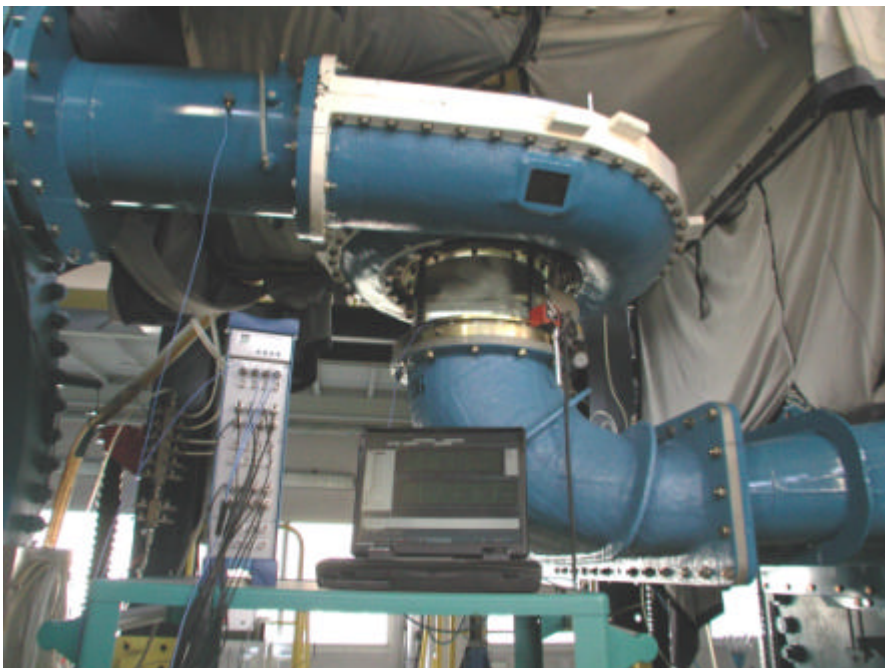


Januar 2004

Schwingungen sichtbar machen *Messen statt mutmaßen*



Schwingungen sind ein universelles Grundprinzip der Natur. Sie finden sich nicht nur im Mikro- und Makrokosmos in Raum und Materie, sondern auch in menschlichen Erfindungen, wie z.B. Maschinen. Manchmal gewünscht, all zu oft aber auch nur als Nebenprodukt, vor allem in rotierenden Maschinen.

Solche ungewollten Nebenprodukte können schnell störend werden, wenn sie zu spüren oder hören sind, oder die Lebensdauer von Bauteilen nachteilig beeinflussen.

Dann heißt es ihnen zu Leibe zu rücken! Das was stört, was zu spüren und hören ist, ist meist nicht ohne weiteres sichtbar. Um es trotzdem unserem analytischen Verstand zugänglich zu machen, hat der Mensch Hilfsmittel erfunden, um Schwingungen sichtbar zu machen, denn ohne sie zu sehen und zu verstehen ist Beeinflussung und Reduzierung kaum möglich. Wandler verschiedenster Verfahren

existieren, um Schwingungen in elektrische Signale zu wandeln. Diese werden mit moderner Elektronik gemessen, mit Computer verarbeitet und dargestellt, wie im obigen Bild gezeigt.

Misst man also z.B. mit einem Beschleunigungsaufnehmer Schwingungen auf einer Struktur, so möchte man zu deren Verständnis wissen, welche Schwingamplitude vorlag, aber auch deren zeitlichen Verlauf, deren Frequenzverhalten und Phasenbeziehung. Oft reicht ein Messpunkt zum Verständnis nicht aus. Wir messen an mehreren Orten und lassen den Computer die Schwingform darstellen. Das nennet man Modalanalyse. Damit lässt sich die Schwingung eines Körpers schon sehr gut beschreiben. Ähnliche Verfahren bestehen für den von einer Maschine abgestrahlten Schall. Mit der Kartierung der Schallintensität wird sichtbar gemacht, wo und wie viel von welchem Schall abgestrahlt wird. (hp)

Keine Frage

Die konjunkturelle Lage ist angespannt, der Zwang zur Kosteneinsparung drängend und der Wettbewerb hart. Nun ist der „Blick über den Tellerrand“ gefordert. Hohe Qualität und Leistung, sowie langfristig verlässliche Partnerschaft und Planungssicherheit, sind gerade jetzt die Voraussetzung für eine erfolgreiche Zukunft, für den Kunden und den Lieferanten.

