



## PT 500 System zur Maschinendiagnose

Ausbildung in der Maschinenzustandsüberwachung:  
Mechanische Schwingungen erzeugen, messen und bewerten

Das System für den leichten Einstieg in eine anspruchsvolle Thematik

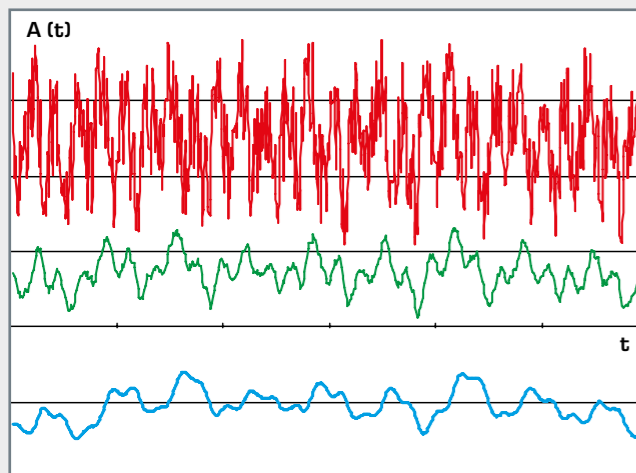
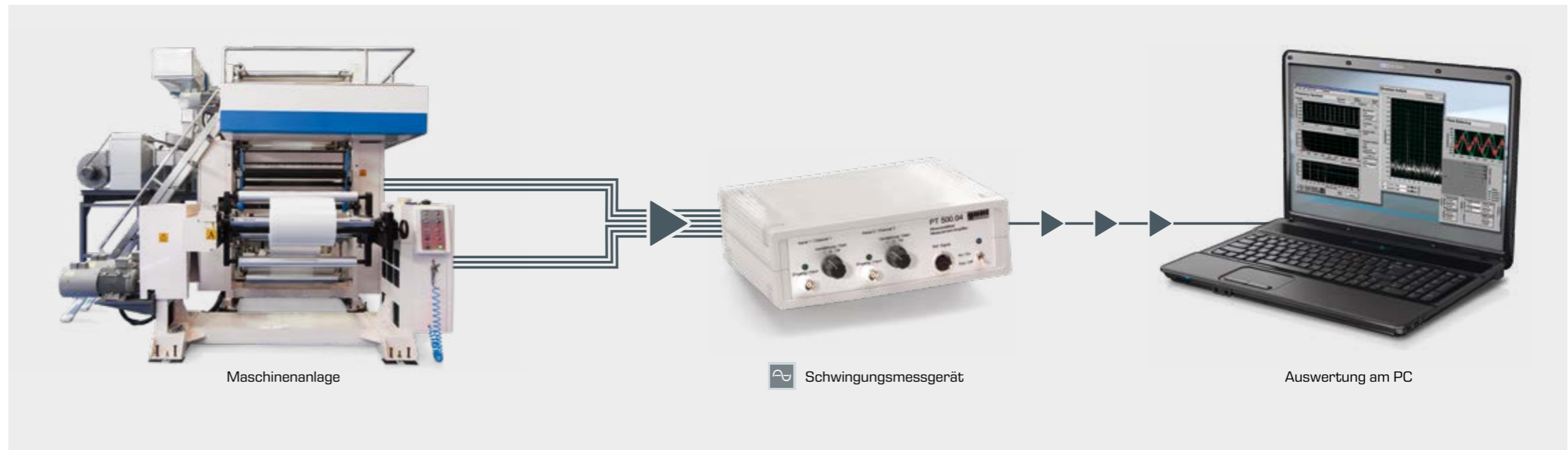
## Was ist Maschinendiagnose?

Ziel der modernen Maschinenzustandsüberwachung (CMS Condition Monitoring System) ist es, eine bedarfsabhängige Wartung oder Instandsetzung durchzuführen und damit Reparatur- und Stillstandszeiten einer Maschine zu minimieren. Dies erhöht die Gesamtanlageneffektivität (OEE Overall Equipment Effectiveness) und optimiert die Kostenstruktur.

Schäden sollen bereits im Stadium der Entstehung erkannt werden, um geplant eine Reparatur oder Wartung durchführen zu können.

Der mechanische Zustand einer Maschine oder von Maschinenteilen lässt sich gut über die Art und Größe der von ihr erzeugten Schwingungen beurteilen. Hierzu werden die Schwingungen mit Sensoren und Aufnahmegäten gemessen, aufgezeichnet und ausgewertet.

Komfortable PC-Software erleichtert eine übersichtliche Darstellung der Messwerte.



Typische Schwingungssignale im Zeitbereich

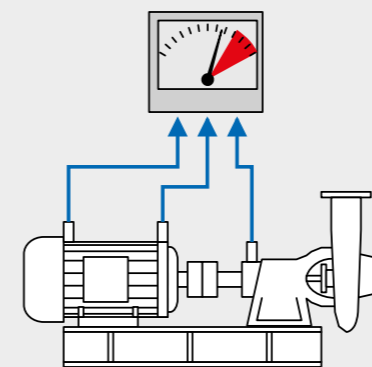
- Beschleunigung
- Geschwindigkeit
- Weg

Vom eigentlichen Interesse für Fehlererkennung und Diagnose sind die inneren Kräfte und Energien in der Maschine. Diese Größen können nicht direkt gemessen werden, wohl aber ihre Auswirkungen, die Schwingungen.

Durch die Schwingungsmessung und -analyse versucht man daher, ein Bild dieser Kräfte zu gewinnen. Daraus kann man ihre Struktur, die Ursachen ihrer Entstehung und ihr zeitliches Verhalten ablesen. Bei den Schwingungen handelt es sich meistens um Frequenzgemische, die durch Überlagerung unterschiedlicher Schwingungen entstehen. Einige dieser Schwingungen gehören zum normalen Betrieb der Maschine, andere wiederum werden durch Defekte verstärkt oder sogar erst erzeugt. Mit genügend Erfahrung kann dann der Zustand der Maschine beurteilt und ein Defekt der Maschine identifiziert werden.

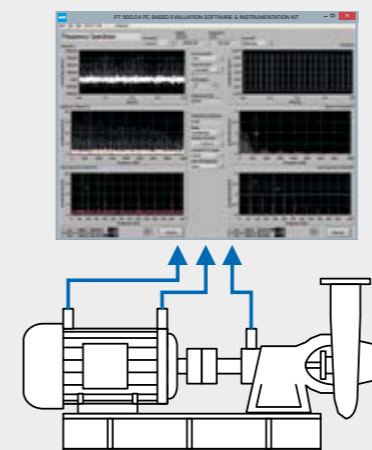
Bei der Maschinenzustandsüberwachung unterscheidet man zwischen der Kennwertüberwachung und der Frequenzanalyse.

### Kennwertüberwachung



Die **Kennwertüberwachung** besteht aus einer Messung der Schwingstärke und einem Vergleich mit einem vordefinierten Grenzwert. Die Kennwertüberwachung kann kontinuierlich und automatisch erfolgen. Sie ist leicht zu implementieren und erfordert nur geringes Fachwissen. Bei einfachen Standardaggregaten führt die Kennwertüberwachung bereits zum Ziel.

### Frequenzanalyse



Der Einsatz der **Analyse im Frequenzbereich** ist deutlich komplexer, aber auch leistungsfähiger. Diese Analyse ermöglicht es, die Art eines Schadens zu identifizieren. Damit können die Reparaturmaßnahmen zielgerichtet eingeleitet werden. Die Frequenzanalyse erfordert aber in der Durchführung ein gutes Verständnis der Wirkmechanismen und eine ausreichende Erfahrung. Meistens wird die Frequenzanalyse als ergänzendes Verfahren in Verbindung mit der Kennwertüberwachung eingesetzt.

## Didaktische Konzeption und Lerninhalte

Das System PT 500 bietet Ihnen eine flexible und modulare Lernplattform, um in die komplexe und anspruchsvolle Thematik der Maschinendiagnose einzuführen. Zielgruppe sind Studenten im Bereich Mechanik/Maschinendynamik, aber auch bereits im Beruf stehende Personen im Rahmen einer betrieblichen Aus- bzw. Weiterbildung im Bereich der Wartung und Instandhaltung.

Die enge Verzahnung von praktischer Arbeit am Versuchsgerät und theoretisch/analytischen Aspekten der Diagnose begünstigt ganzheitliches Lernen.

