



# WHITE PAPER

AUSWAHL DES GEEIGNETEN TURBINENÖLES  
BEGINNEN SIE MIT DEN BESTEN TESTMETHODEN,  
UM SICH EINEN GESAMTEINDRUCK ZU VERSCHAFFEN



Dem Fortschritt voraus.™

# ZUSAMMENFASSUNG

Durch die Umstellung auf Grundöle der Gruppe II weisen die Formulierungen für Gasturbinenöle nun eine verbesserte Oxidations- und thermische Beständigkeit auf. Diese Umstellung hat jedoch auch zu einer schlechteren Löslichkeit und der teuren Nebenwirkung einer vermehrten Verlackung geführt.

Die Betreiber müssen jetzt erst recht die geeignete Turbinenflüssigkeit auswählen, die eine Verlackung verhindert. Dazu muss die Branche neue Flüssigkeitstestmethoden anwenden, denn für den Vergleich von Turbinenölen hat es sich als wenig effektiv erwiesen, wenn man sich nur auf den RPVOT-Oxidationstest ((RPVOT= Rotating Pressure Vessel Oxidation Stability Test) verlässt. So könnten falsche Informationen dazu führen, dass die Betreiber eine weniger leistungsfähige Flüssigkeit für ihre Gasturbinen auswählen.

Mithilfe des vorliegenden Whitepapers soll erklärt werden, wie sich Turbinenöle verändert haben, warum manche Testmethoden als alleinige Beurteilungswerkzeuge zur Leistungsvorhersage nicht effektiv sind und welche Tests bei der Messung des Verlackungspotenzials zu genaueren Ergebnissen führen.

## Das Problem der Verlackung

Für die Betreiber und Wartungsmanager von Erdgasturbinen stellt die Verlackung ein Problem dar, das sich auch weiterhin negativ auf die betriebliche Effizienz und die mechanische Leistung auswirkt und so Folgendes begünstigt:

- Unterbrechung der Zirkulation
- vermehrter Verschleiß und zunehmende Korrosion
- Anlagenausfälle und infolgedessen Ausfallzeiten

Aufgrund des zyklischen Erwärmens und Abkühlens sind Spitzenlasteinheiten besonders anfällig für Verlackungen.

Verlackung ist in Maschinen auch früher immer schon mal aufgetreten, aber in der letzten Zeit ist sie zu einem größeren Problem geworden, das in den Griff zu bekommen ist.

Einer der Hauptgründe für die deutliche Zunahme der Verlackung ist, dass im Gegensatz zu herkömmlichen Produkten auf Basis von Grundölen der Gruppe I der Großteil der modernen Turbinenöle aus hochausraffinierten Grundölen der Gruppe II besteht. Die Umstellung hat für die Hersteller eine Reihe von Vorteilen mit sich gebracht, z. B. die Möglichkeit, komplexere und effektivere Antioxidantien einzusetzen, die eine bessere Oxidations- und Temperaturbeständigkeit aufweisen als bei der Verwendung in Grundölen der Gruppe I.

Die neuen leistungssteigernden Eigenschaften sind für Gasturbinen, also für die anspruchsvollste Anwendung für Turbinenöle, unerlässlich. Sie stellen auch den am schnellsten wachsenden Markt für Stromerzeugung in Nordamerika dar, was deutlich macht, wie wichtig es ist, sich auf diese Kategorie der Formulierungen zu konzentrieren.

Trotz der besseren Oxidationsbeständigkeit ist das schlechtere Lösungsvermögen eine unerfreuliche Nebenwirkung der Verwendung von Grundölen der Gruppe II. Beim sogenannten Hydrocracking, dem Herstellungsprozess dieser Grundöle (durch den die Oxidationsbeständigkeit verbessert wird), werden die Verbindungen entfernt, die ansonsten helfen würden, das Öl besser löslich zu machen. Daher wird von

den Additivherstellern verlangt, dass sie ihre Produkte entsprechend anpassen, damit die Zusatzstoffe in der Lösung verbleiben.

Ein weiterer Grund für die zunehmende Verlackung ist, dass die Gasturbinenöle immer mehr Funktionen in immer anspruchsvolleren Umgebungen übernehmen müssen.

