

MESSELEKTRONIK

Maschinendiagnose mit dem M 1302



IES Dipl.-Ing. Volker Reiss
Industrieelektronik-Service
01257 Dresden, Falkenhainer Str. 1
Tel. 0351/2883816, www.iesservice.de

Warum technische Diagnostik?

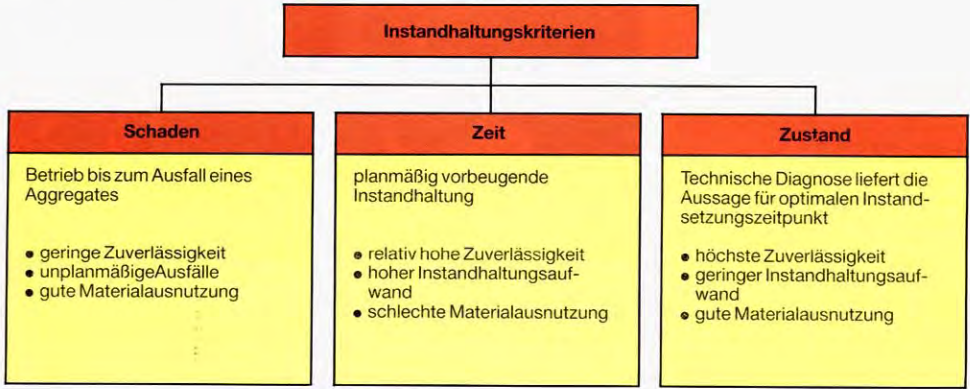
Es ist das Ziel jedes Betriebes, seine Maschinen und Anlagen möglichst effektiv, d. h. mit einem Minimum an Personal, Material und Energie zu betreiben und dabei ein Maximum an Produktivität, Qualität und Sicherheit zu erreichen.

Dem dabei auftretenden Verschleiß muß durch eine systematische Instandhaltung entgegengewirkt werden. Die technische Diagnose liefert die Informationen zur Optimierung des Instandhaltungsprozesses.

Die Organisation der Instandhaltung kann nach drei grundsätzlichen Strategien erfolgen:

- schadensorientiert
- zeitorientiert
- zustandsorientiert

Die zustandsorientierte Instandhaltung ist die fortschrittlichste Methode mit den geringsten Gesamtkosten.



Schadensorientierte Instandhaltung

Hierbei wird eine Maschine bis zum Schadensfall ohne Aufwand für Wartung betrieben. Dann erfolgt die Instandsetzung bzw. der Ersatz. Diese Methode ist nur für untergeordnete kleine Maschinen, die leicht austauschbar sind, anwendbar. Ausfälle und Stillstand erfolgen nicht planbar. Akzeptabel ist diese Methode z. B. im häuslichen Bereich.

Zeitorientierte Instandhaltung

Die planmäßige vorbeugende Instandhaltung ist heute allgemein industrielle Praxis. Durch Lebensdauerberechnungen, Herstellerangaben und eigene Erfahrungen werden hierbei in regelmäßigen Abständen die Aggregate stillgesetzt, inspiziert und die Verschleißteile unabhängig vom aktuellen Stand ausgetauscht. Oftmals erfolgt die Auswechslung der Wälzlager zu früh, und es entstehen



Schadenfolge durch nicht erkannte Schädigung eines Lagers

hohe Kosten durch Arbeitsaufwand und unvollkommene Ausnutzung der Materialreserven. Diese Methode garantiert eine relativ hohe Zuverlässigkeit; sie verursacht aber die höchsten Instandhaltungskosten. In bestimmten Fällen wird sie von Herstellern im Rahmen der Garantie zwingend vorgeschrieben.

Zustandsorientierte Instandhaltung

Die Instandhaltung wird dann durchgeführt, wenn der Maschinenzustand es erfordert. Eine möglichst genaue Kenntnis des aktuellen technischen Zustandes und seiner Trends sind dabei von großer ökonomischer Bedeutung. Die Ermittlung des technischen Zustandes von Maschinen und Anlagen erfolgt mit Methoden der Technischen Diagnose, wie:

- Messung von ausgewählten Parametern während des laufenden Betriebes
- subjektive betriebsspezifische Zustandsermittlungen (Geräusche, Geruch, Schmierstoffaustritt usw.)
- Prüfung und Kontrolle während der Stillstandsphasen
- Einbeziehung von Lebensdauerberechnungen

Messungen ausgewählter physikalischer Parameter während des Betriebes durch permanente Überwachungseinrichtungen oder ambulante Diagnosegeräte tragen wesentlich zu einer objektiven Zustandsbestimmung, der – besonders der Abnutzung unterworfenen – Ausrüstungen bei.

