

### Seminar 3

## Erweiterte Diagnoseverfahren für Kraftwerksturbosätze

Grundlagen der Messung und Überwachung von Wickelkopfschwingungen  
Torsionsschwingungen und Teilentladungen. Neue Schwingungsdiagnoseverfahren

## Die Seminarinhalte

### Zustandsdiagnose und Maschinen-instandhaltung

Die Verfügbarkeit, die Betriebssicherheit und die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung von Kraftwerksturboätzen und Wasserkraftmaschinensätzen lassen sich mit modernen Zustandsdiagnoseverfahren nachweislich verbessern.

Hierzu ist der Maschinenzustand zu erfassen, zu bewerten und zu überwachen. Mit den gewonnenen Informationen können der Abbau des Abnutzungsvorrats verfolgt, sich anbahnende Schäden und Fehler in der Betriebsführung frühzeitig erkannt und kostspielige Folgeschäden mit hoher Wahrscheinlichkeit vermieden werden.

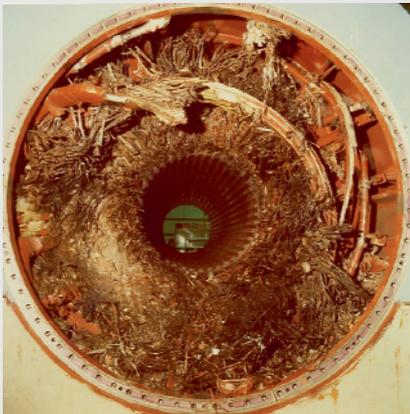


Bild 1: Zerörter Generatorwickelkopf

Die Zustandsdaten liefern gleichzeitig die Voraussetzung zur Durchführung einer zustandsorientierten Maschineninstandhaltung. Das Ziel dieser Strategie ist es, Schäden - wie beispielhaft in Bild 1 gezeigt - und ungeplante Produktionsausfälle zu vermeiden und Zeitpunkt und Umfang von Revisionen nicht an der Betriebsdauer, sondern am Maschinenzustand auszurichten.

Da der Maschinenzustand nicht direkt gemessen werden kann, werden Zustandsindikatoren erfasst, die in einem Zusammenhang mit dem Maschinenzustand stehen.

Das Seminar 3 "Erweiterte Diagnoseverfahren" greift mit den Schwingungen und der Generator-teilentladung besonders wichtige Zustandsindikatoren heraus und beschreibt ihre Anwendung und ihren Nutzen für Kraftwerksmaschinen.

Das Seminar 3 baut thematisch auf den Seminaren 1 und 2 "Schwingungsüberwachung und Schwingungsdiagnose an Kraftwerksturboätzen und Wasserkraftmaschinensätzen" auf, die den Schwerpunkt auf Lager- und Wellenschwingungen legen.

Im Einzelnen behandelt das Seminar 3 die folgenden Themen:

### Lager- und Wellenschwingungen

In einer Zusammenfassung werden die Messung, Überwachung und Diagnose der absoluten Lagerschwingungen und der relativen Wellenschwingungen erläutert. Es werden die normengerechte Messung und Bewertung der Schwingungen mit Hilfe der Grenzwerte nach ISO 10816 und ISO 7919 beschrieben.

### Rotordynamik

Die Lager- und Wellenschwingungen von Maschinensätzen werden von den am Rotor angreifenden Kräften und vom dynamischen Verhalten des Rotors bzw. des Wellenstrangs geprägt. Für die Schwingungsdiagnose sind deshalb Grundkenntnisse der Rotordynamik zwingend erforderlich.

Der Beitrag erläutert den Zusammenhang zwischen Schwingungen und Rotordynamik und die zugehörigen Grundbegriffe. Der Einfluss der Gleitlager auf das Schwingungsverhalten wird aufgezeigt und Verfahren zur Messung des dynamischen Verhaltens von Rotoren und Maschinen beschrieben.