Da die Metallurgie sich ständig weiter entwickelt, steigen die Effizienz und die Brenntemperaturen von Gasturbinen auch weiterhin an. Es gibt Industrieturbinen, bei denen das Ölsystem gleichzeitig für die Schmierung der Turbinenlager, der Generatorlager, die Öleinspritzung für Luftverdichter, des Ölfördersystems, des Schnellschlussölkreises, der Wasserstoff-Verdichter des Generators, der Lastgetriebe sowie einer Vielzahl von Servoventilen innerhalb des Hydraulikkreislaufs sorgt.

Während die Geräte für die Stromerzeugung von effizienteren Turbinen und ihrer entsprechenden Leistung profitieren, nehmen die Anforderungen an das Turbinenöl und die Belastung des Turbinenöls zu. Die Hersteller müssen Turbinenöle mit einer besseren Leistung entwickeln, da höhere Temperaturen zu einer schnelleren Oxidation führen, was zahlreiche Probleme mit den Schmierstoffen mit sich bringt, z. B. eine höhere Viskosität, Verlackung, Schlamm- und Additivverlust, Zersetzung von Grundölen, Verstopfung von Filtern, Verlust der Schaumkontrolle, Anstieg der Säurezahl, Rostbildung und Korrosion.

„Die Hersteller müssen Turbinenöle mit einer besseren Leistung entwickeln, da höhere Temperaturen zu einer schnelleren Oxidation führen, was zu zahlreichen Problemen mit Schmierstoffen führt...“

## Holen Sie sich das richtige Öl, indem Sie andere Parameter zur Leistungsbewertung zugrunde legen

Es kann gar nicht genug betont werden, wie wichtig eine sorgsame Auswahl des geeigneten Öles ist. Es gibt keine Hinweise darauf, dass Anlagenhersteller (OEMs) planen, wieder Öle der Gruppe I zu verwenden. Tatsächlich wird es immer wahrscheinlicher, dass sogar noch höher raffinierte Öle verwendet werden, z. B. Öle der Gruppen III und IV. Unverändert bleiben ebenso die einzuhaltenden Anforderungen an die Turbinen und die Betriebsbedingungen.

Daher werden die Betreiber von Gasturbinen bei der Auswahl des geeigneten Öles auch weiterhin darauf achten müssen, dass dieses zu so wenig Verlackung wie möglich führt. In diesem Sinne lohnt es sich zu untersuchen, wie die Betreiber ihre Öle auswählen, um sicherzustellen, dass ihre Methoden sich an den neuesten auf dem Markt verfügbaren Formulierungen orientieren.

„... es lohnt sich zu untersuchen, wie die Betreiber ihre Öle auswählen, um sicherzustellen, dass ihre Methoden sich an den neuesten auf dem Markt verfügbaren Formulierungen orientieren.“

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt beschäftigen sich die Betreiber mit Testverfahren und Leistungsbewertungen. Häufig werden diese von dem Anlagenhersteller vorgegeben, um ein Turbinenöl auszuwählen, das vor Oxidation und Verlackung schützt. Dem Vernehmen nach ist eine auf Daten basierende Beurteilung der logischste Ansatz für eine Entscheidungsfindung. Gleiches gilt für einen Feldversuch. Die Betreiber und Wartungsmanager müssen sich darauf verlassen können, dass sie das Ausfallrisiko durch ihre Investition gering halten können.

Das Problem liegt nicht nur im Ansatz der Entscheidungsfindung selbst begründet, sondern auch darin, was die Industrie immer noch als grundlegenden Test akzeptiert, um zu messen, welche Eigenschaften das Öl haben wird. Obwohl er als Benchmarking-Instrument zur Messung der Ölperformance immer noch sehr wertvoll ist, ist der spezielle RPVOT-Oxidationstest zur Vorhersage des Gebrauchsverhaltens aktueller Gasturbinenölformulierungen nicht so brauchbar. Allerdings eignet er sich sehr gut für den Vergleich verschiedener Systeme über die Zeit.

