

# Maschinenverschleiß: Wie Schwingungsanalyse die Betriebszeit verlängert

Die meisten Maschinen besitzen rotierende Teile, und diese Teile führen zu Schwingungen. Eine Messung der Schwingungen dieser Teile kann Ihnen viel über den Zustand einer Maschine mitteilen. Ob durch das Rattern verschlissener Lager oder das Schwingen, Flattern oder Klopfen gelockerter, falsch ausgerichteter oder nicht mehr richtig ausgewuchteter Komponenten: Maschinen können viel erzählen, wenn man ihnen nur zuhören will – und kann.



Die Kunst und Wissenschaft der Messung und Interpretation dieser aufschlussreichen Geräusche und Schwingungen – die Schwingungsanalyse – gibt es schon seit Jahrzehnten. In der Vergangenheit war es die Domäne von Spezialisten mit speziellen Geräten, die Ausrüstungen von Behörden und Unternehmen untersuchten, die für den Betrieb besonders wichtig waren. Aber auch Mechaniker führten Schwingungsprüfungen mittels Stethoskopen oder ähnlichen Werkzeugen durch. Die Schwingungsanalyse an rotierenden Maschinenteilen hat im Verlauf von mehr als vier Jahrzehnten an Beliebtheit gewonnen, da Tausende von Fehlern erkannt werden können, ohne dass die Maschine angehalten oder demontiert werden muss. Die jüngsten Entwicklungen bei Schwingungssensoren, in der Datenerfassung und den Analysetechnologien machen die Schwingungsanalyse jedoch noch kostengünstiger, einfacher und für mehr Anwendungen verfügbar.

Die Schwingungsanalyse ist eine wichtige Komponente eines zustandsorientierten Instandhaltungssystems. Als Alternative zur fehlerorientierten Strategie misst die zustandsbasierte Instandhaltung den Zustand der Maschine, wozu die Maschine nicht demontiert werden muss, um untersucht zu werden. Bei einem Fehlerzustand wird eine Reparatur genau dann durchgeführt, wenn sie benötigt wird, nicht vorher oder hinterher.

Und so funktioniert es: Durch Analyse der Muster und Amplituden der Schwingungsimpulse bei bestimmten Frequenzen wurden Regeln und Algorithmen entwickelt, mit denen Probleme an Maschinen diagnostiziert werden können. Dies wird automatisch erreicht durch Befestigung eines Sensors (in der Regel ein Beschleunigungssensor) an den Lagern der Maschine und Messung der Schwingungsfrequenzen, die von der Welle über die Lager an die Metalloberfläche der Maschine und dann an den Sensor übertragen werden.

Verständnis und Nutzung der Schwingungsanalyse kann ein fehlerorientiertes System ("Havariebetrieb") in ein zustandsbasiertes, proaktives Instandhaltungsprogramm verwandeln.

Zu den wichtigsten mechanischen Fehlern, die mit einer Schwingungsanalyse erkannt werden können, gehören:

1. **Unwucht:** Ein „schwerer Punkt“ in einer rotierenden Komponente verursacht Schwingungen. Durch die Rotation der Unwucht um die Achse der Maschine wird eine Zentrifugalkraft erzeugt, die zu vermehrtem Verschleiß an den Lagern und Dichtungen und auch zu Energieverlusten führt.
2. **Fehlausrichtung:** Hohe Kräfte können als Folge von falsch ausgerichteten Wellen entstehen. Fehlausrichtungen, die auf die Wellen wirken, z. B. von Motor und Pumpe, führen zu vermehrtem Verschleiß an den Lagern und Dichtungen und erhöhtem Energieverbrauch.
3. **Verschleiß:** Teile wie Lager, Antriebsriemen oder Getrieberäder können mit zunehmendem Verschleiß eine Ursache für Schwingungen sein. Wenn beispielsweise ein Rollenlager brüchig wird, verursachen die Lagerrollen jedes Mal Schwingungen, wenn sie sich über den beschädigten Bereich bewegen.