OROS hat seit seiner Gründung im Jahr 1985 einen enormen Wandel vollzogen. Als international ausgerichtetes Unternehmen verfügt OROS heute über ein Netzwerk von eigenen Niederlassungen und autorisierten Vertriebspartnern in über 25 Ländern der Welt. Als Hersteller mit eigener Hard- und Software Entwicklung, garantiert OROS die ständige Erweiterung seiner Produktpalette, die Einführung innovativer Neuigkeiten und die rechtzeitige Ausrichtung seiner Produkte auf zukünftige neue Anwendungen. Mit der OR3x Multianalysatorenreihe, bietet OROS heute die weltweit modernste und umfangreichste Messgerätefamilie für mobile Schall- und Schwingungsmessung.

Ein gesundes und erfolgreiches neues Jahr 2004 wünscht Ihnen

Herzlichst Ihr
Günther Ring

INHALT

- **Schwingungen sichtbar machen**
- **Zeitsignalerfassung**
- **Drehzahlabhängige Schwingungen**
- **Betriebswuchten**
- **Schwingformanalyse**
- **Schallmessung**
- **Mobile Multianalyse**
- **Dienstleistungen**
- **Gewusst wie**

Zeitsignalerfassung

Grundfunktion für jeden Messtechniker

Auch in Forschung und Entwicklung ist heute Zeit und Personal knapp. Echtzeitanalysatoren helfen bei der optimalen Nutzung dieser Ressourcen, indem am Ende eines Versuchs bereits Spektren, Wasserfälle usw. als Ergebnis vorliegen, ohne dass weitere Stunden der Offlineanalyse nötig sind. Umso effizienter gestaltet sich die Arbeit mit Multianalysatoren, die zeit-

gleich mehrere Analysefunktionen wie Oktavanalyse und FFT durchführen können.

Andererseits gibt es viele Fälle, in denen man vor der Messung noch gar nicht alle Fragen kennt, die der Versuch aufwerfen wird. Dann zahlt es sich aus, wenn man parallel zur Echtzeitanalyse das Zeitsignal aufzeichnen kann, um weitere Analysen ohne kost-

spielige Wiederholung eines Versuchs nachholen zu können. Genau das leisten die OROS Analysatoren der Reihe OR3x parallel zur Multianalyse.

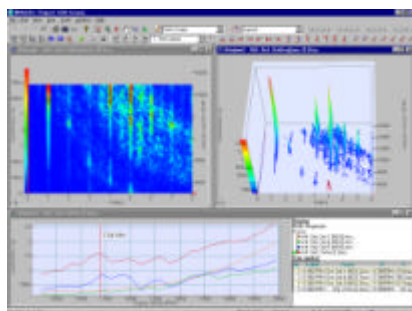
Natürlich sind OROS Analysatoren auch als universelle Datenrecorder einsetzbar, mit angeschlossenem PC und im Standalone Betrieb. Damit steht die Tür zu beliebiger zusätzlicher Auswertesoftware offen. Nicht zu vergessen all die Fälle, in denen schon die Darstellung des Zeitsignalverlaufs die erforderliche Aussage bringt. (ab)