### Diagnoseverfahren

Die diagnosegerechte Aufbereitung und Darstellung der Lager- und Wellenschwingungen ist eine Voraussetzung, um Fehler, Schäden und sich anbahnende Schäden von Maschinen zu ermitteln. Hierzu werden drei verbesserte Diagnoseverfahren mit Anwendungsbeispielen aus der Praxis vorgestellt.

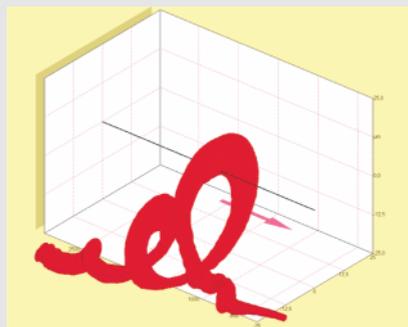


Bild 2: Beispiel für Abfahr-Toleranzschlauch

### Fallbeispiele

Anhand von 8 Fallbeispielen wird gezeigt, wie mit Schwingungsdiagnosen die Ursachen von Fehlern und Anomalien an Kraftwerksturboätzen identifiziert werden können. Es werden die Aufgabenstellung und die Ergebnisse der Schwingungsdiagnose an Turbinen, Generatoren, Schaltkupplungen, Gleitlagern und Turbospisepumpen vorgestellt und mit Messergebnissen belegt.

Der wirtschaftliche Nutzen der Schwingungsdiagnose erreicht bei einem der vorgestellten Beispiele einen Wert von über 50 Mio. EUR.

### Wickelkopfschwingungen

An Turboätzen treten Schwingungen nicht nur am Laufzeug auf, sondern auch an den stehenden Teilen. Dies ist insbesondere am Generator der Fall, dessen Ständer durch elektromagnetische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird. Die Höhe der Schwingungen wird hierbei von den Kräften und von den Resonanzen bestimmt.

Der Beitrag zeigt, wie sich Resonanzen am Generatorständer auswirken und wie sie beeinflusst werden können. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den ringförmigen Strukturen des Generators, nämlich dem Blechpaket und den Wickelköpfen. Eingehend wird die Anregung der Schwingungsformen und die Messung, Überwachung und Diagnose der Schwingungen an den Wickelköpfen und am Blechpaket beschrieben und mit Beispielen belegt.

### Torsionsschwingungen

Im elektrischen Störfall ist der Turboatz starken Torsionsschwingungen und Torsionsbeanspruchungen ausgesetzt. Als Folge davon entstehen hohe Werkstoff- und Bauteilbeanspruchungen sowie Verbrauch von Lebensdauer des Turboatzes.

Der Beitrag erläutert die Anregungsmechanismen, die Auswirkungen, die Messung und die Überwachung von Torsionsschwingungen. Von besonderem Interesse ist der magnetostriktive Sensor, der die berührungslose Messung des Drehmoments ermöglicht.

### Teilentladungen

Ca. 30% der Ausfälle von Generatoren sind auf Schäden der Statorwicklungs-isolation zurückzuführen. Mit einer Messung der Teilentladungen können der Schädigungsgrad der Isolation überwacht, die Art des Defekts identifiziert und das Risiko eines weiteren Betriebs abgeschätzt werden.

Der Beitrag erläutert die Grundlagen der Teilentladung, beschreibt den Aufbau der Messsysteme, die Auswertung der Ergebnisse, zeigt Installations- und Fallbeispiele und verdeutlicht den ökonomischen Nutzen des Verfahrens.

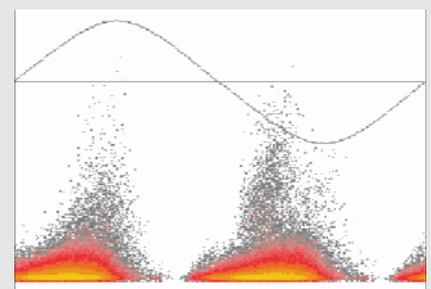


Bild 3: Beispiel für ein Teilentladungsmuster

## Das Programm

### 1. Tag

#### Einführung in die Zustandsdiagnose

- Zustandsdiagnose und Maschineninstandhaltung
- Inspektionsverfahren
- Die besondere Bedeutung der mechanischen Schwingungen