## Erneute Überprüfung des RPVOT-Oxidationstests für Gasturbinen

Beim RPVOT-Oxidationstest handelt es sich um eine beschleunigte Alterungsprüfung zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit frischer und gebrauchter Schmierstoffe mit gleicher Zusammensetzung. Dieser Test wurde in den 1960er Jahren als ASTM-Norm etabliert und ist nun die faktische Messung, mit der die Endbenutzer die Restnutzungsdauer von Turbinenölen bestimmen können.

Der RPVOT-Test wird durchgeführt, indem man den Schmierstoff zusammen mit Wasser und einem Kupferkatalysator in einen mit einem Druckmessgerät ausgestatteten Druckbehälter gibt. Der Behälter wird dann mit Sauerstoff bis zu einem Wert von 620 kPa (90 psi) unter Druck gesetzt. Anschließend wird er bei 150 °C in ein Ölbad oder in einen Trockenblock mit 150 °C gelegt, worauf man ihn mit 100 U/Min. axial rotieren lässt. Als Messergebnis wird die Zeitspanne angegeben, bis der Druck um 175 kPa (25,4 psi) unter den Maximaldruck abfällt.

Der Druckabfall zeigt an, dass Sauerstoff durch Reaktion mit den Schmierstoffkomponenten verbraucht wurde. Wie viele Minuten bis zu dem erforderlichen Druckabfall vergehen, ist ausschlaggebend für die Ermittlung der Oxidationsbeständigkeit des Schmierstoffs. Bei älterer Technologie und bei Turbinenölen, die auf Gruppe I basieren, hat sich diese Testmethode bei der Vorhersage der Ölleistung als nützlich erwiesen. Turbinenflüssigkeiten der neuen Generation zersetzen sich jedoch nichtlinear und unvorhersehbar. Dies kann auf die einzelnen Antioxidantien sowie auf die natürlichen oxidationsbeständigen Eigenschaften der Grundöle der Gruppe II zurückgeführt werden. Daher gibt der RPVOT nur wenig bis gar keinen Aufschluss darüber, wann die Zersetzung des Schmierstoffes beginnen und wann es zu Ablagerungen im System kommen wird. Daher werden im Lauf der Zeit verschiedene Tests sowie Trendanalysen durchgeführt, um sich einen Gesamteindruck verschaffen zu können. Dies macht aus verschiedenen Gründen Sinn. Hier seien zwei Gründe genannt:

1. Manche Antioxidantien, die im RPVOT-Test zu sehr hohen Werten führen, könnten bei Erschöpfung auch große Mengen nichtlöslicher Bestandteile hinterlassen und damit einen direkten Zusammenhang mit der Verlackung des Schmierstoffs aufzeigen. Daher tragen diese Stoffe, die im RPVOT zu sehr hohen Werten führen, in manchen Fällen zu einem höheren Verlackungspotenzial in Gasturbinen bei.
2. RPVOT-Werte können durch das Hinzufügen von Korrosionsinhibitoren und Metallpassivierungsmitteln erheblich beeinflusst werden. Diese Art von Additiven kann die Wirkung des primären Katalysators im Rahmen des RPVOT-Tests aufheben, eine Kupferwendel die Testergebnisse verbessern und einen falschen Hinweis auf die Oxidationseigenschaften der Flüssigkeit geben. Deshalb werden noch weitere Oxidationsprüfungen durchgeführt. Korrosionsinhibitoren werden normalerweise ziemlich schnell wieder aus dem Turbinenöl ausgeschieden, sobald die Turbinen laufen, da sie polar sind und die Metalloberflächen mit einem Schutzfilm überziehen. Bei manchen Turbinenölformulierungen tritt meist im ersten Jahr der Verwendung aufgrund einer Erschöpfung der Korrosionsinhibitoren ein starker Abfall der RPVOT-Werte auf. Eine RPVOT-Retention ist ein viel stärkerer Indikator für die Leistung des Turbinenöls, als es die ursprünglichen RPVOT-Ergebnisse<sup>1</sup> sind.

<sup>1</sup> Livingstone, G., Arneye, J., & Thompson, B. (2010). „Überdenken der Instandhaltungs-Strategien für moderne Turbinenöle“ *Maschinenschmierung*.



