können den Erfolg der Abdichtung direkt belegen. Die Verwendung von Helium hat Vorteile, da das Gas ungiftig und nicht entzündlich ist, nicht mit anderen Chemikalien reagiert und sich auch bei kleinen Leckagen sehr schnell verbreitet. Die Heliummethode gestattet dem Wartungstechniker die Flexibilität, Dichtigkeitsprüfungen durchzuführen, während die Anlage in Betrieb ist, ohne dass der getestete Abschnitt isoliert werden muss.

Schwierigkeiten der Dichtigkeitsprüfung an Kondensatoren

Die Ortung der Leckage ist vergleichsweise einfach. Jedoch kann das Massenspektrometer hierbei aufgrund der Umgebungsbedingungen im Inneren des Kondensators beschädigt werden. Das Testgas ist sehr heiß, besteht hauptsächlich aus Wasserdampf und kann ätzend sein. Diese Bedingungen können das Lecksuchgerät häufig beschädigen.

Der Arbeitsdruck des Helium-Lecksuchers liegt normalerweise deutlich niedriger als der Druck, der im Kondensator herrscht. Daher wird eine spezielle Prüfsonde verwendet (gemeinhin Schnüffelsonde genannt), die Messungen bei Atmosphärendruck gestattet. Dies geschieht z. B. am Auslass des Pumpsystems, das zum Erzeugen des Vakuums im Kondensator verwendet wird. Der Einsatz einer herkömmlichen Schnüffelsonde ist jedoch auch als problematisch zu betrachten, da der Wasserdampf im Auslass des Kondensator-Pumpsystems direkt in das Lecksuchgerät gepumpt würde. Dies kann zu Schäden am Lecksucher führen. Zudem würde die Pumpleistung der Schnüffelsondenleitung durch den kondensierenden Wasserdampf schnell beeinträchtigt werden.

Wird eine Wasser-/Dampfstrahlpumpe zum Entleeren des Kondensators verwendet, ist der Anschluss einer herkömmlichen Schnüffelsonde nicht möglich. In diesem Fall wird normalerweise eine Hilfsvakuumpumpe direkt vor der Wasserstrahlpumpe eingesetzt, wobei die Schnüffelsonde am Auslass dieser Hilfspumpe eingesetzt wird. Diese Anordnung weist die gleichen Mängel auf, da

das Testgas immer noch große Mengen Wasserdampf enthält. Der Dampf muss mit Hilfe einer Trockenmittelpatrone oder einer Kühlfalle konditioniert werden.

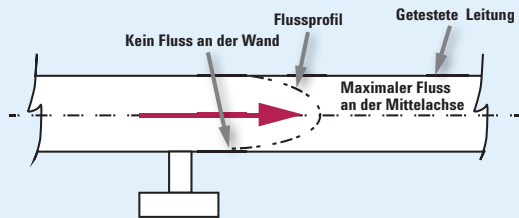
Dies erhöht die Kosten und die Komplexität des Verfahrens der Dichtigkeitsprüfung.

In einigen Fällen wurde eine permeable Membran in der Leitung verwendet, die das Lecksuchgerät mit der Kondensatorleitung verbindet. Während dies verhindern kann, dass Wasserdampf in das Lecksuchgerät eindringt, beschränkt es jedoch auch die Empfindlichkeit des Lecktests in hohem Maße und stellt das Verfahren dadurch in Frage. Hintergrund: Der Druck von 80 mbar in der Kondensatorleitung gewährleistet lediglich laminare Strömung. Die Gasdichte in der Leitung ist noch immer vergleichsweise hoch. Die mittlere freie Weglänge für ein Helium-Atom beträgt 2 mm. Ein beliebiges Helium-Atom kann sich also nur 2 mm bewegen, bis es mit einem anderen Gasmolekül zusammenstößt. Das im Gasstrom befindliche Helium wird daher vom Fluss mitgerissen. Die Wahrscheinlichkeit, dass es in das Lecksuchgerät gelangt, ist vergleichsweise gering. Damit ist die gesamte Messempfindlichkeit bei diesem Aufbau deutlich eingeschränkt.