Für eine erfolgreiche Arbeit mit PT 500 sollten bereits fachliche Grundlagen aus den Gebieten Mathematik, Maschinendynamik, Schwingungslehre und Messtechnik vorhanden sein.

Im Gegensatz zum oft praktizierten Lernen im realen Prozess sind die zu untersuchenden Effekte reproduzierbar und isoliert darstellbar. Das erleichtert einen schrittweisen Einstieg in die Thematik und das gezielte Aufbauen von einschlägigen Erfahrun-

gen in der Diagnose. Somit liefert ein Training mit PT 500 eine Basis für erfolgreiches und effektives Arbeiten in der späteren industriellen Praxis.

Beim Einsatz in der betrieblichen Aus- und Weiterbildung verkürzt die mit dem PT 500 mögliche intensive Übung die Einarbeitung in das Thema Maschinendiagnose erheblich.

### Lerninhalte

<b>Mechanische Schwingungen</b>	Ursachen, Entstehungsmechanismen, Unwucht, Lavalläufer, Resonanz, Dämpfung, Stoß
<b>Schwingungsmesstechnik</b>	Messaufnehmer, Messverstärker, Darstellung, Oszilloskop, Drehzahlmessung
<b>Schwingungsanalyse</b>	Beschleunigung, Schwinggeschwindigkeit, Schwingweg, Kennwerte, Darstellung im Zeit- und Frequenzbereich, Spektrum, FFT (Fast Fourier Transformation), Ordnungen, Nachlaufanalyse, Hüllkurvenanalyse, Orbit, Bahnkurve
<b>Maschinendiagnose</b>	Lager- und Wellenschwingungen, zulässige Schwingstärke, Wälzlagerschäden, elektromagnetische Schwingungen, Unwuchtschwingungen und Auswuchten, Getriebebeschäden, Schwingungen an Riementrieben, Kavitation in Pumpen, Schaufelschwingungen, Schwingungen und Stöße in Kurbeltrieben, drehzahlabhängige Schwingungen

Weiterhin werden praktische Fähigkeiten und Erfahrungen im Umgang und in der Montage von Maschinenelementen wie Lager, Wellen und Kupplungen vermittelt. Außerdem kann der Aufbau von mechanischen Maschinen studiert werden.

Fragestellungen geben wertvolle Erfahrungen für die spätere industrielle Praxis:

- Welchen Messaufnehmer verwende ich?
- Wo kann ich ein brauchbares Messsignal erwarten?
- Wie blende ich Störsignale effektiv aus?

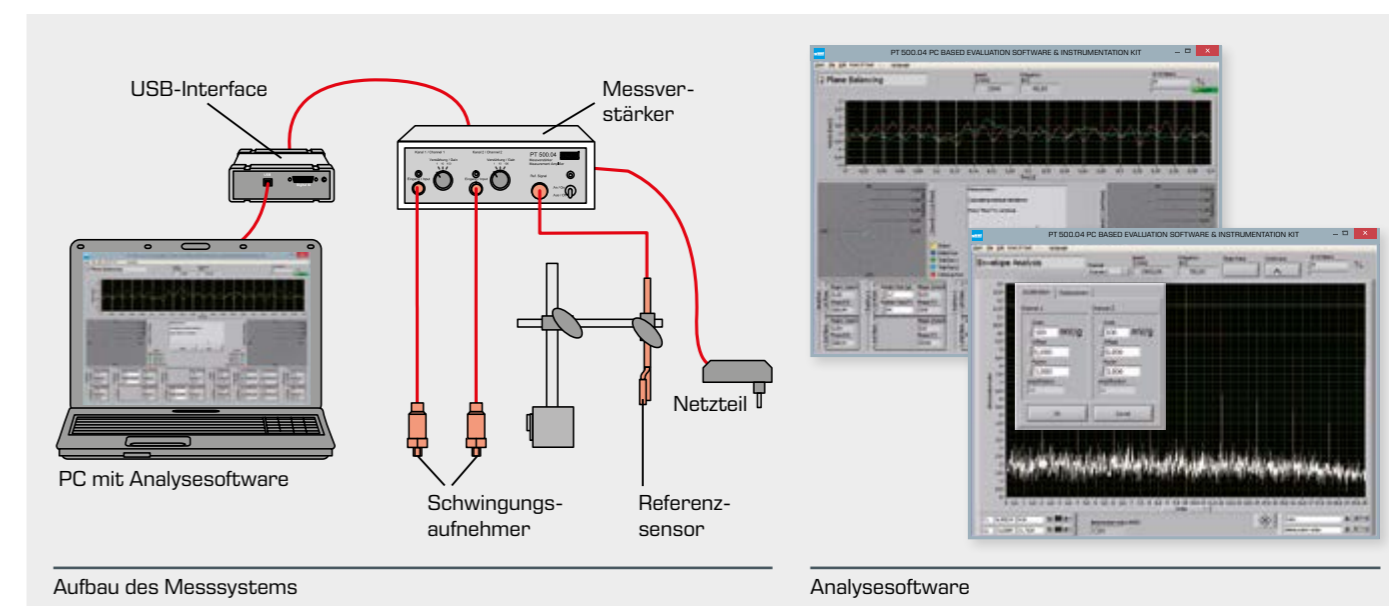
## Schwingungsanalysegerät PT 500.04



**Kernstück unseres Systems zur Maschinendiagnose ist das Schwingungsanalysegerät PT 500.04.**

Es besteht aus folgenden Komponenten:

- Messverstärker
- USB-Interface zur Datenerfassung
- Software zur Analyse
- Schwingungsaufnehmer
- Referenzsensor



Der Messverstärker versorgt die Beschleunigungs- und Wegaufnehmer mit Spannung und bietet eine einstellbare Vorverstärkung. Weiterhin kann über Ausgangsbuchsen das Schwingungssignal als Spannungssignal ausgegeben werden. Damit können Sie eigene Messgeräte, wie z. B. ein Oszilloskop, in den Messaufbau integrieren.

Natürlich bietet der Messverstärker die Möglichkeit, die als Zubehör lieferbaren Wegaufnehmer PT 500.41 anzuschließen.

Die Analysesoftware läuft auf jedem üblichen PC unter Windows. Das USB-Interface ermöglicht einen einfachen Anschluss an den PC oder Laptop.

Als Schwingungsaufnehmer werden ICP-Beschleunigungsaufnehmer verwendet. ICP-Aufnehmer haben den Vorteil, dass sie einen eingebauten Verstärker besitzen und so eine störungsunempfindliche Weiterverarbeitung des Messsignals gewährleisten. Die verwendeten Aufnehmer in Industriequalität sind robust, besitzen stabile Anschlusskabel und Stecker und eignen sich daher hervorragend für den rauen Ausbildungsbetrieb.

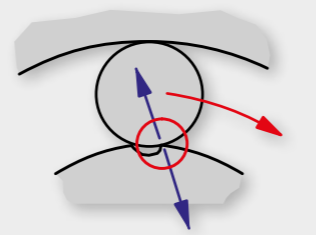
Der Referenzsensor dient der Drehzahlmessung und der Phaseninformation. Hier wird ein Lasersensor mit großer Tastweite verwendet, der auch bei schlechten Lichtverhältnissen und ungünstigem Zugang zur rotierenden Welle ein sicheres Signal liefert. Als Referenzmarke dient ein selbstklebendes Reflexmaterial.

# Beispiel: Identifikation von Lagerschäden

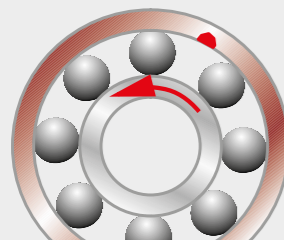
## Lagerschäden



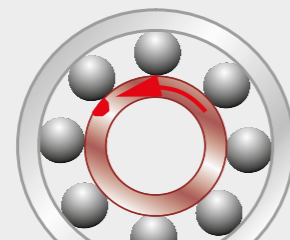
Jedes Wälzlager hat charakteristische Schadensfrequenzen für Innenring, Wälzkörper und Außenring. Die Frequenzen sind von der Drehzahl  $\Omega$ , den geometrischen Abmessungen und der Anzahl der Wälzkörper abhängig. Damit können bei bekannter Stoßfrequenz Schadensart und defektes Lager identifiziert werden.