Ein stark beschädigtes oder verschlissenes Getriebezahnrads, eine gelängte Antriebskette oder ein verschlissener Antriebsriemen können ebenfalls Schwingungen verursachen.

4. **Lockerung:** Zunächst unbenutzte Schwingungen werden stärker und können Schäden verursachen, wenn sich die Lager des schwingenden Teils lockern oder das Teil nicht mehr ordnungsgemäß befestigt ist. Lockerungen können ihre Ursache in Schwingungen haben, können aber umgekehrt auch erst die Schwingungen verursachen.

## Top VIER

**Die häufigsten mechanischen Störungen, die eine Schwingungsanalyse aufzeigen kann**

1. Unwucht
2. Fehlausrichtung
3. Verschleiß
4. Lockerungen

## Schwingungsmessgeräte sind die Rettung

In den letzten 30 Jahren gab es nur zwei Werkzeuge für die Schwingungsanalyse: den anspruchsvollen Schwingungsanalysator und den einfachen Schwingungsmessstift. In den letzten Jahren haben zwei neue Kategorien von Schwingungsmessgeräten an Beliebtheit gewonnen, die Technikern helfen, die Lücke zwischen komplexen Schwingungsanalysatoren und den sehr einfachen Messstiften zu füllen. Diese neuen Werkzeuge sind der Schwingungs-Tester und das Schwingungsmessgerät.

Gerät zur Schwingungsprüfung	Vor- und Nachteile
Schwingungsanalysator	<ul style="list-style-type: none"> <li>erforderlich für komplexe, produktionswichtige Maschinen</li> <li>erfordert einen erfahrenen Bediener mit hohem Kenntnisstand</li> <li>erzeugt große Mengen komplexer Daten, die eine Analyse erfordern</li> <li>hohe Anschaffungskosten, möglicherweise einschließlich laufender Lizenzgebühren</li> </ul>
Schwingungs-Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>gut geeignet für die meisten Maschinen eines Werks</li> <li>vollständig automatisierte, maschinell analysierte Diagnosewerte ohne manuelle Analyse</li> <li>minimale Kosten für Anschaffung, Ressourcen und Schulungen</li> <li>leichte Bedienbarkeit</li> </ul>
Schwingungsmessgerät	<ul style="list-style-type: none"> <li>mehrere Messungen mit demselben Werkzeug: Gesamtschwingung, Lagerbelastung, IR-Temperaturmessung, Zustand der Lager, Überwachung des Maschinenzustands</li> </ul>
Schwingungsmessstift	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfache Funktionalität; nur Zahlenwerte der Schwingung</li> <li>Erfahrung des Bedieners ist erforderlich, um aus dieser Anzeige richtige Schlüsse zu ziehen</li> </ul>

Es gibt verschiedene Arten von Werkzeugen zur Schwingungsanalyse, von hoch anspruchsvollen Schwingungsanalysegeräten bis hin zu Schwingungsmessstiften. Jedes Werkzeug hat seine eigenen Stärken und erkennt andere Schwingungsprobleme.

### Schwingungsanalysator

Schwingungsanalysatoren unterziehen die Maschine einer aufwendigen Analyse. Sie analysieren Schwingungsspektren (Schwingungsamplituden im Frequenzbereich), erfassen und dokumentieren Ausgangswerte für geprüfte Geräte und überwachen die Trends der Messergebnisse. Die umfassende Analyse zeigt nicht nur, ob ein Problem besteht oder nicht, sie hilft dem Anwender auch dabei, die Ursache zu verstehen und den Zeitraum bis zum Ausfall einzuschätzen. Allerdings erfordert diese anspruchsvolle Art der Schwingungsprüfung umfassende Schulungen sowie eine ausführliche Kenntnis der Spektren und der Geschichte der Maschine.