#### Zusammenfassung der Messung, Überwachung und Diagnose von Lager- und Wellenschwingungen

- Absolute Lagerschwingungen
- Relative Wellenschwingungen
- Bewertung der Schwingungen nach DIN ISO 10816 und DIN ISO 7919
- Schutz-Schwingungsüberwachung
- Schwingungsdiagnostische Überwachung

#### Einführung in die Rotordynamik

- Geometrische Achse, Drehachse, Schaftachse und Hauptträgheitsachse
- Steifigkeit, Dämpfung, Eigenfrequenz, Resonanzfrequenz, kritische Drehzahl
- Starre und nachgiebige Rotoren
- Schwingungsformen von starren Rotoren
- Eigenformen von wellenelastischen Rotoren in starren und in elastischen Lagern
- Der Einfluss der Gleitlager auf das Schwingungs- und Stabilitätsverhalten von Rotoren
- Verfahren zur Ermittlung und Darstellung des dynamischen Verhaltens

#### Verbesserte Diagnoseverfahren für Lager- und Wellenschwingungen

- Weiterentwickelte Toleranzschlauchverfahren zur Überwachung des Hoch- und Auslaufs
- Koordinatentransformation der Schwingungen in die Hauptsteifigkeitsachsen
- Verfahren zur Runout-Kompensation

#### Fallbeispiele zur Diagnose von Lager- und Wellenschwingungen

- Magnetische Unwucht des Generators eines HKW-Turbosatzes
- Kritische Drehzahl im Betriebsbereich einer Turbospeisepumpe
- Reproduzierbares Anstreifen einer HKW-Turbine
- Besonderheiten im Schwingungsverhalten der Schaltkupplungen von Einwellen-GuD-Maschinensätzen
- Erscheinungsformen von leichten Anstreibvorgängen bei einer HD-Turbine
- Drehzahlinstabile Eigenfrequenz einer HKW-Turbine
- Erscheinungsformen des Spiralens und Kreisens von Schwingungszeigern
- Riss in der Kühlwasserleitung eines wassergekühlten Generatorläufers

### 2. Tag

#### Schwingungsdiagnostik an Generatorständen, insbesondere an deren Wickelköpfen

- Schwingungstheorie  
Schwingende Systeme mit diskreten Elementen  
Angeregte Schwingung an stetigen Systemen  
Effekte durch Anisotropie und Nichtlinearität  
Schwingungsanregung an Generatorständen  
Möglichkeiten zur Verbesserung des Schwingungsverhaltens
- Messausrüstung  
Mittel zur Sichtbarmachung von Schwingungen  
Mittel zur Schwingungsmessung, Sensoren für Wickelkopfschwingungen  
Mittel zur Schwingungsanregung  
Analysator  
Analyse-Software
- Diagnose mit Hilfe von Schwingungen  
Eigenfrequenzmessung an Bauteilen  
Bump-Test an Wickelköpfen
- Diagnose von Betriebsschwingungen  
Typische Signale und ihre Aufbereitung  
Überwachung und Bewertung der Wickelkopfschwingungen  
Gehäuseschwingungen  
Bewertung der Ergebnisse

#### Messung, Bewertung, Überwachung und Diagnose der Torsionsschwingungen

- Anregung von Torsionsschwingungen  
Blitzeinschläge in Freileitungen  
Netziinterne Überspannungen  
Klemmenkurzschlüsse  
Abschaltung von 2- und 3-poligen Netzkurzschlüssen  
Kurzunterbrechung nach einem Netzkurzschluss  
Fehlsynchronisation und Netzumschaltung  
Subsynchrone Resonanzen
- Auswirkung von Torsionsschwingungen auf verschiedene Komponenten des Wellenstrangs
- Messmethoden für Torsionsschwingungen  
Messung mit Hilfe von Zahnrädern  
Beschleunigungsaufnehmern am Wellenumfang  
Dehnmessstreifen an der Welle  
Berührungslose Drehmomentmessung mit magnetostriktiven Sensoren  
Derzeit erhältliche Systeme zur Erfassung der Torsionsschwingungen
- Online-Monitoring von Torsionsschwingungen
- Fallbeispiele