Die dabei auftretenden hohen Datenmengen der Meßwerte lassen sich mit den heute zur Verfügung stehenden modernen Personalcomputern optimal speichern und weiterverarbeiten. So können durch geeignete Software aus den aktuellen Zustandsgrößen und dem Trend Prognosen hergeleitet und die Zeitpunkte für notwendige Instandsetzungen festgelegt werden. Eine Berücksichtigung der Instandsetzung in der operativen Betriebsplanung wird dadurch ermöglicht.

Zustandsorientierte Maschineninstandhaltung ist die ökonomisch-effektivste und modernste Methode. Sie wurde durch die modernen Personalcomputer und deren Softwarekomponenten bzw. die durchgängige Anwendung der Informatik/Automatisierungstechnik in der Maschinensteuerung realisierbar.



Schwingungsmessungen an einem Strahltriebwerk des Typs D-30 KU

Methoden der Schwingungsdiagnostik

Die Größe und die Entwicklungsgeschwindigkeit von Bauteilschädigungen können durch Diagnoseparameter charakterisiert werden, die physikalische Vorgänge des Schädigungsprozesses abbilden. Solche Vorgänge können sein:

- Heraustrennen von Werkstoffteilen aus den Laufflächen von Lagern durch Bildung und Ausbreitung von oberflächennahen Ermüdungsrissen (Pittings)
- Riß, Bruch bzw. Verformung von Konstruktionselementen
- Temperaturveränderungen durch Reibungswärme
- Flankenreibungen von Mikrorissen
- Ausbildung von Misch- und Festkörperreibung infolge Schmiermittelmangel bzw. Verschmutzung

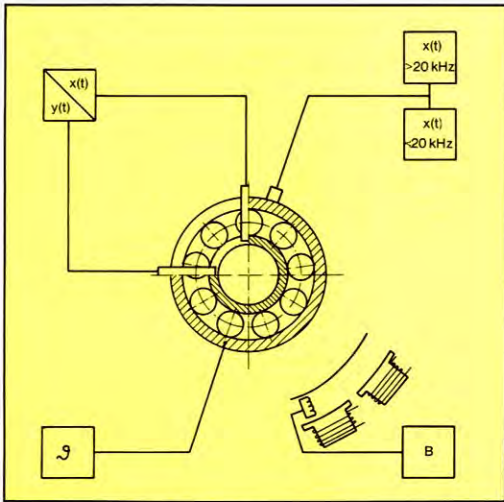
Schädigungsrelevante Diagnosemeßgrößen können deshalb sein:

- Parameter der Schwingungs- und Stoßmessung bei Überrollvorgängen
- Parameter der Schallemission

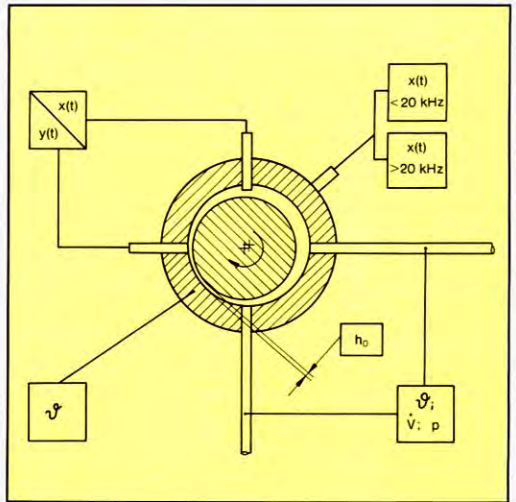
- Temperaturmessung
- Menge und Zusammensetzung von Materialabtragungen

Für die Diagnose unter Betriebsbedingungen hat die Schwingungsmessung eine dominierende Stellung eingenommen. Vor allem bei der Diagnose von Schädigungsvorgängen an Wälzlagern werden Schädigungsmerkmale in Form von mechanischen Schwingungen abgebildet. Gegenüber anderen Parametern haben die Schwingungsmessungen den Vorteil der unmittelbaren verzögerungsfreien Anzeige einer Veränderung.

Schwingungsmessungen an Lagerungen können, wie in den Abbildungen schematisch dargestellt ist, die Wellenschwingungen oder die Lagerbockschwingungen erfassen. Gelingt es, geeignete Bewertungskriterien zu finden, ist der Lagerbockschwingungsmessung wegen der direkten Kopplung des Meßwandlers der Vorzug zu geben.