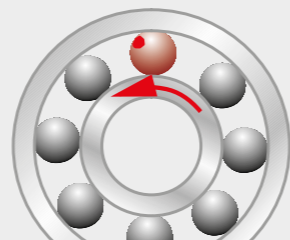
Stoßkraft beim Überlaufen eines Laufflächenschadens



Laufflächenschaden im Außenring  
Frequenz  $3,58 \Omega$



Laufflächenschaden im Innenring  
Frequenz  $5,42 \Omega$



Beschädigter Wälzkörper  
Frequenz  $4,65 \Omega$

## Hüllkurvenanalyse

Die Hüllkurvenanalyse wird verwendet, um zum Beispiel Schäden bei Wälzlager und Getrieben zu identifizieren. Die Schäden erzeugen Stöße mit sehr hochfrequenten Schwingungsanteilen. Die für die Schadensdiagnose relevante niederfrequente

Stoßfrequenz kann im normalen Spektrum nur schwer oder gar nicht identifiziert werden. Die Hüllkurvenanalyse demoduliert das hochfrequente Stoßsignal und ermöglicht so die Messung der Stoßfrequenz.

Ablauf der Hüllkurvenanalyse

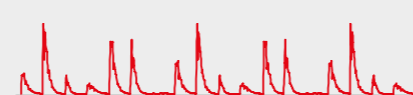
Messung des hochfrequenten Stoßsignals und Hochpassfilterung, um niederfrequente Störsignale (Unwucht, Ausrichtfehler) zu unterdrücken



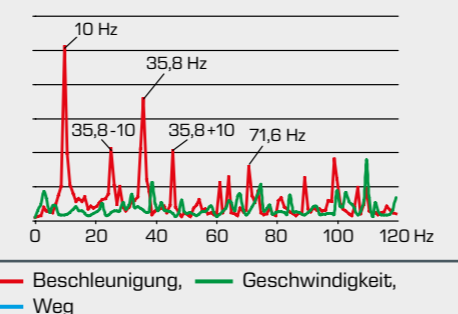
Gleichrichtung des hochfrequenten Signals



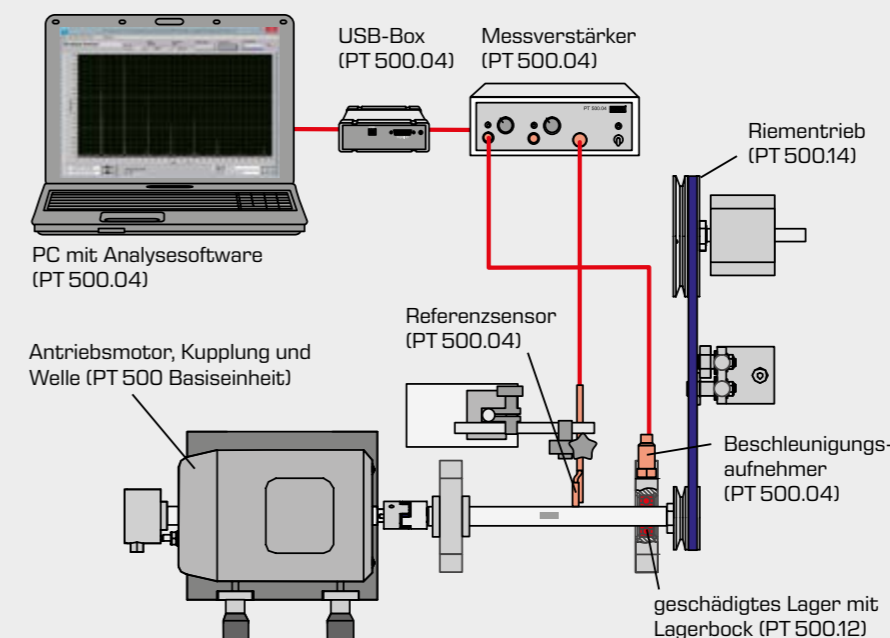
Hüllkurve des gleichgerichteten Signals durch Tiefpassfilterung erzeugen



FFT durchführen, um Spektrum der Hüllkurve zu erhalten. Deutlich ist die Drehzahl (10 Hz) und die Stoßfrequenz (35,8 Hz) zu erkennen. Die Seitenbänder im Abstand der Drehzahl ( $35,8 - 10$ ,  $35,8 + 10$ ) zeigen eine Amplitudenmodulation an. Es handelt sich um einen Außenringsschaden mit umlaufender Last.



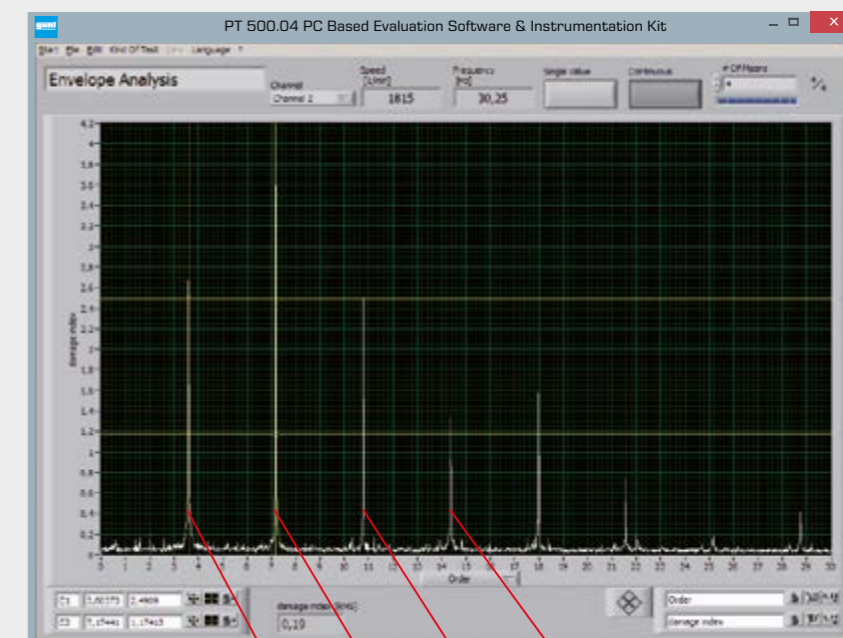
## Versuchsaufbau zur Identifikation von Lagerschäden



Das zu untersuchende Lager (PT 500.12) wird in einen Lagerbock eingesetzt. Da Lagerschäden nur unter Last deutlich werden, bildet die Riemenkraft des gespannten Riementriebs (PT 500.14) eine radiale Belastung des Lagers. Die Welle wird über den drehzahlveränderlichen Motor angetrieben. Ein Beschleunigungsaufnehmer am Lagerbock misst die vom Lagerschaden ausgelösten Stöße. Ein Referenzsensor dient der Drehzahlmessung. Über den Messverstärker (PT 500.04) gelangen die Messsignale zum PC. Hier führt die Software die Hüllkurvenanalyse durch.

## Typisches Versuchsergebnis

Die Abbildung zeigt das Hüllkurvenspektrum eines typischen Lagerschadens. Um eine von der Drehfrequenz unabhängige Anzeige zu erhalten, wurde als Abzisse die Ordnung gewählt. Ein drehfrequentes Signal hat die Ordnung 1. Es werden Frequenzlinien beim Vielfachen der Ordnung 3,58 abgelesen. Dies deutet auf einen Außenringsschaden des Lagers hin. Die fehlenden Seitenbandlinien mit dem Abstand einer Ordnung deuten auf eine konstante Krafttrichtung, hier also die Riemenspannung, und keine umlaufende Unwuchtbelastung.