### 3. Tag

#### Messung, Bewertung, Überwachung und Diagnose der Teilentladung von Generatorwicklungen

- Welche Vorteile bringt die Überwachung der Teilentladung?  
Alterung des Isolationsmaterials  
Überwachung des Isolationszustands während des Betriebs  
Zustandsorientierte Instandhaltung der Statorwicklung
- Grundlagen der Teilentladung  
Aufgabe der Statorwicklung  
Isolationsmaterialien  
Aufbau der Isolation  
Wicklungsdesign  
Problemstellen in der Isolation  
Beanspruchung der Isolation  
Was ist Teilentladung?  
Wie entsteht Teilentladung?  
Teilentladungstypen
- Ökonomischer Nutzen des Teilentladungsmonitorings  
Ausfälle und Folgeschäden vermeiden  
Was verlangen Versicherungen?  
Beispiel Schweizer Kernkraftwerk  
Wicklungstausch / Stabersatz  
Überwachung in der Garantiezeit  
Grenzwerte der Teilentladung  
Messintervalle
- Messsysteme zur Überwachung der Teilentladung  
Klassisches Prinzip  
IRIS Prinzip  
Koppler-Techniken  
Ultraschall- und Ozonüberwachung  
Visualisierung der Teilentladung
- Musterauswertung mit Beispielen  
Nutentladungen  
Oberflächenentladungen  
Zwischenphasenentladung
- Fallbeispiele aus der Praxis  
Parameterbedingte Teilentladungsmuster  
Designfehler bei Neuwicklungen  
Stabvibrationen  
Reparatur durch Resin-Injektion  
Reparatur durch CO<sub>2</sub>-Reinigung
- Installationsbeispiele  
Beispiele für Messungen mit mobilen Geräten  
Beispiele für permanente Messungen  
Installation mit Ex-Bereich  
Ferndiagnose über Internet

## Die Referenten

### Dipl.-Ing. Oliver Ducry

Jahrgang 1977. Hat seit 9 Jahren umfangreiche Erfahrung gesammelt auf den Gebieten elektrische Prüfungen, Vertrieb, Montage und Schulung von Teilladungsmonitoring-Systemen.

Seit 2006 Vertriebsleiter für Zustandsüberwachungsanlagen für die Wasserkraftmaschinenindustrie sowie für Sensoren zur Messung von Wickelkopfschwingungen, Luftspalt, Lager- und Wellenschwingungen.

### Dipl.-Ing. Roger Haslimeier

Jahrgang 1974. Seit 13 Jahren tätig auf den Gebieten Entwicklung, Projektierung, Montage und Schulung von Systemen zur Messung, Überwachung und Diagnose der Teilladung.

Von 2004 bis 2007 Leiter der Entwicklung und Projektierung von Teilladungssystemen für Generatoren. Seit 2007 Technischer Leiter für Zustandsüberwachungsanlagen für die Wasserkraftmaschinenindustrie und für Sensoren zur Messung von Luftspalt, Wickelkopf-, Lager- und Wellenschwingungen.

### Dr.-Ing. Matthias Humer

Jahrgang 1968. Seit über 10 Jahren beschäftigt mit der Analyse und Diagnose von turbosatzrelevanten Schwingungsarten. Hat sich in den letzten Jahren schwerpunktmäßig mit der Weiterentwicklung von Diagnoseverfahren im Bereich On- und Offline-Monitoring beschäftigt.

Leitet den Bereich "Schwingungsdiagnostik" bei der Servicetochter eines großen deutschen Energiekonzerns.

### Dipl. Ing. Dr. tech. Lutz Intichar

Jahrgang 1944. Elektrotechniker mit Ausbildungsschwerpunkt auf elektrischen Maschinen. Seit 30 Jahren in der Entwicklung und Diagnose von Turbogeneratoren tätig, davon über 15 Jahre bei Schwingungsfragen.