Diagnosemethoden an Wälzlagern



Diagnosemethoden an Gleitlagern

Stand der Schwingungsdiagnose

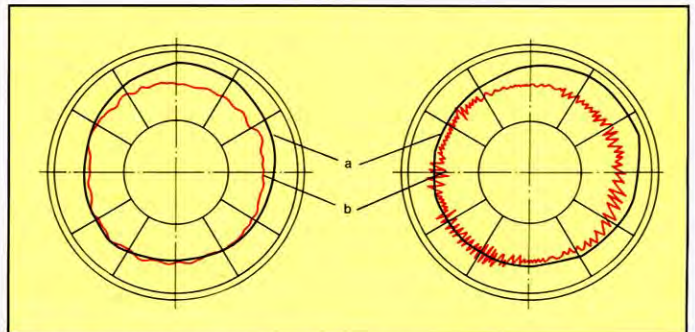
Die Schwingungsmessung an allen feststehenden Teilen von Anlagen und Maschinen wie:

- Lagerböcke
- Maschinengehäuse
- Tragkonstruktionen

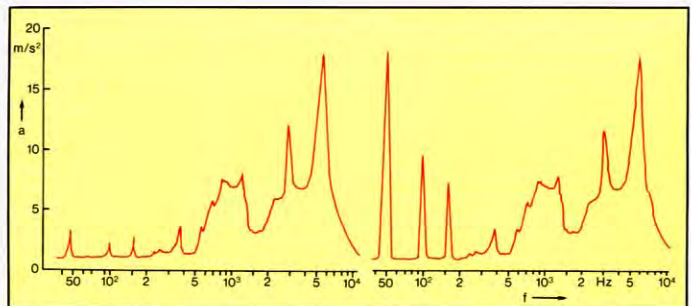
hat sich als technisch mögliches und praktisch anwendbares Verfahren durchgesetzt, da hierbei mit relativ einfachen Meßanordnungen ein hoher Aussagegehalt erreicht wird.

In das Signal einer Maschinenschwingung geht aber außer dem Schädigungsverhalten auch das komplexe Betriebsverhalten mit ein. Dieses Betriebsverhalten wird bestimmt durch Einflußgrößen aus der Konstruktion, Fertigung und Montage, dem Betrieb und der Umgebung.

Als konstruktive Einflußgrößen sind vorrangig die Bauteilauslegung, die Wahl des Materials zu betrachten. Die Fertigungsqualität wird in entscheidendem Maße durch die Toleranzwahl und erreichte Oberflächen-güte der Bearbeitung beeinflusst. Zum Beispiel zeigt folgende Darstellung eine Vermessung der Oberflächenqualität zweier real gefertigter Wälzlageraußenringe.



Rauheit und Unrundheit an Außenbahnringen von Wälzlagern

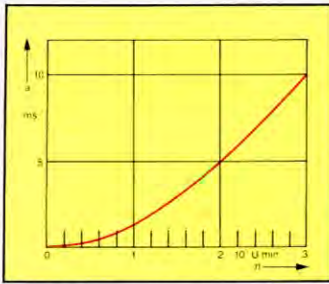


Nachweis von Fluchtungsfehlern durch das Spektrum

Auch Montagefehler, die nicht durch Inbetriebnahmekontrollen erkannt werden, üben einen meßbaren Einfluß auf das Betriebsverhalten aus, z. B.:

- unausgewuchtete Rotoren
- falsch aufgezogene Lager
- unausgefluchtete Kupplungen

- lose Verbindungen
 - falsche Passungen.
- Sie beeinflussen das Schwingungsverhalten einer Baugruppe auch im Neuzustand wesentlich.



Drehzahl einfluss auf die Schwingungen eines Wälzlagers

Einflüsse aus dem Betrieb können in vielfältigsten Formen auf das Schwingungsverhalten einfluss haben, so:

- Drehzahl bei Rotoren (siehe Diagramm Drehzahl einfluss)
- Leistung bzw. Fördermengen
- Magnetkräfte.

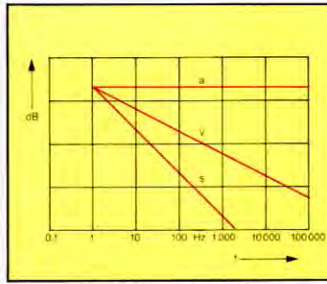
Die Umgebungseinflüsse äußern sich hauptsächlich in klimatischen Faktoren, wie Temperatur und Feuchte, aber auch in Form von Verschmutzungen.