Ordnungen 3,58 7,16 10,74 14,32

Screenshot einer Hüllkurvenanalyse eines Außenringsschadens

## Beispiel: Betriebsauswuchten

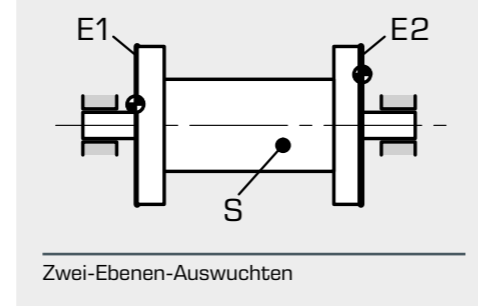
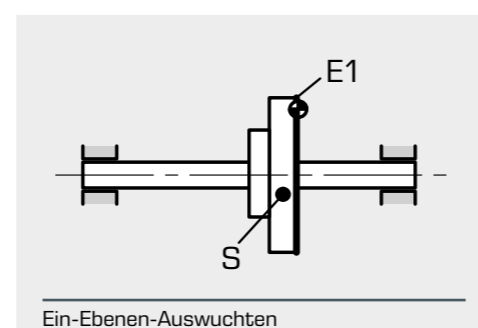
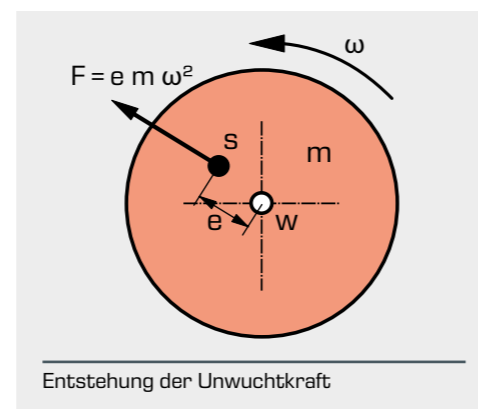
Wenn der Schwerpunkt eines rotierenden Maschinenteils nicht mit der Drehachse übereinstimmt, also nicht zentrisch läuft, erzeugt die umlaufende Masse des Maschinenteils Zentrifugal- oder Unwuchtkräfte. Diese Kräfte übertragen sich über die Lager auf die gesamte Maschine und Umgebung und regen Schwingungen an, die in ihrer Frequenz der Drehzahl entsprechen. Sie werden, da Zentrifugalkräfte quadratisch von der Drehzahl abhängen, umso stärker, je höher die Drehzahl ist.

Unwuchtschwingungen können durch Auswuchten vermieden oder zumindest verringert werden. Man unterscheidet generell zwischen dem **Auswuchten auf speziellen Wuchtmaschinen**, welches bei der Fertigung durchgeführt wird, und dem sogenannten **Betriebsauswuchten** an der bereits im Betrieb befindlichen Maschine. Bei PT 500 wird das Betriebsauswuchten praktiziert.

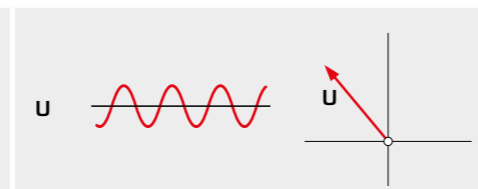
Beim **Auswuchten** versucht man den Schwerpunkt des Rotors wieder mit der Drehachse in Übereinstimmung zu bringen. Dazu werden am Rotor Massen zugefügt oder entfernt. Um die Lage und Größe der nötigen Auswuchtmassen zu bestimmen, muss zunächst die unbekannte Unwucht ermittelt werden. Leider lässt sich die Unwucht nicht direkt messen, sondern muss indirekt aus den messbaren Lagerschwingungen bestimmt werden. Hierzu bestimmt man aus der Lagerschwingung die Amplitude und Phasenlage (Vektor) des drehfrequenten Anteils. Alle anderen Schwingungsanteile werden ausgefiltert. Der Wuchtvorgang geschieht nach folgendem Schema:

- Messung der Lagerschwingungen der unausgewuchteten Maschine (Urunwuchtlauf U)
- Messung der Lagerschwingungen, nachdem die Maschine mit einer zusätzlichen, bekannten Unwucht versehen wurde (Testunwucht T)
- Aus dem Vergleich der beiden Messungen lässt sich die ursprüngliche Unwucht berechnen
- Berechnung der Größe und Lage der hinzuzufügenden oder zu entfernenden Auswuchtmassen
- Kontrollmessung (A) nach durchgeführter Massenkorrektur

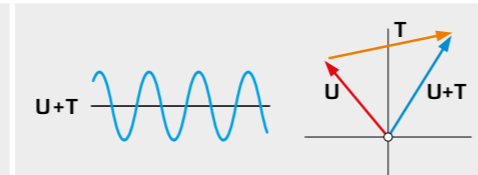
Je nach Erfolg der Wuchtung wird diese Prozedur so lange wiederholt, bis die gewünschten Grenzwerte der Lagerschwingung eingehalten werden.



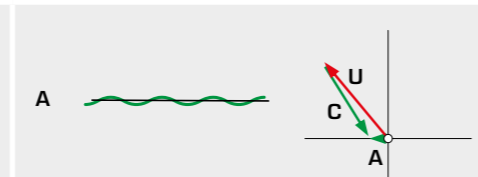
Messung der Lagerschwingungen der unausgewuchteten Maschine (Urunwuchtlauf **U**)



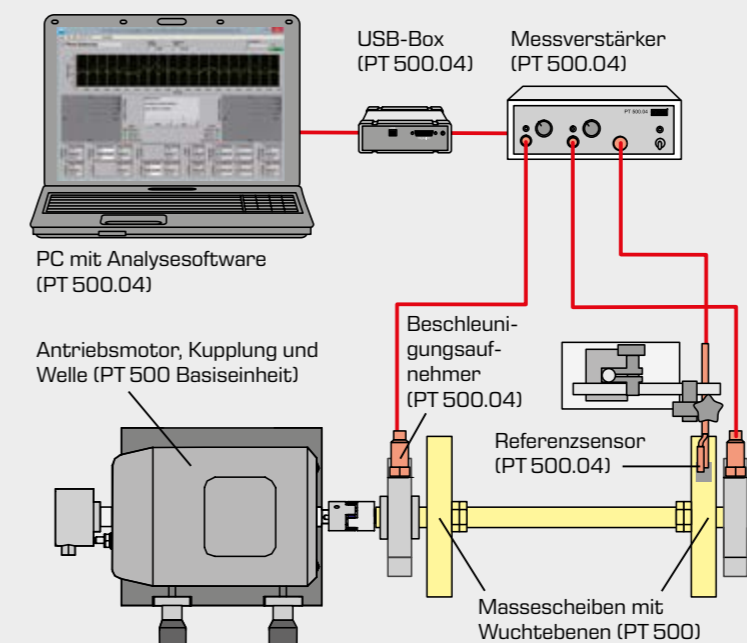
Messung der Lagerschwingungen, nachdem die Maschine mit einer zusätzlichen, bekannten Unwucht versehen wurde (Testunwucht **T**). Aus dem Vergleich der beiden Messungen lässt sich die ursprüngliche Unwucht berechnen.



Berechnung der Größe und Lage der hinzuzufügenden oder zu entfernenden Auswuchtmassen (**C**). Kontrollmessung (**A**) nach durchgeführter Massenkorrektur. Je nach Erfolg der Wuchtung wird diese Prozedur so lange wiederholt, bis die gewünschten Grenzwerte der Lagerschwingung eingehalten werden.



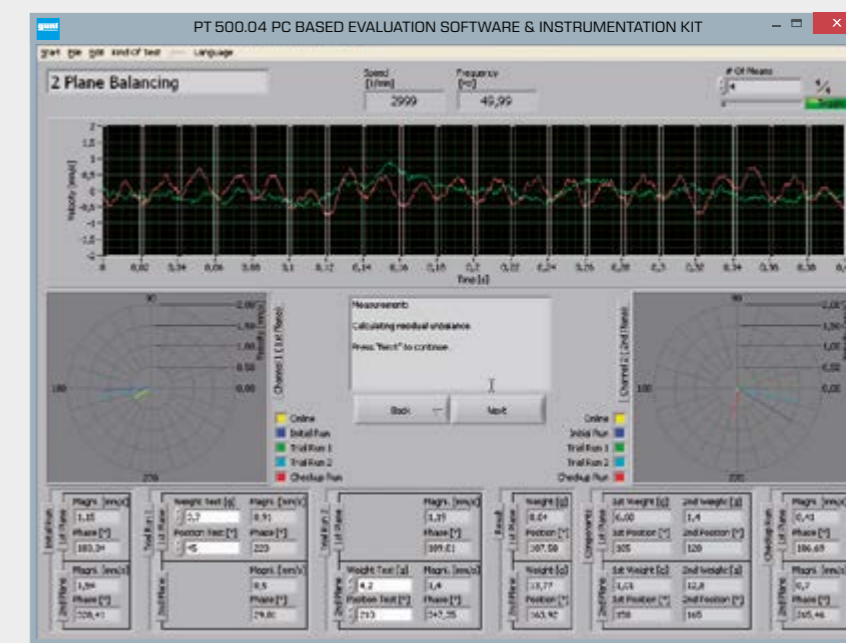
### Versuchsaufbau zum Zwei-Ebenen-Auswuchten



Für den Versuchsaufbau werden neben der Basiseinheit PT 500 nur das PC-gestützte Schwingungsanalysegerät PT 500.04 benötigt. Der skizzierte Versuchsaufbau zeigt einen Rotor mit zwei Massescheiben zur Durchführung eines Zwei-Ebenen-Auswuchtens. Die Beschleunigungsaufnehmer messen die Lagerschwingungen direkt neben den Massescheiben. Eine Reflexmarke auf einer der Massescheiben dient als Referenz für die Winkelinformationen. Da beim Auswuchten das Übertragungsverhalten zwischen Massescheibe und Messstelle bestimmt wird, müssen die einzelnen Messläufe bei exakt der gleichen Drehzahl durchgeführt werden. Zur Simulation einer Unwucht werden kleine Massen an die Massescheibe geschraubt. Ebenso wird mit den Test- und Ausgleichsmassen verfahren.