Anerkannter Experte auf dem Gebiet der Schwingungsdiagnostik an Generatorständen und insbesondere an deren Wickelköpfen.

Führt ein eigenes Ingenieurbüro für Generatordiagnostik.

### Dipl.-Ing. Ulrich Olsen

Jahrgang 1941. Beschäftigt sich seit 40 Jahren mit der Konzeption, der Applikation, dem Vertrieb, der Beratung und der Schulung von Schwingungsmesstechnik, Auswuchttechnik, Überwachungs- und Diagnosesystemen.

Führt ein Ingenieurbüro für Beratung, Schulung und Vertrieb von Systemen und Sensoren zur Zustandsüberwachung, Schwingungsdiagnose und Teilladungsmonitoring von Kraftwerksmaschinen.

### Dr.-Ing. Manfred Weigel

Jahrgang 1949. Seit 33 Jahren in der Energiewirtschaft und der Schwingungsmesstechnik tätig. Anerkannter Experte auf dem Gebiet der Schwingungsdiagnose von Kraftwerksturbo-sätzen mit umfangreicher Erfahrung.

Langjähriger Produktmanager für die Entwicklung und Applikation schwingungsdiagnostischer Überwachungssysteme. Führt ein eigenes Ingenieurbüro für Schwingungsmesstechnik, Schwingungsdiagnose, Beratung und Weiterbildung.

## Die Veranstaltung

Das Seminar ist für Techniker und Ingenieure bestimmt, die in der Entwicklung, der Konstruktion, der Projektierung, dem Vertrieb, dem Service und dem Betrieb von Kraftwerksturbo-sätzen und Wasserkraftmaschinensätzen tätig sind.

Das Seminar wird als dreitägige Veranstaltung in ausgewählten Hotels durchgeführt. Die Referenten verfügen über eine langjährige Erfahrung in der Kraftwerksindustrie. Die Referate werden mit einer PowerPoint-Präsentation unterstützt und vertieft. Besonderer Wert wird auf die Beantwortung von Fragen und auf Diskussionen gelegt.

Termine, Veranstaltungsorte und Teilnahmegebühren teilen wir auf Anfrage mit.

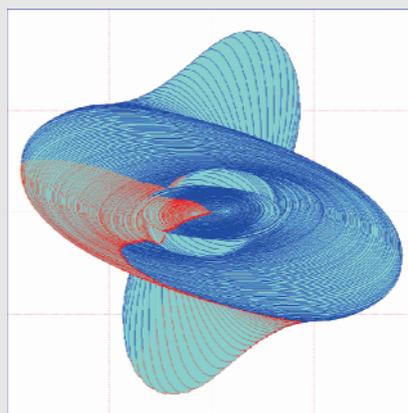


Bild 4: Zweidimensionale Darstellung des Kaskadenorbits eines 430 MW Turbosatzes.

## Das Begleitbuch

Die Seminarteilnehmer erhalten die Referate zusätzlich in Buchform. Das Fachbuch in gebundener Form weist einen Umfang von ca. 350 Seiten auf, ist im Buchdruck erstellt und zugleich auch als Nachschlagewerk gedacht, das den aktuellen Stand der Technik repräsentiert.

Das Seminarbuch ist überall dort, wo es zum besseren Verständnis erforderlich ist, mit Farbdarstellungen ausgestattet. Es kann auch einzeln bezogen werden.

## Schwingungs- und Auswucht-Seminare für die Kraftwerksindustrie

[www. Ingenieurbuero-Olsen.com](http://www.Ingenieurbuero-Olsen.com)

**Dr.-Ing. Manfred Weigel**  
Hirschhorner Straße 32  
64646 Heppenheim  
Tel.: +49 (0) 6252 / 673 99 40

**Dipl.-Ing. Ulrich Olsen**  
Ulmenweg 17  
64354 Reinheim  
Tel.: +49 (0) 6162 / 911 72 90