Die Gesamtheit dieser einflussgrößen wirkt als Beanspruchung auf eine Maschine. Der Betreiber kennt nur einen Teil dieser einflussgrößen und ist auch nicht in der Lage, sie in der Gesamtheit meßtechnisch zu erfassen.

Die Ermittlung des ungeschädigten Zustandes bei realen Beanspruchungen ist von erstrangiger Bedeutung für eine fehlerfreie Bestimmung des Anlagenzustandes.

Die Schwingungsmessung am feststehenden Maschinenelement wird überwiegend mit piezoelektrischen Beschleunigungsmeßwandlern durchgeführt. Diese geben ein der wirkenden Schwingbeschleunigung proportionales elektrisches Signal ab, das im Meßgerät gut weiterverarbeitet werden kann.

Durch Integration ist mit diesem Signal auch eine Messung der Schwinggeschwindigkeit oder des Schwingweges möglich. Welche der drei kinematischen Größen zur Bewertung herangezogen wird, richtet sich nach der zu untersuchenden Schädigung bzw. nach den existierenden Vorschriften und Standards.



Frequenzabhängigkeit von Weg (s), Geschwindigkeit (v) und Beschleunigung (a)

Die Größen Schwingweg, -geschwindigkeit und -beschleunigung unterscheiden sich vor allem in der Frequenzbewertung (siehe Diagramm).

$$s = \frac{v}{2\pi f} = \frac{a}{(2\pi f)^2}$$

Somit sind Schwingwege und Geschwindigkeiten vorrangig zur Bewertung von niederfrequenten Erscheinungen geeignet, wie:

- unwuchterregte drehfrequente Schwingungen und deren harmonische
- strömungsinduzierte Schaufel-schwingungen
- Ölfilmschwingungen in Gleitlagern
- Fundamentalschwingungen.

Für höherfrequente Signale (1 kHz bis 10 kHz) wie:

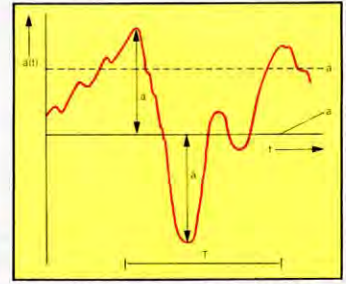
- Laufgeräusche von Wälzlagern
 - Reibgeräusche
- ist die Beschleunigungsmessung anzuwenden (siehe Diagramm).

Für die Messung des Effektivwertes der Schwinggeschwindigkeit im Frequenzbereich von 10 Hz bis 1 kHz, die auch als Schwingstärke bezeichnet wird, existiert eine Reihe von nationalen und internationalen Standards und Normen zur Diagnose von Unwuchten und anderen Rotordefekten, wie:

- ST RGW 3173-81
- DIN 45666
- VDI 2056
- ISO 3945.

Zur Diagnose von Wälzlagern und ähnlichen Baugruppen können diese Vorschriften und Empfehlungen angewandt werden. Spezielle Standards bzw. Normen für Wälzlagardiagnose sind gegenwärtig noch nicht verfügbar.

Das Signalbild einer Maschinenschwingung ist infolge der wirkenden einflussfaktoren äußerst kompliziert und besteht aus einem Gemisch von Einzelschwingungen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude.



Statistische Signalkenngrößen der Schwingbeschleunigung

Die meßtechnische Erfassung und Auswertung bedarf bei dieser vom Menschen nicht mehr erfassbaren Anzahl von Parametern spezieller Methoden und Geräte, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch sehr hohe Anforderungen an die Qualifikation des Nutzers stellen.

Für die betriebliche Praxis bieten sich an:

- die Analyse des Schwingungsspektrums (FFT-Analyse oder Schmalbandfilterung) für die Tiefdiagnose einzelner Aggregate
- die Messung von Signalkenngrößen für die Breitendiagnose im Routinebetrieb.

Statistische Signalkenngrößen sind der Effektivwert \bar{a} , der den Energiegehalt angibt und der Spitzenwert \hat{a} , der den Extremwert beschreibt (siehe Abbildung).

Bei der Suche nach einer einfachen und treffsicheren Methode der Wälzlagerdiagnose wurde in langjährigen Untersuchungen im Labor und unter industriellen Bedingungen die Eignung einzelner Signalkenngrößen für die technische Diagnose untersucht.