Drehzahlabhängige Schwingungen

Hochlauf, Auslauf, Ordnungen und Co

Viele Messobjekte haben eines gemeinsam, einen rotierenden Antrieb, meist durch Verbrennungs- oder Elektromotoren. Entsprechend häufig sind Schwingungen zu untersuchen, die von einer Antriebsdrehzahl abhängen. Seien es Bauteilschwingungen, welche die Dauerfestigkeit beeinflussen, oder unangenehme Schallabstrahlungen. Untersucht man solche durch die Drehzahl bzw. zugehörige Drehfrequenz angeregte Schwingungen, wechselt man häufig von der Frequenzdomäne zu einer Betrachtung von Ordnungen. Neben der 1. Ordnung der Drehzahl sieht man dabei vielfältige andere Ordnungen in ganzzahligen oder krummen Verhältnissen. Sie entstehen aus der Kinematik der Maschine, durch Getriebefaktoren, Kupplungen und Ausgleichswellen, aus Zahneingriffs- und Wälzlagerfrequenzen, usw.

Meist führt man einen Hochlauf durch den gesamten Drehzahlbereich einer Maschine aus, oder falls praktikabler



einen Auslauf nach Abschaltung. Für die Untersuchung und Darstellung ausgewählter Ordnungen über der Drehzahl gibt es dabei eine Reihe von Verfahren.

Im einfachsten Fall betrachtet man FFT-Spektren als Wasserfall über der Drehzahl. Ordnungen erscheinen hier als Ursprungsgeraden und können grafisch extrahiert werden.

Als zweite Möglichkeit ermittelt das Constant Band Tracking ausgewählte Ordnungen automatisch aus FFT-Spektren. Dabei werden Frequenzbe-

reiche untersucht und so Abweichungen von rechnerischen Ordnungsfrequenzen berücksichtigt.

Als leistungsfähigstes Verfahren resampelt das Synchron Order Tracking das Zeitsignal auf eine konstante Anzahl von Abtastungen je Umdrehung (siehe dazu „Gewusst wie“). Anstelle von FFT-Spektren werden dann Ordnungsspektren analysiert, die sich für alle Drehzahlen direkt vergleichen lassen. Die Peaks der Ordnungen wandern nicht mehr drehzahlabhängig durch das Spektrum, wie das in der FFT der Fall ist. In einem Wasserfall über der Drehzahl zeigen sich die Ordnungen sofort als parallele Linien zur Drehzahlachse. Der „Order Track“ mit nur noch ausgewählten Ordnungen über der Drehzahl ist ebenfalls möglich. Beides ist im Bild gezeigt.

OROS bieten alle geschilderten Verfahren der Ordnungsanalyse an und unterstützen Anwender bei der Auswahl des passenden Verfahrens für eine Anwendung. (ab)

Betriebswuchten

Wuchten starrer Rotoren in 1 und 2 Ebenen

Ein Rotor ist ein sich im Betriebszustand um eine Achse drehender Körper. In der Regel besteht ein Rotor aus einer Welle mit einer oder mehreren aufgesetzten Scheiben. Die Scheiben können z.B. Schwungmassen, Schleifscheiben oder mit Turbinenschaufeln aufgebaute Ringe sein. Die Wellen laufen in in Lagerböcken eingesetzten Kugellagern. Diese ermöglichen erst die rotierende Bewegung des Körpers. Allgemein können Rotoren in zwei Gruppen eingeteilt werden. Je nach Antriebsdrehzahl sind dies Rotoren mit starrer oder nachgiebiger Welle. Wenn die Antriebsdrehzahl unter der Hälfte der so genannten ersten biegekritischen Drehzahl bleibt, verformt sich der Körper nicht. Bei solch einer Drehzahl und nicht rotationssymmetrischem Querschnitt der Welle und / oder der

Scheibe fällt die Rotationsachse nicht mit der Trägheitsachse des Körpers zusammen. Die Folge ist eine Taumelbewegung der Struktur, deren Größe vom möglichen Lagerspiel und der Lagersteifigkeit abhängt. In jedem Fall erfahren die Lager unnötig große bis unzulässige Belastungen. Bei einer größeren Drehzahl wird die Welle sich auf Grund der nicht rotationssymmetrischen Querschnitte ausbiegen. Sie kann, je nach Position der Scheiben auf der Welle, diese sogar schräg stellen und so die Taumelbewegung zusätzlich verstärken.