### Typisches Versuchsergebnis

Die Abbildung zeigt die Bedienoberfläche der Software nach einem vollständigen Auswuchtvorgang. Im oberen Fenster wird zur Kontrolle das Schwingungssignal direkt angezeigt. In den beiden Diagrammen rechts und links werden die Unwuchtsignale der einzelnen Messläufe als Vektoren dargestellt. Dazwischen zeigt ein Dialogfenster den nächsten durchzuführenden Schritt an. Im unteren Teil des Bildschirms werden die Ergebnisse der Messläufe, die Lage und Größe der Testmassen und die Lage und Größe der berechneten Ausgleichsmassen angezeigt.

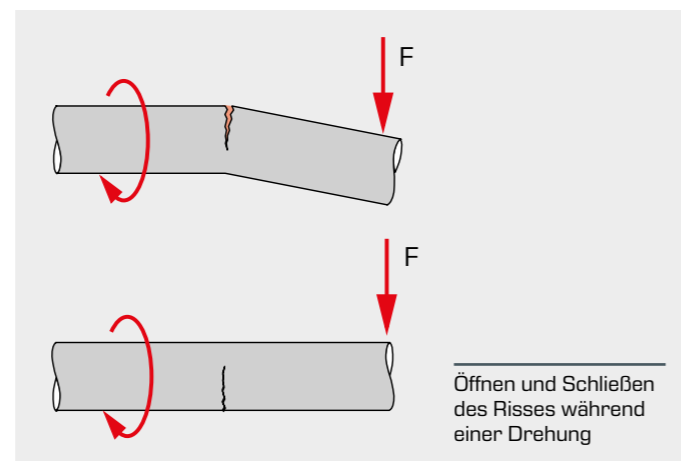
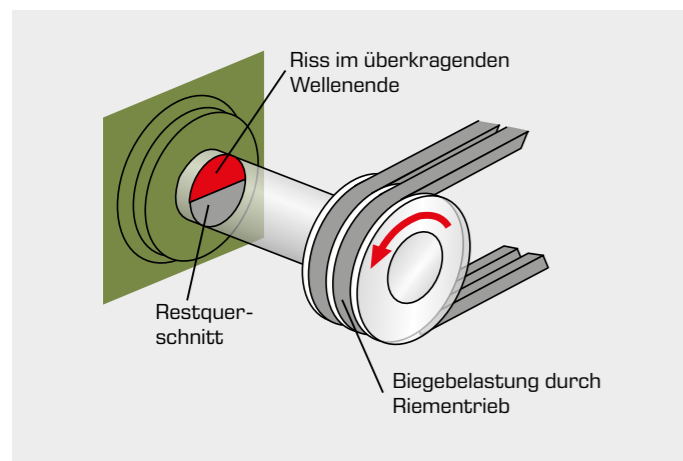


Screenshot: Zwei-Ebenen-Auswuchten

## Beispiel: Identifikation von Rissen in Wellen

Risse in Wellen gehören zu den gefährlichsten Schäden. Wird ein Riss nicht rechtzeitig entdeckt, so kann die Welle brechen. Da dies meist bei hohen Drehzahlen und Lasten passiert, sind die Folgen verheerend und können zur totalen Zerstörung der Maschine führen. Früher wurde die Maschine in festen Zeit-

abschnitten total zerlegt und der Rotor einer aufwendigen Rissprüfung unterzogen. Die Kosten für so eine Untersuchung sind enorm. Mit den modernen Methoden der Maschinenzustandsüberwachung ist es möglich, Risse an der eingebauten Maschine zu erkennen.



Risse entstehen durch Materialfehler, Materialermüdung und Spannungskonzentration an Oberflächenfehlern. Die dauernde Biege-Wechselbeanspruchung bei der Drehung der Welle führt dann zum steten Rissfortschritt, bis der gesunde Restquerschnitt schließlich im Gewaltbruch nachgibt.

Die Steifigkeit der Welle wird durch den Riss gemindert. Diese Steifigkeitsminderung wird durch die Drehung der Welle moduliert, so dass jeweils die Steifigkeit bei Lage des Rissgrundes parallel zur Belastungsrichtung etwas höher ist als quer dazu. Außerdem kann sich der Riss während einer Drehung fortlaufend öffnen und schließen.

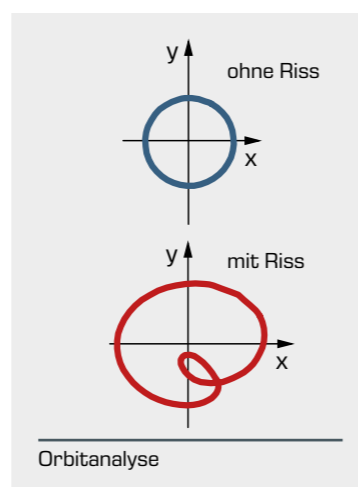
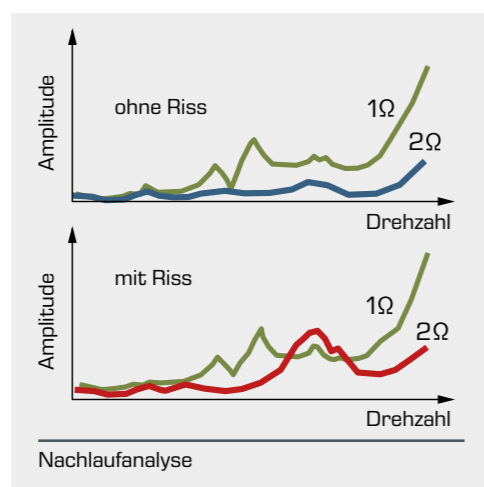
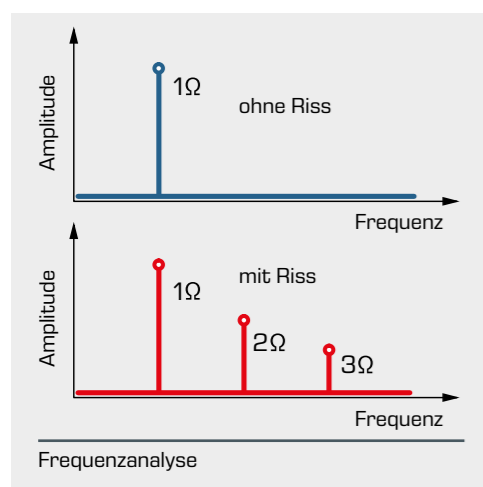
### Analysemethoden

Diese genannten Phänomene erzeugen ein charakteristisches Schwingungssignal, welches zur Identifikation des Risses genutzt werden kann. Speziell die Harmonische der 2. Ordnung steigt gegenüber der ungeschädigten Welle stark an. Als Analysemethoden eignen sich Frequenzanalyse, Nachlaufanalyse und Orbitanalyse.