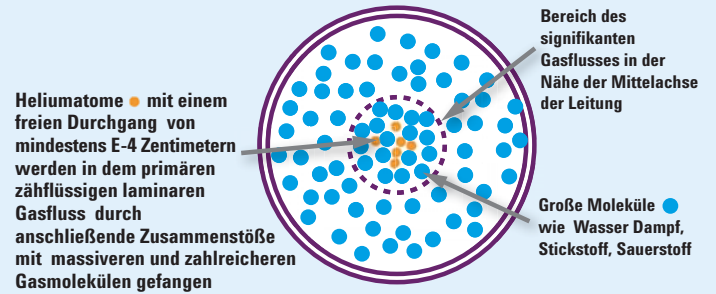
Mit anderen Worten erreicht das Helium auch bei vorliegender Leckage den Prüfanschluss nicht. Das hat zur Folge, dass das Lecksuchgerät die Leckage nicht erkennt. Diese Problematik wird in Abbildung 2 (A-D) nochmals graphisch verdeutlicht. A) Laminares Fließverhalten in einer Leitung, B) Die lokale Heliumkonzentration innerhalb des Flusses, C) Die Probenentnahme mit einer auf der Seitenwand der Leitung montierten Membran und D) Die Verwendung einer einführbaren Membransonde zur Probenentnahme in der Mitte der Leitung.

Des Weiteren ist zu beachten, dass die Lecksuche in einem großen, mehrstöckigen Kraftwerk stattfindet, in dem die Leckagen normalerweise in großer Entfernung vom Massenspektrometer liegen. Viele Helium-Lecksuchgeräte sind nicht mit einer Fernbedienung ausgestattet. Die Prüfung kann daher nur von zwei oder mehreren Personen durchgeführt werden. Eine Person sprüht Helium auf; ein zweiter beobachtet das Display des Lecksuchgeräts. Kommunikation ist aufgrund der Entfernung und des Geräuschpegels wenn überhaupt nur durch Funkgeräte möglich.

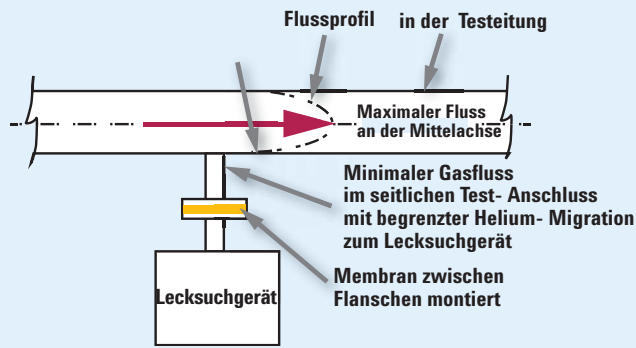
A – Laminares Fließverhalten in einer Leitung



B – Lokale Heliumkonzentration innerhalb des Flusses



C – Probenentnahme mit einer auf der Seitenwand der Leitung montierten Membran



D – Verwendung einer einführbaren Membran zur Probenentnahme in der Mitte der Leitung

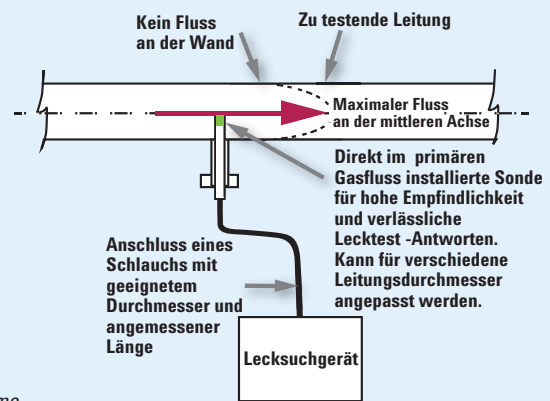


Abbildung 2: Charakteristiken des Gasflusses und die Auswirkung auf die Probenentnahme

Zusammenfassung

Erfolgreiche Lecksuche in Kraftwerken erfordert das Überwinden von drei kritischer Problemen:

1. Heißer Wasserdampf in der zu prüfenden Leitung
2. Erfassung von Prüfgas-Helium bei laminaren Fließbedingungen
3. Kommunikation mit dem Lecksuchgerät über große Entfernungen innerhalb des Kraftwerks

Die Lösung von Agilent

Um Helium-Lecksuche in der rauen Kraftwerksumgebung effektiv und sensitiv zu ermöglichen, hat Agilent eine spezielle Messsonde entwickelt, die auf diese Anforderungen zugeschnitten ist. Die Sonde von Agilent für schwierige Umgebungen VS Harsh Environment (HE) (Abbildung 3) ist darauf ausgelegt, im heißen Wasserdampf der Kondensatorleitungen ohne Trockner, Kühlung und ohne zusätzliche Vakuumpumpe oder Drosselventile zu arbeiten.

Die Sonde kann:

1. Am Auslass der Flüssigkeitsringpumpe am Kondensator positioniert werden,
2. Direkt an den Leitungen des zu testenden Systems angeflanscht werden (wie rechts abgebildet)

Die Sonde kann mit Hilfe einer verstellbaren Vakuumdurchführung (DN25KF) an der Leitung montiert werden, so dass die Sondenspitze in der Mitte der Leitung positioniert werden kann. Diese Position gewährleistet die höchste Heliumkonzentration in der Leitung und somit maximale Empfindlichkeit.

Schaden an Ausstattung oder Versagen aufgrund von Korrosion oder Wasser im Lecksuchgerät oder Verschleiß Pumpe werden ausgeschlossen.

Die HE-Sonde von Agilent widersteht Wasser und Aminien (ätzende Ammoniumderivate) und funktioniert bei Temperaturen von bis zu 95 °C. Die Sonde wird direkt an ein VS-Lecksuchgerät angeschlossen, ohne weitere Wasserabscheider oder Hilfspumpen.

Die Sonde besteht aus korrosionsfestem Edelstahlrohr (316L) mit einer permeablen Verbundmembran an ihrer Spitze. Die Membran ist durchlässig für Helium, während das Lecksuchgerät vor Wasserdampf geschützt wird.

Das VS-Helium-Lecksuchgerät verfügt über eine Option der drahtlosen Fernsteuerung, die es dem Prüfer gestattet, bis zu 100 Meter vom Lecksuchgerät entfernt zu arbeiten. (Die Übertragung kann durch Gebäudewände beeinträchtigt werden). Die drahtlose Fernsteuerung gibt einer einzelnen Person die Möglichkeit, die Lecksuche komplett eigenständig durchzuführen (Abbildung 4).

Abschließend kann es wünschenswert sein, Testdaten zu Berichts- und/oder Zertifizierungszwecke zu speichern. Wenn Helium auf eine Leckage am Kondensator aufgesprüht wird, dauert es oft eine Sekunden bis zu einer Minute bis das Helium durch das Lecksuchgerät erfasst und angezeigt



Abbildung 3: Agilent Sonde für schwierige Umgebungen und VS Helium-Lecksuchgerät

Techniker bei Verwendung des drahtlosen Fern-Lecksuchgeräts



Abbildung 4: Verwendung des drahtlosen Fern-Lecksuchgeräts

wird. Dies hängt ab von der Heliumkonzentration, dem Volumen des Kondensators bzw. der Leitung und der Entfernung zwischen Leckage und Detektor. Die Anzeige einer Leckage auf dem VS-Lecksuchgerät kann graphisch angezeigt und aufgezeichnet werden. Dies wird durch die Software, „Leak Test Data Wizard“ von Agilent ermöglicht. Das PC-gestützte Programm erleichtert ausgedehnte VS-Kontrollen und bietet Anzeigeoptionen sowie Datenerfassungsfunktionen.