Eine Verbesserung der Laufruhe wird nur durch die Reduktion der Unsymmetrie mit Ausgleichsmassen erreicht. Dabei nähert sich dann die Trägheitsachse der Rotationsachse an. Starre Rotoren können in ein oder zwei

Wuchtebenen hinreichend genau gewuchtet werden. Der Ablauf des Wuchtens ist:

- ▶ Eingabe der geforderten Wuchtgüte
- ▶ Eingabe der Rotorkennenden
- ▶ Urfahrt
- ▶ Tarierfahrten 1 und 2 mit Tariermassen
- ▶ Wuchtprognose mit Vorschlag
- ▶ Wuchtmassen setzen
- ▶ Wuchtfahrt und Protokoll

Zur Lösung dieser Aufgabe ist ein OROS Wuchtmodul in Vorbereitung, das in Kürze verfügbar ist. Voraussetzung ist ein OROS OR3x Analysator mit NVGate Software und das Wuchtmodul.

Das Modul ist geeignet für Wuchten im Labor wie auch draußen vor Ort. (hph)

Schwingformanalyse ODS, SDOF, MDOF,

Jede Struktur besitzt eine Reihe von Eigenfrequenzen. Wird die Struktur angeregt, so schwingt sie in ihren Eigenschwingformen. Diese Eigenwerte sind nur von der Struktur abhängig und nicht von der Anregung. Wird z.B. eine Maschine zu Schwingungen angeregt, so schwingt Sie bei Anregung nahe ihrer Eigenfrequenzen in ihren Eigenschwingformen. Bei Anregung zwischen Resonanzen ist die Schwingform eine Kombination der Eigenschwingformen der benachbarten Eigenfrequenzen.

Die genaue Kenntnis solcher Betriebschwingformen ist Voraussetzung für ihre Beeinflussung. Dazu misst man die Betriebschwingungen an einer hinreichenden Anzahl von Messpunkten auf der Struktur. Alle Modalanalyse Programme können dann einfach die Betriebschwingform bestimmen und darstellen genannt. ODS: Operating Deflection Shape.

Wer dagegen die Eigenschwingformen seiner Struktur bestimmen will, muss neben den Schwingungen auf der Struktur auch deren Anregungskraft mitmessen.

Das Modalanalyse Programm be-

stimmt dann die modalen Parameter, denn erst durch Eigenfrequenz, Schwingform und Dämpfung ist das dynamische Verhalten der Struktur hinreichend beschrieben.

Zahlreiche Verfahren zur Bestimmung der modalen Parameter stehen in den Programmen zur Verfügung. Sind meine Eigenformen entkoppelt und verhalten sich deshalb wie Systeme mit einem Freiheitsgrad, so ist das einfache und schnelle SDOF Verfahren bestens geeignet. (Single Degree Of Freedom). Sind die Moden gekoppelt, ist eine Identifizierung mit einem MDOF (Multi Degree Of Freedom) Algorithmus besser geeignet. Ganz dicht beieinander liegende Moden, wie häufig bei rotationsymmetrischen Teilen, lassen sich oft nur durch Verwendung mehrerer Referenzmessstellen trennen.

Die Kenntnis der Eigenwerte ist wichtige Grundlage für jede Schwingbeeinflussung. Deshalb werden diese grundlegenden Werte auch z.B. an Rohkarossen gemessen, wie im nebenstehenden Beispiel gezeigt. Solche Messungen dienen auch zum Anpassen von Finite Elemente Berechnungen an die tatsächlichen Randbedin-



gungen. Ist das FE Programm erst einmal abgeglichen, können Strukturveränderungen sehr einfach und schnell gerechnet werden. Die Modifikation der Struktur oder das Erstellen neuer Prototypen ist dagegen viel aufwendiger.