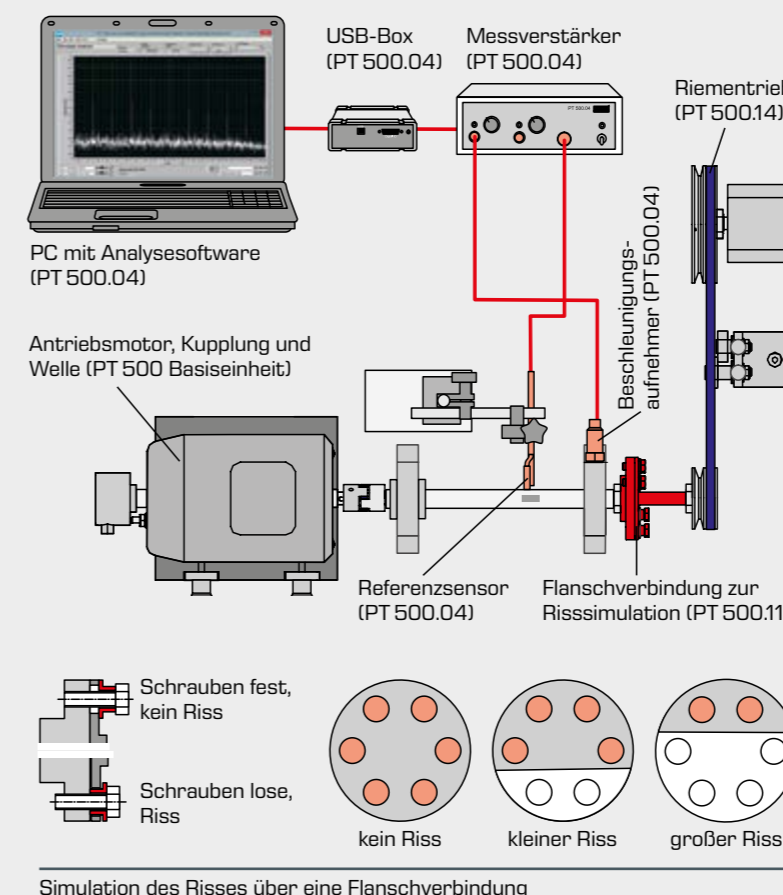
Bei der **Frequenzanalyse** wird bei einer festen Drehzahl das Frequenzspektrum des Signals betrachtet. Bei einem Riss treten zusätzliche Frequenzlinien im Spektrum auf.

Bei der **Nachlaufanalyse** wird das Schwingungssignal über einen größeren Drehzahlbereich aufgenommen und in einem speziellen Filter nach den verschiedenen drehfrequenten Ordnungen untersucht.

Bei der **Orbitanalyse** sieht man sich die über zwei Wegaufnehmer gemessene Bahnkurve der Welle an. Anteile der 2. Ordnung machen sich hier durch eine Schlaufenbildung in der Bahnkurve bemerkbar.



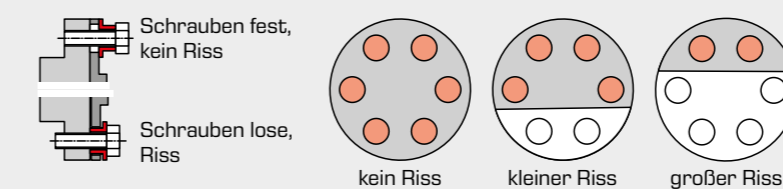
### Versuchsaufbau zur Identifikation von Rissen in Wellen



Mit dem Zubehörsatz PT 500.11 Riss in der Welle sind zwei unterschiedliche Versuchsaufbauten möglich:

- Riss an einer übertragenden Welle unter äußerer Belastung
- Riss an einer Lavalwelle unter Eigengewichtsbelastung

Gezeigt ist hier der Versuchsaufbau mit übertragender Welle. Die äußere Belastung wird über die Vorspannung des Keilriemens simuliert. Zur Simulation eines Risses mit variabler Risstiefe wird eine spezielle Flanschverbindung in die Welle eingefügt. Je nach Einbaulage der besonders gestalteten Distanzhülsen ergibt sich an den Verbindungsschrauben eine feste Klemmung oder eine lose Verbindung mit Spiel. Über die Anzahl der losen Schrauben kann damit ein unterschiedlich tiefer Riss simuliert werden.



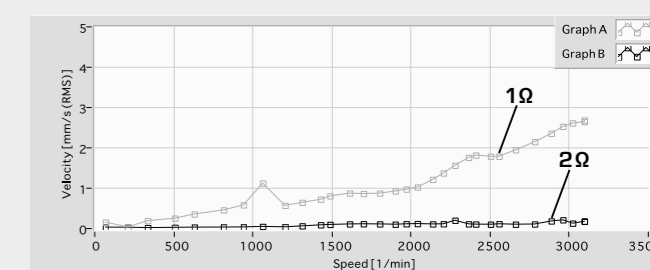
Simulation des Risses über eine Flanschverbindung

### Typisches Versuchsergebnis

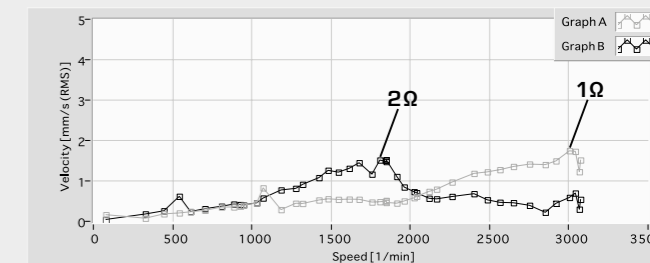
Die beiden Abbildungen zeigen das Ergebnis einer Nachlaufanalyse. Die Messungen wurden am gezeigten Versuchsaufbau mit der übertragenden Welle vorgenommen. Graph A zeigt den Anteil der Lagerschwingung 1. Ordnung (1Ω), Graph B den Anteil der 2. Ordnung (2Ω).

In der oberen Abbildung waren alle Schrauben der Flanschverbindung fest, dies entspricht dem Zustand ohne Riss. Die Lagerschwingungen der 1. Ordnung nehmen aufgrund der Unwucht ganz normal mit der Drehzahl zu. Die Lagerschwingungen 2. Ordnung sind sehr klein.

In der unteren Abbildung wurde ein tiefer Riss simuliert. Hier waren nur 2 der 6 Schrauben fest angezogen. Während die Lagerschwingungen 1. Ordnung ein ähnliches Verhalten wie bei einer Welle ohne Riss zeigen, gibt es bei der 2. Ordnung im mittleren Drehzahlbereich einen sehr kräftigen Anstieg, ein deutliches Indiz für einen Riss.



Nachlaufanalyse Welle ohne Riss



Nachlaufanalyse Welle mit Riss

# Das modulare System

## Basiseinheit



Die Basiseinheit PT 500 zusammen mit dem PC-gestützten Schwingungsanalysegerät PT 500.04 ermöglicht bereits eine Reihe von Übungen zum Thema Maschinendiagnose und -überwachung.

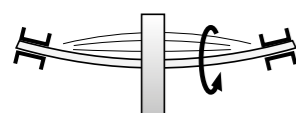
Neben reinen Messübungen zur Schwingungsmessung (Messung von Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit und Beschleunigung im Zeit- oder Frequenzbereich) kann das Betriebsauswuchten an starren Rotoren und das Ausrichten von Wellensträngen geübt werden.

Die Basiseinheit enthält eine schwingungsgedämpfte Aufspannplatte, einen drehzahlgeregelten Antriebsmotor mit Tachometer, eine Welle mit zwei Massescheiben und zwei Lagereinheiten, eine Kupplung und Wuchtgewichte.

Durch ein breites Zubehörprogramm kann fast jede Thematik der Maschinendiagnose behandelt werden.

