

**Seminar**  
**Schwingungsüberwachung und Schwingungsdiagnose**  
**an Kraftwerksturbosätzen**

## Weshalb schwingungsdiagnostische Überwachung?

Für den wirtschaftlichen Erfolg von Kraftwerken sind die Verfügbarkeit, die Betriebssicherheit und die Lebensdauer der Turbosätze von ausschlaggebender Bedeutung. Maschinenschäden, Folgeschäden und schadensbedingte Produktionsausfälle zu vermeiden, wie beispielhaft abgebildet, sind vorrangige Ziele eines jeden energietechnischen Unternehmens und eines jeden Maschinenherstellers.



Um diese Ziele zu erreichen, wurde in der Vergangenheit in Kraftwerken eine vorbeugende Maschineninstandhaltung mit festen Revisionszyklen betrieben und zwischen den Revisionen dem Wissen, der Erfahrung und der Entscheidung des früher noch ausreichend vorhandenen Kraftwerkspersonals vertraut.

Dieses Verfahren ist heute nicht mehr wettbewerbsfähig. Der steigende Kostendruck, der Abbau von Personal, der Wunsch nach nahezu unbegrenzter Maschinenverfügbarkeit, die gestiegenen Grenzbelastungen neuer Maschinensätze und das zum Teil hohe Alter bestehender Anlagen verlangen den Einsatz neuer Strategien und moderner Technologien. Mit der Öffnung der Märkte und den daraus resultierenden niedrigeren Verbraucherpreisen hat diese Forderung weiter an Bedeutung gewonnen.

### Die moderne Lösung

Als zeitgemäße Lösung hat sich in Kraftwerken eine Mischform aus zeit- und zustandsorientierter Instandhaltung der Turbosätze bewährt, da sie bei geringeren Kosten zu einem höheren Maß an Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit führt.

Mit der Änderung der Instandhaltungsstrategie geht die Forderung einher, jederzeit umfassend über den Zustand der Maschinen informiert zu sein, um schnell reagieren zu können und Instandhaltungsmaßnahmen mit kostenoptimiertem Aufwand zu einem sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus sicherheitstechnischer Sicht günstigen Zeitpunkt durchzuführen.

### Mechanische Schwingungen

Bei der Beantwortung der Frage, wie der Maschinenzustand, insbesondere wie Schäden, sich anbahnende Schäden und der Abbau des Abnutzungsvorrates während des Betriebes und ohne Unterbrechung der Energieerzeugung erfasst werden können, bieten sich bei Turbosätzen die mechanischen Schwingungen an.

Sie weisen im Vergleich zu anderen Indikatoren eine besonders hohe Aussagekraft aus, da sie alle signifikanten Schädigungen der Maschine widerspiegeln und neben einer Beurteilung und Überwachung des Maschinenzustandes auch eine zuverlässige Diagnose der „Krankheiten“ des Turbosatzes ermöglichen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die mechanischen Schwingungen in der Regel mit geringem Aufwand messbar sind.

### Von der Überwachung zur Diagnose

Diese Vorzüge haben dazu geführt, dass in Kraftwerken seit etwa 1960 die Schwingungsüberwachung zu einem bewährten und unverzichtbaren Bestandteil des Maschinenschutzes geworden ist und dass seit etwa 1990 die Schwingungsdiagnose als wichtiger integraler Bestandteil der Maschinendiagnose und der vorbeugenden Maschineninstandhaltung betrachtet wird.

Die Anwendung beider Technologien setzt Kenntnisse der Schwingungsmesstechnik, der Signalanalyse, der Schwingungsdiagnose und der Rotordynamik voraus.

Mit diesem Seminar soll Praktikern die Einarbeitung in die Thematik erleichtert, die Vorgehensweise beschrieben und eine Übersicht über den aktuellen Stand der für Schwingungsmessungen, Schwingungsüberwachung und Schwingungsdiagnose relevanten Normen und Richtlinien geboten werden.



### Schwingungsdiagnose an Kraftwerksturboätzen

Wegen der besonderen ökonomischen Bedeutung liegt der Schwerpunkt des Seminars auf der schwingungsdiagnostischen Überwachung von Kraftwerksturboätzen. Neben den Schwingungsursachen und den Diagnosemerkmalen von Turbomaschinen werden die Werkzeuge der Schwingungsdiagnose und ihre Anwendung erläutert.

Anhand zahlreicher Fallbeispiele werden die Vorgehensweise, die Interpretation der Ergebnisse und der wirtschaftliche Nutzen der schwingungsdiagnostischen Überwachung aufgezeigt.

### Seminarziel

Ziel des Seminars ist es, einen Beitrag zum besseren Verständnis der Messung, der Beurteilung und der diagnostischen Überwachung von Maschinenschwingungen zu leisten. Es liefert in dieser Form sowohl dem Anfänger als auch dem Fortgeschrittenen Anregungen und Hilfestellungen für die praktische Arbeit, vermittelt neue Kenntnisse und bietet ein Forum für einen Erfahrungsaustausch und für die Beantwortung von Fragen.