Das Einsparpotential

Erfahrungsgemäß führen Leckagen zu einem Druckanstieg im Kondensator von etwa 16 mbar. Das Einsparpotential wird in diesem Fallbeispiel auf Basis dieses Wertes errechnet. Die Betriebseigenschaften jeder Anlage sind unterschiedlich. Dennoch stellt die folgende Rechnung eine typische Situation dar. *

1. In der Dokumentation Ihrer Turbine sollten sich Angaben zum Wirkungsgrad der Turbine in Abhängigkeit des Rücklaufdrucks zeigen [absoluter Kondensatordruck]. In diesem Beispiel wird eine Steigerung 0,3% angenommen, wenn der Druck im Kondensator von 80 auf 70 mbar gesenkt werden kann.
2. Bestimmen Sie die nötige Wärmeleistung der Turbine, die erforderlich ist, um eine kWh zu erzeugen. Ein typischer Wert liegt bei ca. 8500 BTU/kWh oder 9.000 kJ/kWh. (BTU: British thermal unit; 1 BTU entspricht 1.055 kJ).
3. Bestimmen Sie die Brennstoffkosten. Unter Annahme eines typischen Marktpreises von 4.00 \$ pro Million BTUs ergibt sich folgende Berechnung:

$$[0,003] [8500 \text{ BTU/kWh}] [\$4,00/10^6 \text{ BTU}] = 1,02 \times 10^{-4} \text{ \$/kWh}$$

Bei einer Nennleistung der Anlage von 250 Megawatt (250.000 kW) und einem Betrieb von 8000 Stunden pro Jahr summiert sich das auf:

$$[1,02 \times 10^{-4} \text{ \$/kWh}] [2,5 \times 10^5 \text{ kW}] [8 \times 10^3 \text{ hr/yr}] = \$204.000 \text{ oder } 157.00 \text{ € pro Jahr}$$

* Alle Angaben hängen von den Bedingungen auf Ihrer jeweiligen Anlage ab. Mit Hilfe dieser Rechnung lassen sich die potentiellen Einsparungen Ihre Anlage berechnen. (Berechnung durch Dekker Vacuum Technologies, Inc.)

Die Lokalisierung und Vermeidung von Leckagen mit dem VS-Lecksuchgerät und der HE-Sonde bietet ein bemerkenswertes Einsparpotential, deren Investition sich schon nach der ersten bezahlt machen kann. Für weitere Informationen wenden Sie sich bitte an Agilent Technologies. Ihr persönlicher Vertriebsingenieur berät Sie auch gerne bei einem Besuch bei Ihnen vor Ort. Sie erreichen uns unter:

Agilent Technologies

Sales & Services GmbH & Co.KG - Vacuum Products Division

Lyoner Str. 20 - 60528 Frankfurt - GERMANY - Tel.: +49 (0)69 6773 43 2230 - Fax.: +49 (0)69 6773 43 2250

Toll free Tel. 00800 234 234 00 - Toll free Fax 00800 345 345 00 - www.agilent.com/chem/leakdetection

Technische Daten der HE-Sonde:

Kriterien	Technische Daten
Betriebstemperaturbereich	+10 °C bis +95 °C
Lagertemperaturbereich	-18 °C bis +65 °C
Betriebsvakuumdruck	1000 mbar – 0.001 mbar
Max. interner Überdruck	1 bar
Sondenlänge	450 mm, Schlauch hochdichtes Polyethylen, 5 Meter
Gewicht der Sondengruppe	0,5 kg
Anschlussgröße des Schlauchs	½" (12,7 mm) Swagelok™ -Druckanschluss oder gleichwertig
Vakuumflansche	DN 25 KF
Adapterflansch O-Ring	Butylkautschuk, Parker B2-016 oder gleichwertig
Chemische Beständigkeit	Die Sonde widersteht praktisch allen Chemikalien außer komplexen Halogenverbindungen.

Agilent haftet nicht für hier enthaltene Fehler oder für Unfall- oder Folgeschäden in Verbindung mit der Lieferung, Leistung oder Verwendung dieses Materials.

Informationen, Beschreibungen und technische Angaben in dieser Ausgabe unterliegen Änderungen ohne Vorankündigung.

© Agilent Technologies, Inc., 2013