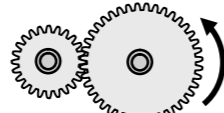
## Zubehör

### PT 500.10 Elastische Welle



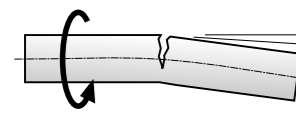
Unwuchtschwingungen einer biegeelastischen Welle, Resonanz, kritische Drehzahl, Auswuchten

### PT 500.15 Schäden an Getrieben



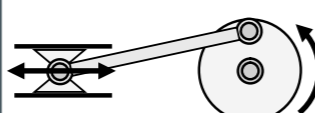
Identifikation von Getriebebeschäden aus dem Schwingungssignal, Einfluss von Verzahnungsart und Schmierung

### PT 500.11 Riss in der Welle



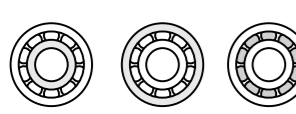
Schwingungsverhalten einer angerissenen Welle, Identifikation des Risses aus dem Schwingungssignal

### PT 500.16 Kurbeltrieb



Schwingungen in Kurbeltrieben, freie Massenkräfte, Schläge und Stöße infolge von Lagerspiel und Verschleiß

### PT 500.12 Schäden bei Wälzlagern



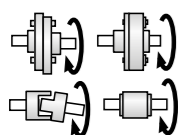
Identifikation von Lagerschäden aus dem Laufgeräusch, verschiedene vorgeschädigte Wälzlager im Lieferumfang

### PT 500.17 Kavitation in Pumpen



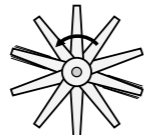
Geräusche und Schädigung infolge von Kavitation, Bedingungen für Kavitation

### PT 500.13 Kupplungen



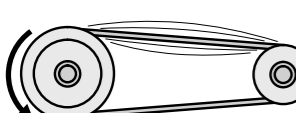
Eigenschaften unterschiedlicher Kupplungstypen, Einfluss von Rundlauf-, Planlauf- und Teilungsfehler auf das Schwingungsverhalten

### PT 500.18 Schwingungen in Gebläsen



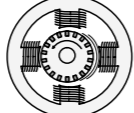
Schwingungen in Gebläsen, Demonstration von Schwingungsanregung über Schaufelpassage, Einfluss von Kreiselwirkung

### PT 500.14 Riementrieb



Schwingungen in Riementrieben, Resonanz und kritische Drehzahlen, Einfluss von Riemen-spannung, Rundlauf und Ausrichtung

### PT 500.19 Elektromechanische Schwingungen



Wechselwirkung elektromagnetisches-mechanisches System, Einfluss von Belastung, Luftspaltgeometrie und elektrischer Asymmetrie

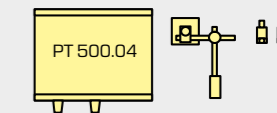
In der folgenden Übersicht wird gezeigt, wie Sie die dargestellten Zubehöre sehr flexibel für die unterschiedlichen Versuche miteinander kombinieren können.

- Basis-Zubehöre finden wiederholt Verwendung
- Durch das Baukastensystem können Sie auch eigene Versuchsanordnungen leicht realisieren.
- Für den Fall, dass eine spezielle Messtechnik bereits im Hause ist, kann diese problemlos in das System integriert werden.

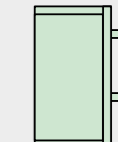
## Basis-Zubehöre werden für viele Anwendungen benötigt



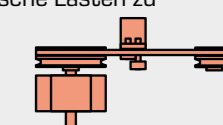
Das PC-gestützte Schwingungsanalysegerät PT 500.04 wird bei jeder Anwendung benötigt.



Da viele Schäden erst unter Belastung deutlich werden, ist bei vielen Versuchen die Brems- und Belastungsvorrichtung PT 500.05 sinnvoll.



Der Riementrieb PT 500.14 dient bei vielen Versuchen auch dazu, statische Lasten zu erzeugen oder eine Drehzahlreduktion zu ermöglichen.



<p>Versuchsaufbau Lagerschwingungen und Auswuchten</p>	<p>Versuchsaufbau Welle mit Riss</p>	<p>Versuchsaufbau Lagerschäden</p>	<p>Versuchsaufbau elastische Welle</p>
<p>Versuchsaufbau Riementrieb</p>	<p>Versuchsaufbau Getriebe</p>	<p>Versuchsaufbau Kupplungen</p>	<p>Versuchsaufbau Kavitation</p>
<p>Versuchsaufbau Schwingungen in Ventilatoren</p>	<p>Versuchsaufbau Kurbeltrieb</p>	<p>Versuchsaufbau elektromechanische Schwingungen</p>	

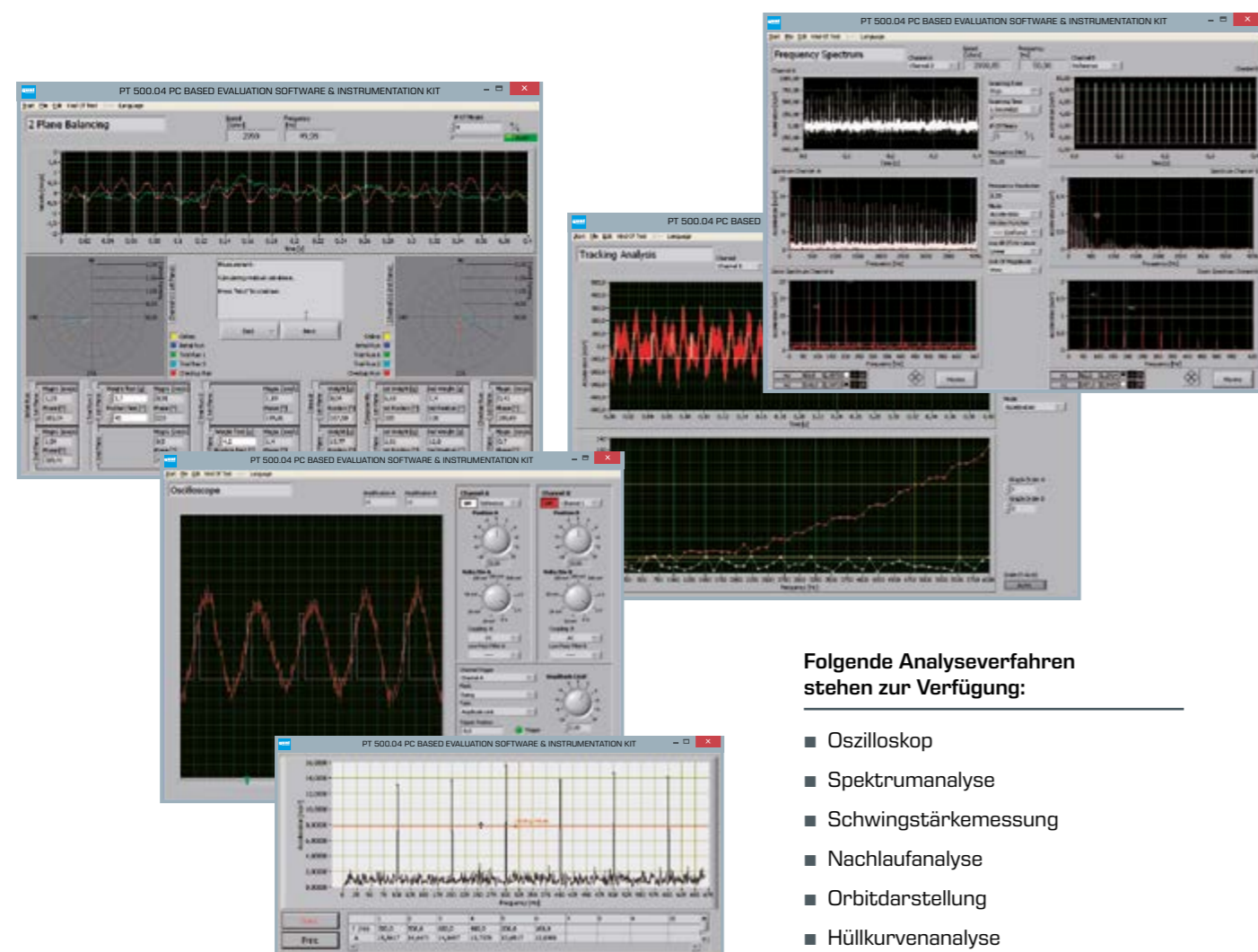
## Analysesoftware

Um die an ein Ausbildungssystem gestellten didaktischen Anforderungen optimal zu berücksichtigen, wurde eigens für das System zur Maschinendiagnose eine Analysesoftware entwickelt.

Während bei den gebräuchlichen Systemen für den industriellen Einsatz das Sammeln von Daten, Statistik-funktionen und eine umfangreiche Anpassung an ver-schiedenste Aufgabenstellungen im Vordergrund stehen, zeichnet sich unsere Software durch die übersichtliche, leichte Bedienung und das schnelle Wechseln zwischen verschiedenen Analysemethoden aus. Damit können während eines Messlaufes die Vor- und Nachteile der verschiedenen Verfahren deutlich gemacht werden.