Anwendungsfälle:

- für große, komplexe Maschinen mit vielen Variablen, z. B. Papiermaschinen, mehrachsige Maschinen, Turbinen u. Ä.
- für die Fehlersuche mit Echtzeitanalyse, Stoßprüfungen, Kreuztermen und Resonanzprüfung auf andere Fehler als die oben beschriebenen vier häufigsten Fehler

### Schwingungs-Tester

Ein Schwingungsmessgerät mit integrierten Diagnosefunktionen, das die Diagnose der häufigsten Fehler an den meisten Maschinen mit rotierenden Teilen liefert - spezifische Fehler, Fehlergrad und Reparaturempfehlungen. Dieser Tester startete als 4-kanaliges Datenerfassungsgerät für Schwingungen, wurde aber dann vom Hersteller mit vielen Funktionen modifiziert, sodass ein Techniker mit minimaler Schulung und Erfahrung das Gerät leicht bedienen kann. Techniker mit Erfahrung in der Schwingungsanalyse mögen der Meinung sein, dass sie alle Analysefunktionen benötigen. Jedoch hat ein großes Team von Schwingungsexperten in über 30 Jahren nachgewiesen, dass für die Diagnose der häufigsten Fehler an den meisten Maschinen mit rotierenden Teilen keine komplexen Technologien zur Fehlerfindung

und -behebung notwendig sind. Mit anderen Worten, man geht mit einer Erkältung oder Grippe nicht in eine Universitätsklinik, sondern zum Hausarzt. Lassen Sie sich vom Schwingungs-Tester dabei helfen, die häufigsten Fehler zu finden, und überlassen Sie die fortgeschrittene Fehlerbehebung dem Analysator.

Anwendungsfälle:

- für die meisten Maschinen mit wenigen Variablen: Motoren, Pumpen, Lüfter, Kompressoren, Gebläse, Förderbänder, Getriebe
- für die Diagnose häufiger Maschinenfehler (90 %): Unwucht, Fehlaustrichtung, Lagerschäden, Lockerungen
- für Techniker, die noch viele andere Aufgaben erledigen müssen (keine Zeit für die Analyse komplexer Diagramme)



## Schwingungsmessgerät

Ein Schwingungsmessgerät bietet die Möglichkeit, die Gesamtschwingung zu messen und mit realen Maschinenwerten aus einer Datenbank zu vergleichen, um dem Anwender leicht verständliche Ergebnisse zu liefern. Das **Schwingungsmessgerät Fluke 805** bietet eine Messspitze mit kombiniertem Schwingungs- und Kraftsensor, mit dessen Hilfe die vom Bediener verursachten Abweichungen (Kraft oder Winkel) ausgeglichen und somit exakte, wiederholbare Ergebnisse erzielt werden können. Dieses Messgerät verfügt über eine vierstufige Fehlergrad-Skala und einen integrierten Prozessor, der sowohl den Zustand der Lager als auch den der Maschine mit leicht verständlichen Warnungen in Textform mitteilt. In nur wenigen Sekunden kann es einen großen Frequenzbereich auslesen (10 bis 1.000 Hz und 4.000 bis 20.000 Hz) und deckt somit die meisten Maschinen- und Komponententypen ab. Zudem verfügt das Modell Fluke 805 über eine selbsterklärende Bedienoberfläche, mit der die Benutzereingaben hinsichtlich des Drehzahlbereichs und des Gerätetyps minimiert werden. Damit verfügen Instandhaltungspersonal und Bediener über ein Prüfwerkzeug, mit dem festgestellt wird, welche Komponenten ordnungsgemäß funktionieren und bei welchen eine zusätzliche Prüfung durchgeführt werden muss.



### Anwendungsfälle:

- Prüfen aller Maschinen: Hunderte von Maschinen mit Verschleißteilen sowie tägliche Schnellprüfungen wichtiger Maschinen (zwischen den Prüfintervallen mit Analysatoren).
- Zum Screenen ("Vordiagnose") aller Maschinen (100 %): Bestimmen Sie anhand von Gesamtschwingung, Lagerzustand und Temperatur der Lager, ob sich die Maschine in einem guten oder schlechten Zustand befindet. Anders als der Schwingungsmessstift bietet das Schwingungsmessgerät die Funktionalität von fünf Messgeräten.