# Das Seminarprogramm

## 1. Tag

### Weshalb Schwingungen messen?

- Schwingungen und Maschinenzustand
- Maschinenzustand und vorbeugende Maschineninstandhaltung
- Ziele und Nutzen der Schwingungsmessung

### Grundlagen der mechanischen Schwingungen

- Einteilung der Schwingungen nach ihrem zeitlichen Verlauf
- Darstellungsformen, Kenngrößen und Messgrößen
- Lager- und Wellenschwingungen

### Messen, Beurteilen und Überwachen der absoluten Lagerschwingungen

- Mechanik der Lagerschwingungen
- Lagerschwingungs-Aufnehmer
- Messorte, Messrichtungen, Messgrößen und Messgeräte
- Messen und Beurteilen der Lagerschwingungen nach DIN ISO 10816
- Normen, Bewertungszonen und Bewertungskriterien

### Messen, Beurteilen und Überwachen der Wellenschwingungen

- Mechanik der absoluten und der relativen Wellenschwingungen
- Wellenschwingungs-Aufnehmer
- Messorte, Messrichtungen
- Messspur und Runout
- Messgrößen und Messgeräte
- Messen und Beurteilen der Wellenschwingungen nach DIN ISO 7919
- Normen, Bewertungszonen und Bewertungskriterien

### Messen und Überwachen von Wellenverlagerungen, thermischen Dehnungen, Temperaturen und Drehzahl

- Messverfahren für relative Wellenverlagerung, relative Wellendehnung, absolute Gehäusedehnung, Temperatur und Drehzahl
- Beispiele für die Ausrüstung von Maschinen

### Schutz-Schwingungsüberwachung

- Funktion, Aufbau und Ausführungsformen der Schutz-Schwingungsüberwachung
- Schwingungsüberwachung von Kraftwerksturbosätzen und Wasserkraftmaschinensätzen
- Maschinenschutz-Konzepte

## 2. Tag

### Grundlagen der Signalanalyse

- Beziehung zwischen Zeit- und Frequenzebene
- Filter-Ausführungsformen und charakteristische Merkmale
- Digitalisierung von Zeitsignalen
- Antialias-Filter
- Transformation der Zeitfunktion in den Frequenzbereich
- Begriffe und Zusammenhänge der digitalen Signalanalyse
- Triggerung und Messdatenerfassung
- Fensterfunktionen
- Mittelung von Frequenzspektren
- Zoom-Funktion
- Darstellungsformen von Frequenzspektren
- Hüllkurven- und Kepstrumanalyse
- Die Signalanalyse als Werkzeug der Maschinendiagnose

### Verfahren und Werkzeuge zur schwingungsdiagnostischen Überwachung von Kraftwerksturbosätzen

- Datenerfassung
- Digitalisierung der Zeitsignale
- Bilden von Kenngrößen
- Bedeutung des Phasenwinkels
- Aufgaben und Aufbau der Datenerfassungseinheit
- Datenverarbeitung
- Zeit- und ereignisorientierte Datenspeicherung
- Ermitteln des Normalverhaltens
- Grenzwerte im Nennbetrieb
- Überwachen des Nennbetriebes und der An- und Abfahrvorgänge
- Logische Verknüpfung von Grenzwertverletzungen
- Beispiele für die schwingungsdiagnostische Überwachung
- Werkzeuge zur Dokumentation des Maschinenzustandes
- Messwert-Tabellen
- Balken-Diagramme
- Betriebstagebuch
- Trend-Diagramme
- Kaskaden-Diagramme
- Polar-Diagramme
- Statische Wellenlage
- Logischer Trend
- Kenngrößen über der Drehzahl
- Ortskurven
- Zeitfunktion der Schwingungen
- Kinetische Wellenbahnen
- Kaskaden-Orbits
- Dynamische Wellenlage
- FFT-Frequenzanalyse
- Transientenrecorder
- Statistische Analyse
- Logikeditor

## 3. Tag

### Ursachen und Diagnosemerkmale der Schwingungen von Kraftwerksturbosätzen

- Maschinenzustand und Schwingungsverhalten
- Schwingungsursachen und Schwingungsarten
- Selbsterregte und erzwungene Schwingungen
- Der Einfluss von Gleitlagern
- Schwingungen durch Selbsterregung aus Gleitlagern
- Schwingungen durch Selbsterregung infolge von Spaltströmen
- Schwingungen durch Schrumpfsitzreibung
- Schwingungsanregung durch mechanisch und thermisch bedingte Unwuchten
- Schwingungsanregung infolge mangelhafter Auswuchtgüte
- Anregung durch langsam veränderliche Unwucht
- Leistungsabhängige Schwingungen
- Schwingungen durch betriebsparameterabhängige Unwucht
- Anregung durch sprunghaft veränderliche Unwucht
- Schwingungen durch Resonanznähe
- Schwingungsanregung durch Anstreifen
- Schwingungen durch Kupplungs- und Ausrichtfehler
- Schwingungsanregung infolge konstruktiver Rotor-Anisotropie
- Schwingungsanregung infolge radialer Wellenanrisse
- Schwingungsanregung durch elektromagnetische Radialkräfte
- Schwingungsanregung durch Einflüsse aus elektrischem Netz
- Schwingungsanregung durch magnetische Unsymmetrie
- Schwingungen durch eng benachbarte Anregungsfrequenzen
- Expertensysteme