Das Messen und Bestimmen von Schwingformen an zusammengebauten Maschinen, oder z.B. einem fertigen Auto ist nicht zuletzt wegen der höheren Dämpfung ungleich schwerer. Die Kenntnis der Schwingeneigenschaften der Einzelteile oder z.B. der obigen Rohkarosse können das Wiederfinden der Schwingformen des Zusammenbaus wesentlich vereinfachen. Ein Vergleich der Ergebnisse der Betriebschwingung mit der Modalanalyse zeigt auch, ob die Struktur im Betrieb in Resonanz schwingt, oder ob sie bei einer anderen Frequenz zwangserregt wird. Das ist für eine Modifikation der Schwingungen von entscheidender Bedeutung. (hp)

Schallmessung

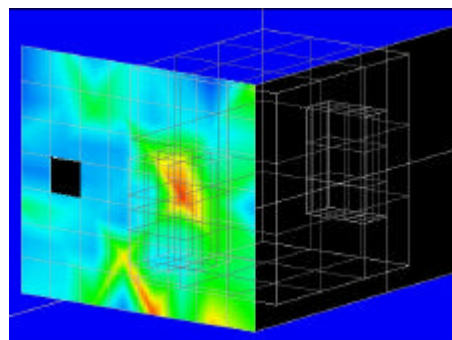
Schall – Problem oder Qualitätsmerkmal ?

Radau oder Ohrenschaus, so lautet die Frage bei der höchst subjektiven Bewertung von Musik. An Maschinen, Fahrzeugen, Anlagen, usw. sind dagegen objektive Maßstäbe gefragt.

Unzweifelhaft kann Lärm unangenehm und sogar gesundheitsgefährdend sein. Daher wird er in den letzten Jahrzehnten immer häufiger gemessen, um Produkte hinsichtlich ihrer Geräuscentwicklung bewerten und vergleichen zu können. Wird es zu laut, sind zielführende Wege zur Lärmreduktion gefragt. Allerdings ist laut nicht immer gleich Lärm. Der „Sound“ eines Sportwagens oder das Zuschlagen einer Fahrzeugaure sollen nicht verschwinden, sondern vielmehr Leistung und Qualität ausstrahlen. „Sound Quality“ ist hier das Ziel.

Gebäuchlichstes Werkzeug in der industriellen Akustik ist die Oktavanalyse, mit ihren Oktaven, Terzen (Bild unten) oder noch schmalere 1/n-Oktavbändern. Mit CPB-filterbasierender Analyse, verschiedenen Bewer-

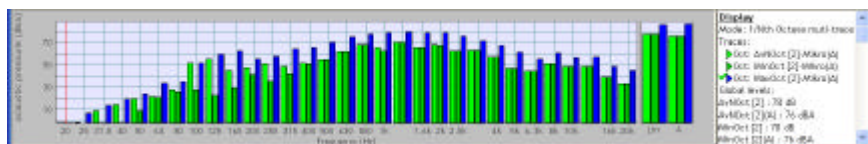
tungen und Mittelungen (Fast, Slow, Leq, ..) werden dem menschlichen Gehör angepasste Werte wie der Schallpegel in dB(A) normgerecht ermittelt. Aus den Oktavspektren und ggf. zusätzlichen FFT-Spektren können dominierende Frequenzen erkannt werden, die oftmals Rückschlüsse auf lärmverursachende Bauteile gestatten. Um die Schallemission verschiedener Messobjekte vergleichbar zu machen, unabhängig vom Messort und Randbedingungen, wird der Schalleistungspegel verwendet. Dieser kann auf zwei verschiedene Arten normgerecht bestimmt werden. Einerseits mittels Schalldruckpegelmessungen an mehreren Mikrofonpositionen, was zahlreiche Messkanäle und bestimmte Umgebungsbedingungen erfordert. Andererseits über die Schallintensitätsmessung mit nur einem Mikrofonpärchen. Das Schallintensitätsverfahren stellt geringere Anforderungen an die Umgebungsbedingungen während der Messung, ist dafür aber zeitaufwändig