## Schwingungsmessstift

Ein Schwingungsmessstift ist ein Werkzeug für einfache Fehler, das Schwingungen prüft, die von Rotations- und Strukturfehlern herrühren, und helfen kann, z. B. Probleme mit Wälzlagern oder Zahnradern zu ermitteln.

Schwingungsmessstifte sind leicht zu bedienen und liefern einfach nur die Gesamtschwingungen der Maschine als Zahlenwert. Diese Zahl erfordert allerdings Kenntnisse über die Maschine, um zu wissen, was sie bedeutet. Bedeutet diese Zahl etwas Schlechtes für diese Maschine, wie schlimm ist der Fehler, welcher Fehler liegt vor, und welche Maßnahmen sind erforderlich?

### Anwendungsfälle:

- für die einfache Diagnose von weniger komplexen Maschinen

## Grundlagen der Schwingungsmessung

Schwingungsmessungen verhalten sich anders als Temperatur- oder Spannungsmessungen. Beim Einsatz elektrischer Messgeräte erwarten Sie möglicherweise die Anzeige einer Zahl, die jederzeit wiederholbar ist.

Die Verwendung eines piezoelektrischen Beschleunigungsmessers zur Messung der Schwingungen an einem dynamischen Maschinenstrang ist jedoch eine andere Geschichte. Sie messen die Schwingung nicht an der Schwingungsquelle (der Welle), sondern am Lagergehäuse der Maschine. Das heißt, eigentlich messen Sie die Reaktion der Maschinenstruktur auf die Schwingungen der Welle im Inneren, der Komponenten an der Welle, der Lager, Abdeckungen und des Fundaments. In die Schwingungen der Welle mischen sich also viele zufallsbedingte Schwingungen. Selbst die wiederholbaren, von der Welle ausgehenden Schwingungen haben viele Variablen: Resonanzen, Drehzahl und Last, Standort, Sensorbefestigung, Umgebung, Betrieb, Störsignale, Anregung sowie Einflüsse von anderen Maschinen.

### Wie reduziert man zufallsbedingte Schwingungen, Störsignale und Variablen?

- Stellen Sie sicher, dass die Maschine bei jeder Messung mit der gleichen Drehzahl und Last betrieben wird.
- Achten Sie darauf, dass die Maschine unter denselben Betriebsbedingungen betrieben wird.
- Stellen Sie sicher, dass gleiche Maschinen in der Umgebung unter den gleichen Bedingungen betrieben werden.

Sie können alles tun, um die zufallsbedingten Schwingungen zu minimieren und die Variablen zu reduzieren – das Schwingungsspektrum bleibt nie genau gleich. Die einzige Möglichkeit, eine solche Wiederholbarkeit zu erreichen, wäre eine Testumgebung im Weltall. Bis die Schwingungen von der Welle über das Lager an die Außenseite des Lagergehäuses und auf den Sensor übertragen werden, der mit einem Magneten angebracht ist, haben sie sich mit den Resonanzen und Geräuschen der Maschine, dem Fundament, der umgebenden Struktur und den benachbarten Maschinen vermischt. Es gibt einfach zu viele Variablen, um eine exakte Wiederholbarkeit erwarten zu können, weshalb die Wahl des richtigen Werkzeugs so unabdingbar ist.

Nach jahrzehntelanger entweder sehr einfacher oder äußerst komplexer und kostenintensiver Schwingungsanalyse haben die jüngsten Entwicklungen auf dem Gebiet ein breiteres praktisches Anwendungsfeld ermöglicht. Heute ist die Schwingungsanalyse ein wichtiger Bestandteil der zustandsbasierten Überwachungsprogramme und wird auch weiterentwickelt – mit Werkzeugen, die für den Techniker im Betrieb einfacher nutzbar und kostengünstiger sind.