Es konnte nachgewiesen werden, daß der auf den Anfangszustand einer Meßstelle bezogene Diagnosekennwert $K(t)$, der die multiplikative Verknüpfung von Effektivwert \bar{a} und Spitzenwert \hat{a} enthält, eine hohe Diagnosesicherheit bietet.

$$K(t) = \frac{\bar{a}(0) \cdot \hat{a}(0)}{\bar{a}(t) \cdot \hat{a}(t)}$$

- $\bar{a}(0)$... Effektivwert der Schwingbeschleunigung zum Bezugszeitpunkt
- $\hat{a}(0)$... Spitzenwert zum Bezugszeitpunkt
- $\bar{a}(t)$... Effektivwert zum Diagnosezeitpunkt
- $\hat{a}(t)$... Spitzenwert zum Diagnosezeitpunkt

Die Definition des Diagnosekennwertes bewirkt eine in der Praxis gut anwendbare Gütebewertung in den Grenzen /0 und 1/. Über 2000 Versuche an unterschiedlichen Anlagen mit Rotor-Wälzlager-Baugruppen haben nachgewiesen, daß der Diagnosekennwert $K(t)$ in eindeutig bester Korrelation zum tatsächlichen Anlagenzustand steht.

Ursache dafür ist die Tatsache, daß der unbekannte Ausgangszustand und der Einfluß der Beanspruchung mit diesem Verfahren eliminiert werden.

Um ein praktisch handhabbares Verfahren zur Zustandsbestimmung zu erhalten, ist für den Betreiber die Zuordnung der Größe des Diagnosekennwertes $K(t)$ zu einem bestimmten Anlagenzustand notwendig. Die Bestimmung der Klassengrenzen der einzelnen Anlagenzustände erfolgte durch Auswertung der Versuchsreihen und ist in der Tabelle dargestellt.

K (t)	Anlagenzustand
>1	Verbesserung des Anlagenzustandes
1...0,5	gute Eigenschaften der Baugruppe
0,5...0,2	Wirkung schädigungsbeschleunigender Faktoren
0,2...0,02	Wirkung des Schädigungsprozesses
<0,02	Schaden am Bauelement

Charakterisierung des Wälzlagerzustandes durch $K(t)$

Es hat sich auch gezeigt, daß der Diagnosekennwert für andere Baugruppen, z. B.: Armaturen von Dampfturbinen, mit den gleichen Klassen anwendbar ist.

Für den Praktiker ergibt sich bei der Anwendung der Methode das Problem, die Ausgangswerte zu bestimmen. Hierzu sind prinzipiell drei Verfahren möglich, die sich in Aufwand und Diagnosesicherheit unterscheiden:

1.

Die genaueste Methode ist die Messung der Kenngrößen nach Inbetriebnahme und Einlauf als individuelle Ausgangswerte für eine Meßstelle. Verringert sich der Pegel während des Einlaufes, sind diese Werte als Ausgangswerte zu verwenden.

2.

Sind geringere Genauigkeitsanforderungen gestellt, existieren eine Anzahl gleichartiger Aggregate oder ist eine Anfangsmessung nicht mehr möglich, ist die Bildung eines Ensemble-Mittelwertes als Ausgangswert vorzunehmen. Diese Methode läßt die Feststellung von Fertigungs- und Montagefehlern durch Vergleich individueller und Ensemble-Ausgangswerte nach einer Instandsetzung zu.

Die Fehler gegenüber 1. erhöhen sich um ca. 15%.

3.

Für grobe Abschätzungen mit einkalkulierten Diagnosefehlern ist die Verwendung von Normwerten aus Modelluntersuchungen möglich. Für mittlere Wälzlager mit einer Drehzahl von 3000 U/min sind die Ausgangswerte $\bar{a} = 10 \text{ m/s}^2$ und $\hat{a} = 40 \text{ m/s}^2$ anzusetzen. Bei anderen Drehzahlen sind diese Werte dem Diagramm zu entnehmen.

Schwingungsdiagnosegerät M 1302

Eigenschaften

Das Schwingungsdiagnosegerät M 1302 wurde speziell für den industriellen Einsatz entwickelt. Es ist eine tragbare, netzunabhängige Kombination aus Schwingungsmesser und Diagnosegerät in robuster und spritzwassergeschützter Ausführung.