Sollen Maßnahmen zur Lärminderung einer Maschine unternommen werden, sucht man oftmals die Hauptlärmquellen. Auch dabei hilft die Schallintensitätsmessung, die Schallquellen zur Ortung bildlich darstellen kann (Bild oben). Mit wesentlich größerem Messtechnischen Aufwand gibt es zu diesem Zweck auch weitere Verfahren wie z.B. das Beamforming, die viele Messpunkte auf einmal verarbeiten.

Geht es um Psychoakustik und Sound Design gibt es wieder andere Kennwerte und Werkzeuge für die Optimierung von Messobjekten.

Für all diese Anwendungen bietet OROS leistungsfähige Echtzeitanalysatoren und Softwarelösungen an, die dem Anwender schnell und zuverlässig Ergebnisse liefern. Und handelt es sich um noch nicht so etablierte Verfahren, ist OROS offen für weitere Wünsche. (ab)



Mobile Multianalyse

Gleichzeitig FFT, Oktav- und Ordnungsanalyse, Recording,

Der Trend zu tragbaren Analysatoren nimmt stetig zu. Zum einen sollen die Geräte möglichst handlich, robust und preiswert sein, zum anderen die Leistungsfähigkeit von großen und teuren Laborsystemen erreichen. OROS hat diesen Trend sehr frühzeitig erkannt, und ist heute ein Hersteller, der sich ausschließlich auf die Entwicklung und Fertigung dieser Produkte spezialisiert hat.

Als Echtzeit Signalanalysator verarbeitet jeder OROS Multianalysator die digitalisierten Zeitdaten sofort und stellt die Ergebnisse auf dem über schnelles Ethernet angeschlossenen PC dar. Da die Berechnung der Messdaten auf schnellen und skalierbaren DSP's im Analysator erfolgt, steht dem Anwender die gesamte Rechenleistung des PC zur Verfügung, um gleichzeitig jede andere Applikationssoftware zu nutzen, ohne hierdurch die Datenintegrität zu gefährden.

Echtzeit heißt, dass alle Signale der bis zu 32 Eingangskanäle gleichzeitig und lückenlos analysiert werden können.

Das gilt für die FFT ebenso wie für die Oktavanalyse oder die Synchrone Ordnungsanalyse mit digitalem Resampling der Zeitsignale. Darüber hinaus können dank Multianalyse verschiedene Signalanalysen gleichzeitig ausgeführt werden, beispielsweise FFT und Oktavanalyse beliebig gemischter Kanäle. Für andere Anwendungen können bis zu 4 FFT Analyseprozesse die Signale mit unterschiedlicher Bandbreite, Linienzahl, Fensterfunktion etc. analysieren. Ebenso kann die Synchrone Ordnungsanalyse auf zwei verschiedene Drehzahlen gleichzeitig resampeln. Parallel zur Multianalyse können immer auch die Zeitrohdaten alle Kanäle auf der internen Festplatte des Analysators abgespeichert werden. Sei es zur Sicherheit bei nicht wiederholbaren Versuchen, oder für die Analyse in anderen Softwarepaketen, beispielsweise in der Psychoakustik. Selbst bei 32 Kanälen bietet OROS maximale Mobilität. Ein komplett ausgestatteter OR38 wiegt lediglich 7 kg. (gr)



Gewusst wie

Synchrone Ordnungsanalyse (SOA)

Die Synchrone Ordnungsanalyse (SOA) verwendet drehzahlsynchrones Resampling, um aus einer konstanten Anzahl von Samples pro Sekunde eine konstante Anzahl von Samples pro Umdrehung zu berechnen. Wendet man auf dieses resampelte Signal die gleichen Algorithmen wie in der FFT an, erhält man direkt Ordnungsspektren. Man arbeitet nicht mehr „pro Sekunde“ sondern „pro Umdrehung“. Die Analogien zwischen den in FFT und SOA üblichen Informationen stellt unten stehende Tabelle dar.