## Das Werkzeug, das die Molkerei rettete

Instandhaltungsleiter Eric Trummel von der Molkerei Alpenrose in Portland, Oregon, erinnert sich an einen Vorfall, als eine Fachfirma für Schwingungsanalysen eine halbjährliche Prüfung durchführte und vor dem Verschleiß eines Lagers an einem wichtigen Luftkompressor warnte. Eines der Lager hatte sich verschlechtert, und das Team musste sich innerhalb mehrerer Monate darum kümmern. „Schon eine Woche später fiel der Luftkompressor aus, sodass der Werksbetrieb eingeschränkt war“, erzählt Trummel. „Daher ist Fluke 810 so wichtig für uns“, so Trummel weiter. „Neben Wissen und Erfahrung sind moderne Werkzeuge erforderlich, die unsere Techniker in der Instandhaltung unterstützen, um die Ausrüstung regelmäßig überprüfen zu können. Wir verstehen besser, was gerade passiert, und bekommen ein Gefühl für die Sache.“

„Mit dem Fluke Messgerät können wir einmal pro Woche oder einmal monatlich Messungen durchführen“, so Trummel. „Wenn wir eine Abweichung feststellen, können wir eine Trendanalyse mit diesen Daten erstellen. Wenn wir eine Änderung bei den Schwingungsfrequenzen bemerken, müssen wir die Sache genauer anschauen. Natürlich können wir nicht jeden Monat jedes einzelne Geräteteil hier in der Molkerei untersuchen. Wir legen Prioritäten fest, welches Gerät wir monatlich oder vierteljährlich überprüfen möchten, und als Grundlage dafür ziehe ich als Ausgangswerte frühere Messungen heran.“



In der Molkerei Alpenrose liefert die regelmäßige Schwingungsanalyse Daten für Trendanalysen, die der proaktiven Instandhaltung zugrunde gelegt werden.

**Fluke.** Damit Ihre Welt intakt bleibt.

**Fluke Deutschland GmbH**  
In den Engematten 14  
79286 Glottertal  
Telefon: 0 69 2 2222 0203  
Telefax: 0 76 84 800 9410  
E-Mail:  
CS.Deutschland-ELEK@Fluke.com  
E-Mail:  
CS.Deutschland-INDS@Fluke.com  
Web: www.fluke.de

**Technischer Beratung:**  
Beratung zu Produkteigenschaften,  
Spezifikationen, Messgeräte und  
Anwendungsfragen  
Tel.: +49 (0) 7684 8 00 95 45  
E-Mail:  
techsupport.dach@fluke.com

**Fluke Austria GmbH**  
Liebermannstraße F01  
2345 Brunn am Gebirge  
Telefon: +43 (0) 1 928 9503  
Telefax: +43 (0) 1 928 9501  
E-Mail: roc.austria@fluke.nl  
Web: www.fluke.at

**Fluke (Switzerland) GmbH**  
Industrial Division  
Hardstrasse 20  
CH-8303 Bassersdorf  
Telefon: +41 (0) 44 580 7504  
Telefax: +41 (0) 44 580 75 01  
E-Mail: info@ch.fluke.nl  
Web: www.fluke.ch

**John Bernet** ist bei Fluke der Spezialist für mechanische Anwendungen und Produkte. John hat über 30 Jahre Erfahrung im Bereich von Instandhaltung und Betrieb von Atomkraftwerken und Maschinen in anderen Anlagen, und während dieser Zeit hat er mit Kunden in allen Branchen bei der Umsetzung von Zuverlässigkeitsprogrammen zusammengearbeitet. John ist zertifizierter CAT-2-Schwingungsanalytiker mit mehr als 20 Jahren Erfahrung im Bereich der Diagnose von Maschinenstörungen. Zuvor war John 12 Jahre lang in der US-Marine als Elektriker tätig. John ist „Certified Maintenance Reliability Professional (CMRP)“, zertifiziert für die zuverlässige Durchführung von Instandhaltungsarbeiten.

©2016 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten. Änderungen vorbehalten. 4/2016 6007639a-de

Dieses Dokument darf nicht ohne die schriftliche Genehmigung der Fluke Corporation geändert werden.