Um es ganz deutlich zu sagen: Der RPVOT-Test muss nicht ganz verworfen werden. Die Ergebnisse dieser Prüfung ermöglichen einen qualitativ hochwertigen Vergleich von Chargen mit gleicher Zusammensetzung. Die Betreiber können (und sollten) diese Prüfung verwenden, um die grundlegenden Flüssigkeitseigenschaften zu Beginn der Verwendung des Öls zu testen und, im Lauf der Zeit, die Oxidationswirkung auf diese Eigenschaften zu verfolgen. Des Weiteren wird ein RPVOT-Test empfohlen, wenn es ein Reservoir mit verschiedenen Marken oder Formulierungen von Turbinenölen gibt. Diese Prüfung sollte Bestandteil einer umfassenden Testliste sein, mit deren Hilfe der Zustand der Flüssigkeit ermittelt werden kann. RPVOT-Ergebnisse können auch als Teil eines Gesamtanalyseprogramms für Gebrauchöle derselben Zusammensetzung verwendet werden.

Über einen bestimmten Punkt hinaus ist der RPVOT-Test jedoch für die Bewertung der relativen Langlebigkeit verschiedener Formulierungen für Gasturbinenöle nicht länger hilfreich. Daher sollte RPVOT nicht die einzige Bewertung sein, um konkurrierende Schmierstoffe miteinander zu vergleichen.

**„Um es ganz deutlich zu sagen: Der RPVOT-Test muss nicht ganz verworfen werden. Die Ergebnisse dieser Prüfung ermöglichen einen qualitativ hochwertigen Vergleich von Chargen desselben Produkts.“**

Übrigens: Der RPVOT war niemals für den Leistungsvergleich verschiedener Formulierungen vorgesehen. Tatsächlich ist die Methode insbesondere nicht für den Vergleich von Ölen unterschiedlicher Zusammensetzung gedacht. Gemäß ASTM D2272 – RPVOT-Test (Rotating Pressure Vessel Oxidation Stability Test) Standardtestverfahren für Oxidationsbeständigkeit von Dampfturbinenölen gilt:

„Die Schätzung der Oxidationsbeständigkeit [anhand dieser Prüfung] dient der Kontrolle der Kontinuität dieser Eigenschaft für die Chargenakzeptanz von Fertigungschargen derselben Art. Diese Testmethode soll die Testmethode ASTM D943 weder ersetzen, noch sollte sie verwendet werden, um die Nutzungsdauer frischer Öle mit unterschiedlicher Zusammensetzung zu vergleichen. Diese Testmethode dient auch dazu, die verbleibende Oxidationstestdauer im Einsatz befindlicher Öle zu bewerten.“

Der Wunsch nach einer Formulierung mit einem hohen RPVOT-Wert ist verständlich, jedoch nicht, wenn dieselbe Formulierung zu Verlackungen führt, die für ein Turbinensystem viel schädlicher sind. Heute sind sich die Experten einig, dass es besser ist, eine Formulierung mit sehr niedrigen Verlackungs- und Verschlammungstendenzen auszuwählen.

## Bessere Tests für die Vorhersage der Leistung von Flüssigkeiten der Gruppe II

Nachdem man herausgefunden hat, dass für die Auswahl eines Gasturbinenöles die Nennwerte aus einem RPVOT-Test nicht ideal sind, werden alternative Nennwerte benötigt, um die Lücke zu füllen. Im Verlauf der Jahre haben sich verschiedene Tests als wertvoll erwiesen und Experten empfehlen eine Kombination aus neuen und alten Tests zur Bestimmung des geeigneten Turbinenöles.

### ASTM D7843 Test – Messung unlöslicher aus dem Öl stammender Farbpartikel bei in Gebrauch befindlichen Turbinenölen durch Einsatz des MPC-Tests (Membrane Patch Colorimetry)

*Hierbei wird die Menge der im Öl enthaltenen nichtlöslichen Abbauprodukte gemessen.*

Dies ist eine relativ neue Labormethode, bei der nichtlösliche Verunreinigungen aus der Probe eines verwendeten Turbinenöls auf eine Filter-Membran aufgebracht werden. Die Farbe des Flecks wird mithilfe eines Spektrophotometers analysiert.