Die Meßwerterfassung erfolgt mit einem piezoelektrischen Beschleunigungsmeßwandler. Der interne Mikrorechner des M 1302 ermöglicht:

- Bedienerführung mit alphanumerischer Anzeige und Tastatur
- Automatische Meßbereichswahl und Übersteuerungskontrolle
- Effektivwertmessung mit Averaging/echte Spitzenwertmessung in wählbarem Zeitfenster
- Komfortable automatische Kalibrierung auf verschiedene Meßwandler
- Meßwertspeicherung von 100 Meßstellen
- Datenaustausch und Protokolldruck über serielles Interface

Das Gerät realisiert folgende Betriebsarten:

- Beschleunigungsmessung (Effektiv- und Spitzenwert)
- Geschwindigkeitsmessung (Effektiv- und Spitzenwert)
- Wälzlagerdiagnose mit Diagnosekennwert $K(t)$
- Datenaustausch mit Personalcomputer
- Protokolldruck und Druck des aktuellen Meßwertes
- Taschenrechnerbetrieb
- Kalibrierung
- Batteriespannungsmessung

Das M 1302 besitzt neben der Anschlußmöglichkeit für ein externes Filter (z. B.: Schmalbandfilter) eine in jeweils 8 Stufen umschaltbare Kombination aus Hoch- und Tiefpaßfilter, die auch für die Messung der bewerteten Schwinggeschwindigkeit (Schwingstärke) nach DIN 45666 bzw. ST RGW 3173-81 genutzt wird.

Da die Meßergebnisse in der Form **Meßgröße = Meßwert Maßeinheit** angezeigt werden, sind subjektive Ablesefehler ausgeschlossen.



Anwendungen

Das M 1302 ist durch die unkomplizierte Bedienung und den hohen Schutzgrad ein unentbehrliches Hilfsmittel für Betriebspraktiker und Entwicklungsingenieure bei:

- Zustandsorientierter Instandhaltung mit PC und „VIBRODAT“ Softwarepaket
- Maschinenabnahme beim Hersteller
- Entwicklung von Maschinen und Anlagen
- Zustandsdiagnose an ausgewählten Einzelobjekten mit Frequenzanalyse durch Schmalbandfilter und Pegelschreiber
- Arbeitshygienischen Untersuchungen unter komplizierten Umgebungsbedingungen.

Betriebspraktische Messungen

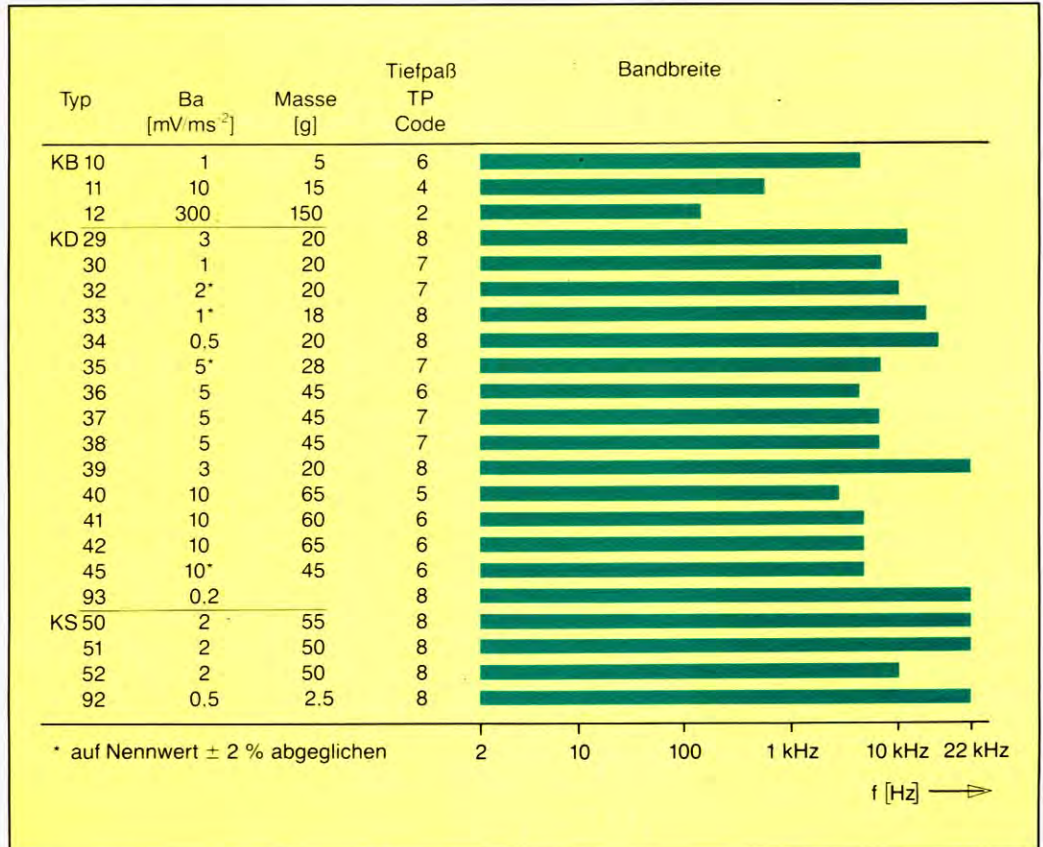
Für die Durchführung von Schwingungsmessungen unter praktischen Betriebsbedingungen leiten sich aus den Eigenschaften der Meßkette Anforderungen ab, deren Nichtbeachtung zu Meßfehlern und damit zu deutlichen Fehlbeurteilungen eines realen technischen Zustandes von Maschinen und Anlagen führen kann. Diese Anforderungen betreffen:

- die Wahl des geeigneten Meßwandlers
- die Ankopplung an das Meßobjekt
- die Kalibrierung der Meßkette.

Meßwandler

Für eine Schwingungsmessung mit dem Schwingungsdiagnosegerät M 1302 kann jeder piezoelektrische Beschleunigungsmeßwandler aus dem Sortiment der Fa. Metra Rade-

beul verwendet werden. Empfindlichkeit und Übertragungsverhalten richten sich dabei nach der Meßaufgabe. Der Meßwandler muß im genutzten Frequenzbereich eine lineare Übertragungscharakteristik und eine ausreichende Aussteuerbarkeit (Dynamik) besitzen; die Wandlermasse muß gegenüber der Masse des Meßobjektes klein sein. Zu beachten ist die Frequenzcharakteristik besonders bei Absolutmessungen (\ddot{a} , \dot{a} , \dot{v} , \ddot{v}) und bei Spektralanalysen. Für die beim Diagnosekennwert wirkende Relativbewertung können auch resonante Messungen verwertbare Ergebnisse liefern, wenn eine breitbandige Anregung vorliegt und die Meßwerte unter reproduzierbaren Bedingungen gewonnen werden.



Ankopplung des Meßwandlers

Die richtige Wahl der Ankopplung hat besondere Bedeutung für das Frequenzverhalten der Meßanordnung. Weiterhin können durch ungünstige Ankopplung andere Fehlerquellen, wie unzulässige Temperatureinflüsse vom Meßobjekt oder auch Erdströme (bei Kopplung mit netzbetriebenen Meßgeräten) wirken.

Für die praktische Messung stehen eine Reihe von Ankopplungsarten (siehe Übersicht) zur Auswahl. Für alle Ankopplungsarten ist am Meßobjekt eine ebene und glatte Oberfläche notwendig. Vorteilhaft ist der Einsatz von Silikonfett als Zwischenkoppelschicht. Das vorgeschriebene Anzugsdrehmoment bei der Schraubbefestigung sollte eingehalten werden.

Die Ankopplungsart beeinflusst entscheidend das Übertragungsverhalten des Meßsystems (siehe Diagramm).

Zur Schwingungsmessung an schwer zugänglichen Teilen kann der Einsatz von Schall-Leitern (Tastspitze) erforderlich sein.

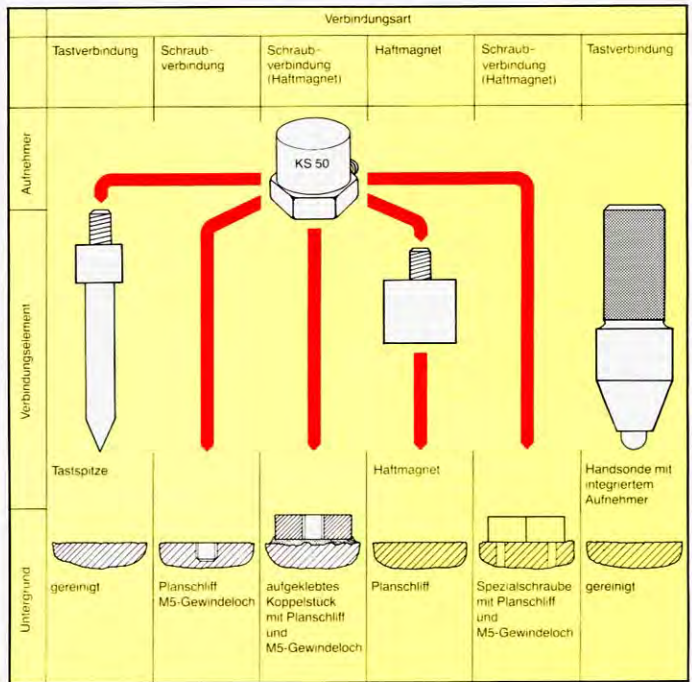
Dabei sind Dämpfungseigenschaften und Resonanzfrequenz des Schallleiters zu beachten, die zu einer Verringerung des verwertbaren Frequenzbereiches führen.