Wie man sieht, stellen die Analysealgorithmen der SOA nichts spezielles dar. Der Unterschied ist das digitale Resampling, das Verfahren mit variabler Abtastrate der A/D-Wandler weitgehend ersetzt hat, da es wirtschaftlicher und flexibler ist.

Ein Echtzeitanalysator muss nun gleichzeitig zur Frequenzanalyse das Resampling leisten, das erheblich Rechenleistung erfordert. OROS beherrscht diese Doppelbelastung dank

skalierbarer DSP-Rechenleistung für volle Kanalzahlen der Analysatoren. Wesentlich für zuverlässige Ergebnisse der SOA ist die Qualität unserer verwendeten Drehzahleingänge, die für präzise Phaseninformation 64 fach oversampelt werden. Hinzu kommt ein spezieller Resamplingalgorithmus. Wenn man an einer rotierenden Maschine nur noch in Drehzahl denkt, stellt sich oftmals die Frage, welche Drehzahl man mit einer bestimmten maximalen Ordnung denn noch analysieren kann. Oder anders gefragt, welche Signalbandbreite in kHz man dazu benötigt, will man zuerst einmal ein Zeitsignal aufzeichnen. Die erforderliche Mindestbandbreite ergibt sich dabei ganz einfach aus der maximalen Ordnung und der maximalen Drehfrequenz einer Messung. Für maximal 25 Ordnungen bei bis zu 300 Hz Drehfrequenz (= 18.000 RPM) werden also mindestens 7.500 Hz Abtastrate benötigt. (ab)

FFT		SOA	
Begriff	Zahlenbeispiel	Begriff	Zahlenbeispiel
Frequenzbereich	1.000 Hz	Maximale Ordnung	25 Ordnungen
Frequenzauflösung	0,625 Hz	Ordnungsauflösung	1/32 Ordnung
Linienzahl	1600 ¹⁾	Linienzahl	800 ⁵⁾
Blocklänge	1,6 sec ²⁾ 4096 Samples ³⁾	Blocklänge	32 Umdr. ⁶⁾ 2048 Samples ⁷⁾
Samples pro Sek.	2.560 S/sec ⁴⁾	Samples pro Umdr.	64 S/Umdr. ⁸⁾

¹⁾=1.000/0,625 ²⁾=1/0,625 ³⁾=1600x2,56 ⁴⁾=1.000x2,56 ⁵⁾=25/(1/32) ⁶⁾=1/(1/32) ⁷⁾=800x2,56 ⁸⁾=25x2,56

Dienstleistungen

Erbringt OROS ganz nach Ihren Anforderungen und in gemeinsamer Absprache.

- ▶ Auftragsmessungen können wir in ihrem Haus mit einem unserer oder ihrem OROS Analysator durchführen, beispielsweise für die Modalanalyse.

Damit Sie ihr eigenes Personal entlasten.

- ▶ Gerätevermietung sichert Ihnen einen leistungsfähigen OROS Analysator, ohne ihn anschaffen zu müssen.

Damit Sie ihr Budget entlasten.

- ▶ Beratung zu Ihren messtechnischen Aufgaben in der Schwingung und Akustik, bis hin zur Übernahme kompletter Projekte, übernehmen wir in Zusammenarbeit mit spezialisierten Ingenieurbüros.

Damit Sie sich um fast nichts mehr kümmern müssen.

OROS GmbH

Clemensstraße 22-24

D-56068 Koblenz

Fon: 0261 – 1 33 96 50

Fax: 0261 – 1 33 96 49

Email: info@oros-deutschland.com



www.oros-deutschland.com