Dieser Test kann als Leitfaden in Bezug auf die Bildung von durch Schmierstoffe verursachte nichtlösliche Rückstände verwendet werden. Dieser Test gilt als hochempfindlich und zuverlässig für die Erkennung von geringfügigen Abweichungen in Bezug auf die Menge nichtlöslicher Anteile und bietet die Möglichkeit der Vorhersage einer Verlackung. Die Ergebnisse sollen als Trendwerkzeug für die Zustandsüberwachung verwendet werden.

### ASTM D6971 – Messung des Gehalts gehinderter phenolischer und aromatischer aminischer Antioxidantien in zinkfreien Turbinenölen mithilfe der Linear Sweep-Voltammetrie (LSV) oder RULER®

*Misst gehinderte phenolische und aromatische Amin-Antioxidantien in Schmierstoffen.*

Die Voltammetrie ist oftmals das Mittel der Wahl, wenn es um die Messung von Antioxidantien geht, da es sich hierbei nicht um einen Labortest, sondern um einen Feldversuch handelt. Antioxidantien sind mitunter die ersten Bestandteile der Formulierung des Turbinenöls, die von thermischer, oxidativer und mechanischer Beanspruchung beeinträchtigt werden und einen frühen Hinweis auf eine beginnende Unbrauchbarkeit der Flüssigkeit geben. Wenn sie für das neue Öl kalibriert werden, kann die verbleibende Konzentration an Antioxidantien bestimmt werden, um die verbleibende Oxidationsdauer des Schmierstoffs zu schätzen.

Es wurden Tests entwickelt, mit denen sich die Oxidationsreserve (der verbleibende Schutz) und der Oxidationsfortschritt (der Umfang aufgetretener Oxidation) messen lassen. Beide Testmethoden haben ihre Vorteile und die Effektivität dieser Tests hängt von der Verwendung der entsprechenden Flüssigkeit ab. Wenn man versteht, wie die

Flüssigkeit mit dem Oxidationsproblem zusammenhängt, kann man die Ursache der Flüssigkeitsoxidation besser beheben. Der Schmierstoffspezialist sollte mit den verfügbaren Messwerkzeugen und deren Anzeigen vertraut sein. Deshalb kann man sich mit dieser Quelle der Flüssigkeitsoxidation beschäftigen und sie möglicherweise sogar reduzieren.

### Ultrazentrifugentest

*Herausragender Indikator für das Verlackungspotenzial*

Beim Ultrazentrifugentest wird eine Schmierstoffprobe, die durch Öl verursachte nichtlösliche Verunreinigungen enthält, die normalerweise mit dem Verlackungspotenzial assoziiert werden, g-Kräften ausgesetzt. Nichtlösliche Verunreinigungen weisen meist eine höhere Dichte auf und werden bei dem Test ausgefällt. Dieses agglomerierte Material wird mit einer Bewertungsskala verglichen, um einen UZ-Wert zu erhalten (Bewertung von 1 bis 8).

### ASTM D445 Test – Kinematische Viskosität transparenter und opaker Öle

*Misst den inneren Widerstand des Öls, bei einer bestimmten Temperatur zu fließen (oftmals mm<sup>2</sup>/s bei 40 °C).*

Dieser altbewährte Test ist immer noch von unschätzbarem Wert. Die Viskosität ist eine der wichtigsten Eigenschaften eines Öls, weil die Stärke des Ölfilms unter hydrodynamischen Schmierbedingungen in hohem Maße von den Viskositätseigenschaften des Öls abhängig ist.

### ISO 4406 – Methode zur Codierung der Menge der Verunreinigung durch Feststoffe (Reinheitsklasse)

*Quantifiziert einen bestimmten Verunreinigungsgrad pro Milliliter an Flüssigkeit.*

Dies ist ein wichtiger Leistungstest und eine wichtige Trendanalyse für alle Turbinenflüssigkeiten. Hiermit wird die Gesamtreinheit der Flüssigkeit bestimmt.