### Fallbeispiele zur Schwingungsdiagnose, z. B.:

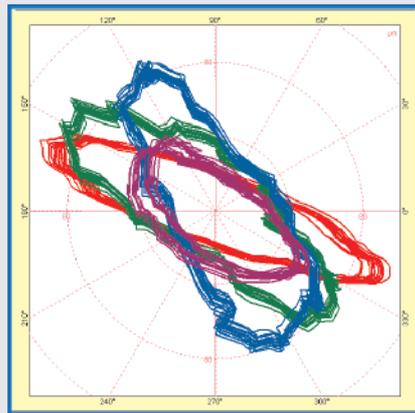
- Anstreifen einer HD-Turbine nach Revision
- Lockere Stabkeile am Generator eines 500 MW Turbosatzes
- Ölkohle in der Lagerdichtung einer Industrieturbine
- Schaufelschaden am ND2-Läufer eines 800 MW Turbosatzes
- Anomales Schwingungsverhalten eines 800 MW Generators
- Selbsterregte Schwingungen am Getriebe eines HKW-Turbosatzes
- Schwingungen infolge mangelhafter Generatorkonstruktion

## Die Referenten

### Dr.-Ing. Manfred Weigel

Geboren 1949. Seit über 30 Jahren in der Energiewirtschaft und in der Schwingungsmesstechnik tätig. Anerkannter Experte auf dem Gebiet der Schwingungsdiagnose von Kraftwerksturbinen mit umfangreicher praktischer Erfahrung.

Langjähriger Produktmanager für die Entwicklung und Applikation schwingungsdiagnostischer Überwachungssysteme. Führt ein eigenes Ingenieurbüro für Schwingungstechnik, Beratung und Fortbildung.



### Dipl.-Ing. Ulrich Olsen

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

Führt ein eigenes Ingenieurbüro für Beratung, Schulung und Vertrieb von Schwingungsdiagnose-Systemen sowie von Geräten und Software zum Betriebsauswuchten von Rotoren.

## Die Veranstaltung

Das Seminar ist auf Techniker und Ingenieure zugeschnitten, die auf dem Gebiet der Schwingungsmessung und der Schwingungsdiagnose tätig sind oder tätig werden wollen.

Es wendet sich darüber hinaus an Kraftwerksleiter und an Maschinenhersteller, die sich einen Überblick über die Möglichkeiten und den Nutzen der schwingungsdiagnostischen Überwachung von Kraftwerksturbinen verschaffen möchten.

Das Seminar wird als dreitägige Veranstaltung mit einer begrenzten Anzahl an Teilnehmern in ausgewählten Hotels durchgeführt. Auf Anfrage sind auch individuelle Firmenveranstaltungen möglich.

Die Referate werden mit einer PowerPoint Präsentation unterstützt und vertieft. Besonderer Wert wird auf die Beantwortung von Fragen und auf Diskussionen gelegt. Hierzu steht ausreichend Zeit zur Verfügung.

Termine, Veranstaltungsorte und Teilnehmergebühren der Hotelseminare teilen wir auf Anfrage gerne mit.

Weiterhin führen wir Seminare mit Praktikum zum Betriebsauswuchten von Maschinen, insbesondere zum Auswuchten der Rotoren von komplett montierten Nebenaggregaten durch. Bitte sprechen Sie uns im Bedarfsfall an.

## Die Begleitbücher

Die Seminarteilnehmer erhalten die Referate zusätzlich als Nachschlagewerk in Buchform. Hierin sind die Grundlagen der Schwingungsmesstechnik im Band 1 auf ca. 200

Seiten und die Grundlagen und die Anwendung der Schwingungsdiagnose an Kraftwerksturbinen im Band 2 auf ca. 300 Seiten zusammengefasst.

Die Seminarbücher sind überall dort, wo es zum besseren Verständnis wünschenswert ist, mit Farbdarstellungen ausgestattet. Sie können auch einzeln bezogen werden.

## Schwingungs- und Auswucht-Seminare für die Kraftwerksindustrie

Dr.-Ing. Manfred Weigel  
Hirschhorner Strasse 32  
D-64646 Heppenheim  
Tel.: +49 (0) 6252 / 673 99 40  
Ingenieurbuero.Weigel@t-online.de

Dipl.-Ing. Ulrich Olsen  
Ulmenweg 17  
D-64354 Reinheim  
Tel.: +49 (0) 6162 / 911 72 90  
Ingenieurbuero.Olsen@t-online.de