Ein Signal kann z.B. in den unterschiedlichen Darstellungsformen (Zeitverlauf, Spektrum, Orbit, Ordnungsanalyse) dargestellt werden. Ebenso sind die Eigenarten von Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Wegsignal übersichtlich darstellbar. Der Einfluss von Abtastrate, Aufnahmedauer, Empfindlichkeit und Zeitbasis ist demonstrierbar. Das ermöglicht dem Auszubildenden, ein Gefühl für die Vorgänge bei der Schwingungsanalyse zu entwickeln.

Komplizierte Einstellungen und Konfigurationen wie bei industriellen Systemen sind nicht erforderlich.



### Folgende Analyseverfahren stehen zur Verfügung:

- Oszilloskop
- Spektrumanalyse
- Schwingstärkemessung
- Nachlaufanalyse
- Orbitdarstellung
- Hüllkurvenanalyse
- Betriebsauswuchten in einer Ebene
- Betriebsauswuchten in zwei Ebenen

Selbstverständlich ist die Software viersprachig und mit einer integrierten Hilfefunktion versehen.

Hardwarebasis ist ein Messverstärker zum Anschluss von zwei ICP-Beschleunigungsaufnehmern, zwei induktiven Wegaufnehmern und einem optischen Referenzsensor. Über ein USB-Datenerfassungssystem kann ein PC direkt und ohne Eingriff in den Rechner angeschlossen werden.

## Das didaktische Begleitmaterial

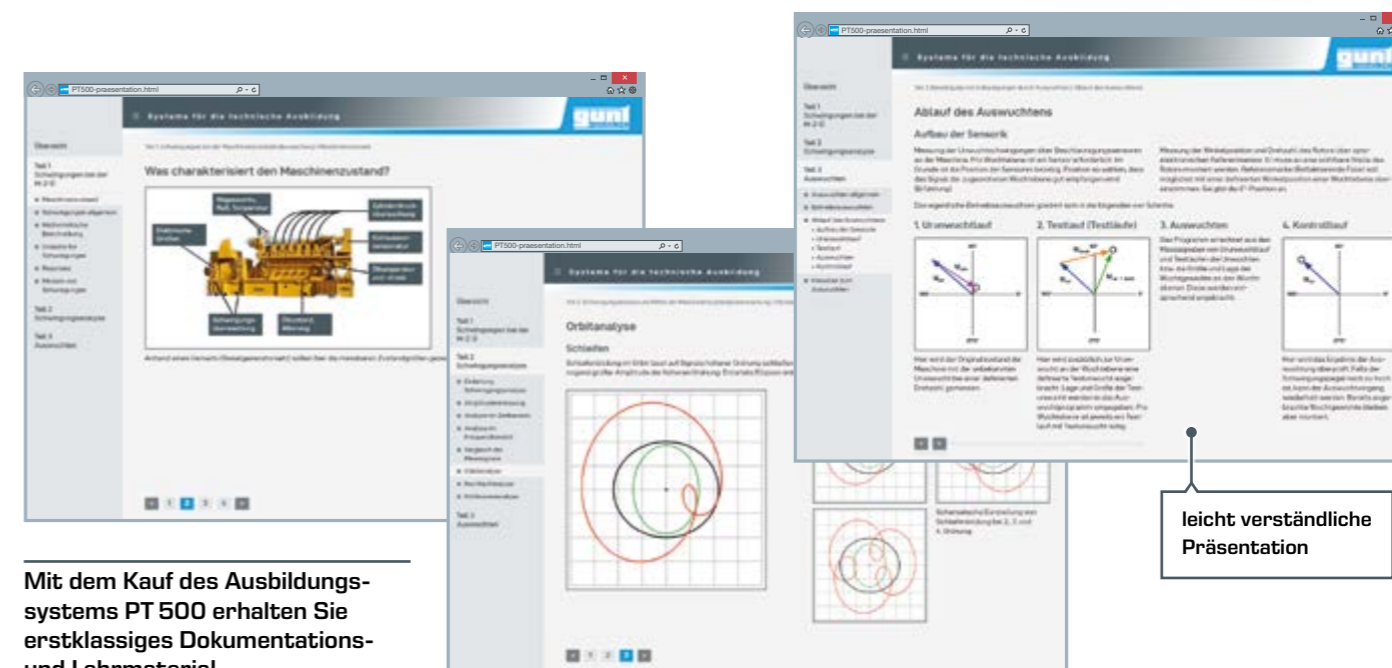
Für die Serie PT 500 haben wir ausführliches Begleitmaterial entwickelt. Dies ermöglicht Ihnen einen leichten Einstieg in das anspruchsvolle Gebiet der Maschinendiagnose.

- Eine Darstellung der Schwingungsmesstechnik stellt die verschiedenen Schwingungssignale dar und gibt eine Einführung in die Messtechnik. Die Fähigkeiten der unterschiedlichen Analyseverfahren mit ihren Vor- und Nachteilen werden ausführlich erläutert.
- Für die praktischen Versuche in den jeweiligen Themengebieten sind ausführliche, bebilderte Aufbauvorschlüsse enthalten. Beispielhafte Messergebnisse erleichtern die richtige Bewertung der eigenen Versuche und die Fehlersuche.

- Eine umfangreiche Präsentation (Folie, CD) mit den aufbereiteten Grundlagen der Maschinendiagnose bietet eine hervorragende Hilfe im Unterricht.

Das Begleitmaterial ist professionell gestaltet: anschauliche Grafiken, leicht verständlicher Text. Die Grundlagen der Schwingungstechnik eignen sich besonders, um als Skript direkt an die Studierenden verteilt zu werden.

Für einen nachhaltigen Lernerfolg in diesem komplizierten und anspruchsvollen Themengebiet empfehlen wir allerdings eine solide ingenieurwissenschaftliche Vorbildung auf den Gebieten Maschinendynamik, Schwingungslehre und Mathematik.



Mit dem Kauf des Ausbildungssystems PT 500 erhalten Sie erstklassiges Dokumentations- und Lehrmaterial.

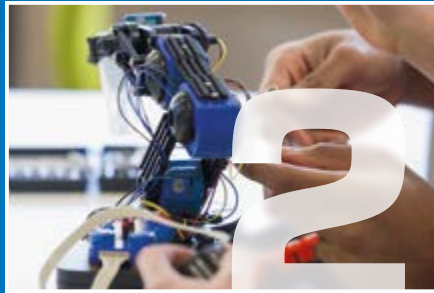


## Das GUNT-Gesamtprogramm



### Technische Mechanik und Konstruktionslehre

- Statik
- Festigkeitslehre
- Dynamik
- Maschinendynamik
- Konstruktionslehre
- Werkstoffprüfung



### Mechatronik

- Technisches Zeichnen
- Schnittmodelle
- Längenprüftechnik
- Maschinen- und Gerätetechnik
- Fertigungstechnik
- Montagetechnik
- Instandhaltung
- Maschinenzustandsüberwachung
- Automatisierung und Regelungstechnik



### Thermische Energietechnik

- Thermodynamische Grundlagen
- Wärmeübertrager
- Thermische Fluidenergiemaschinen
- Verbrennungsmotoren
- Kältetechnik
- Versorgungstechnik



### Technische Strömungsmechanik

- Stationäre Strömung
- Instationäre Strömung
- Umströmung von Körpern
- Elemente aus dem Rohrleitungs- und Anlagenbau
- Strömungsmaschinen
- Verdrängermaschinen
- Wasserbau



### Verfahrenstechnik

- Mechanische Verfahrenstechnik
- Thermische Verfahrenstechnik
- Chemische Verfahrenstechnik
- Biologische Verfahrenstechnik
- Wasserbehandlung



### 2E Energy & Environment

- | Energy                                   | Environment |
|--|-------------|
| ■ Solarenergie                           | ■ Wasser    |
| ■ Wasserkraft und Meeresenergie          | ■ Luft      |
| ■ Windkraft                              | ■ Boden     |
| ■ Biomasse                               | ■ Abfall    |
| ■ Geothermie                             |             |
| ■ Energiesysteme                         |             |
| ■ Energieeffizienz in der Gebäudetechnik |             |

## Kontakt

G.U.N.T. Gerätebau GmbH  
Hanskampring 15-17  
22885 Barsbüttel  
Deutschland

+49 40 670854-0  
sales@gunt.de  
www.gunt.de



Besuchen Sie uns  
im Internet unter  
[www.gunt.de](http://www.gunt.de)