### ASTM D943 – Oxidationseigenschaften inhibierter Mineralöle (Turbine Oil Stability Test – TOST)

*Bewertet die Oxidationsbeständigkeit des Schmierstoffs und testet dabei „frische“ Eigenschaften des Turbinenöls.*

Mithilfe dieses Tests versucht man, die erwartete Nutzungsdauer und Leistung des Turbinenöls zu bestimmen, indem das Testöl einer Oxidationsbelastung durch Sauerstoff unterzogen sowie hohen Temperaturen, Wasser und Metallkatalysatoren ausgesetzt wird, was die Bildung von Schlamm und Säure begünstigen könnte. Weil es nicht möglich ist, tatsächliche Betriebsbedingungen in einem Labor zu simulieren, ist die Korrelation zwischen

den Testergebnissen und dem tatsächlichen Feldergebnis schwierig. Als solches greifen die meisten Turbinenhersteller in ihren Spezifikationen auf diesen Test zurück, um hochriskante Turbinenflüssigkeiten herauszufiltern. Dieser Test berücksichtigt auch keine anderen Anzeichen für eine Verschlechterung, wie z. B. Schlamm- oder Korrosionsbildung der Katalysatorspule. Der Test ASTM D4310 wird für Schlammmessungen verwendet.

### FTM-791-3462 Verkokungsneigung von Schmierölen

*Bewertet die thermische Oxidationsbeständigkeit frischer Turbinenöle auf heißen Oberflächen.*

Dieser Test wird bei einer bestimmten Temperatur und zu einer bestimmten Zeit sowie mit einem konstanten Durchfluss durchgeführt. Die Schmierstoffprobe wird im Testzeitraum auf das heiße Feld getropft. Schlamm und Verlackungsrückstände lagern sich auf den Platten ab, sodass am Ende des Tests ein visueller Vergleich vorgenommen und die Verlackungsrückstände/ Ablagerungen gewogen werden können.

### ASTM D3427 – Luftabscheidevermögen von auf Kohlenwasserstoff basierenden Ölen

*Bewertet die Fähigkeit von Turbinenölen, enthaltene Luft abzuscheiden.*

Manche Gasturbinenhersteller geben Grenzen für das Luftabscheidevermögen in ihren Spezifikationsanforderungen für frisches Öl an. Diese Grenzwerte werden als die Zeit definiert, in der die in der Flüssigkeit enthaltene Luft unter den Testbedingungen und bei der angegebenen Temperatur auf ein Volumen von 0,2 Prozent reduziert wird. In Turbinen mit kleinem Ölsumpf und einer minimalen Verweildauer könnten eingeschlossene Luftgemische an Lager und wichtige hydraulische Steuerelemente weitergeleitet werden, was zu Problemen mit der Filmstärke, einem Verlust der Systemkontrolle und einer erhöhten Oxidation führen könnte.

Zusätzlich zur Berücksichtigung der oben genannten Testergebnisse beim Vergleich und der Auswahl eines neuen Turbinenöls wird empfohlen, dass die Betreiber einige dieser Tests im Rahmen von Routine-Ölprüfungen durchführen. Während herkömmliche Methoden für die Überwachung der oxidativen Gesundheit eingesetzter Turbinenöle – Viskosität, Säurezahl und RPVOT – weiterhin hilfreich sind, können Tests wie MPC und LSV eine Verschlechterung des Turbinenöls mit einer höheren Wahrscheinlichkeit bereits in früheren Phasen aufdecken sowie die Ablagerungstendenzen eines Öles anzeigen.



## FAZIT

Verlackung ist ein branchenweites Problem und die Betreiber von Gasturbinen müssen über genaue Informationen verfügen, damit sie das richtige Turbinenöl auswählen können, das der Verlackung wirksam entgegenwirkt. Um sicherzustellen, dass die Bediener gut informiert sind, muss die Industrie die alten Testmethoden neu bewerten, um neuere, genauere Leistungstests in ihr Repertoire aufzunehmen, z. B. den ASTM D7843 Test – Membrane Patch Colorimetry (MPC) und ASTM D6971 – Linear Sweep Voltammetrie (LSV).

Der RPVOT-Oxidationstest muss nicht ganz verschwinden, da er immer noch sehr hilfreich ist, wenn es darum geht, Chargen oder Trends desselben Produkts miteinander zu vergleichen. Er ist jedoch nicht effektiv, um die Öllebensdauer vorherzusagen oder Öle miteinander zu vergleichen.