Die Ankopplungsbedingungen sind bei geschraubter Verbindung am sichersten reproduzierbar. Für Beschleunigungsmessungen im Frequenzbereich oberhalb 1 kHz sollte grundsätzlich geschraubt werden. Bei Messung von Schwinggeschwindigkeit und Beschleunigung im Bereich unter 1 kHz ist die Wahl der Koppelart unkritisch.

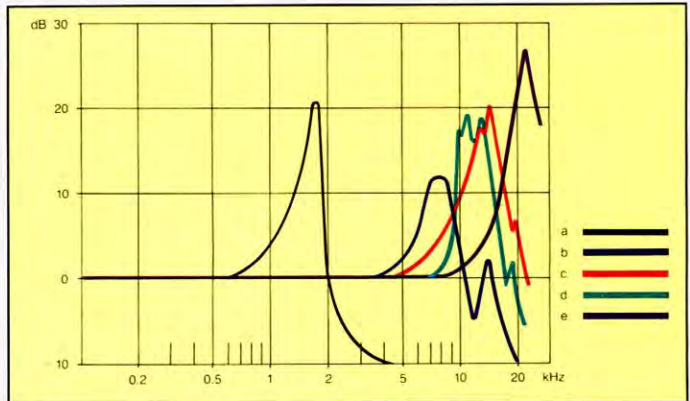
Überschreiten des Arbeitstemperaturbereiches des Meßwandlers durch hohe Temperatur des Meßobjektes erfordert den Einsatz eines Kühlzwischenstückes oder eines gekühlten Wandlers.

Anschluß des Meßwandlers

Der Anschluß des Meßwandlers an das M 1302 erfolgt über ein störspannungsarmes Spezialkabel aus dem Lieferumfang. Der Einsatz einer zusätzlichen Verlängerung von max. 10 m ist möglich. Das Kabel ist in geeigneter Weise gegen Schwingungen, die eine Verfälschung des Meßergebnisses bewirken können, zu sichern.



Ankopplungsarten für Beschleunigungsmeßwandler Koppelstück



Einfluß der Ankopplungsart auf den Frequenzgang eines Beschleunigungsmeßwandlers

- a – Tastspitze
- b – Halftmagnet auf geschliffener Oberfläche
- c – mit Isolierflansch
- d – Schnellkopplung mit Isolierflansch
- e – mit Stiftschraube

Kalibrierung

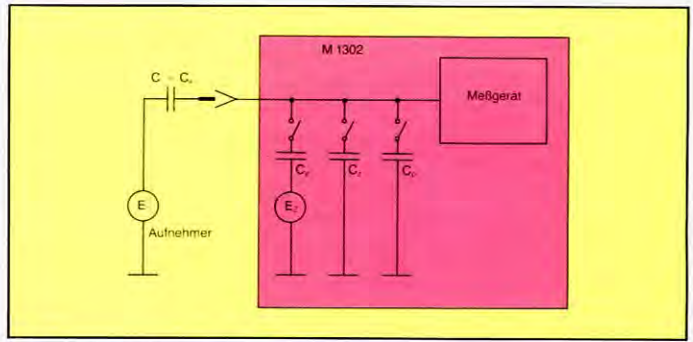
Ein wesentlicher Vorteil des M 1302 für den praktischen Einsatz ist die automatische Kalibrierung. Sie bietet die Möglichkeit, das Gerät an nahezu jeden beliebigen piezoelektrischen Meßwandler anzupassen, wobei auch Aufnehmer verwendet werden können, deren Parameter unbekannt sind. Ein Verlängerungskabel wird bei Bedarf in die automatische Kalibrierung mit einbezogen.

Durch die Kalibrierung werden die Werte der Kapazitäten C_0 zur Temperaturkompensation, die Spannungsteilerkapazitäten C_1 , sowie die Aufnehmer- einschließlich der Kabelkapazität $C_1 + C_k$ entsprechend Prinzipschaltbild bestimmt.

Nach dem Kalibrieren befindet sich im nichtflüchtigen Datenspeicher des Gerätes ein vollständiger Satz von wandlerspezifischen Eichzahlen.

Die Kalibrierung des M 1302 kann in drei Versionen erfolgen:

- mechanisch, mit elektrodynamischem Eichtisch
- elektrisch, ohne Ankopplung an das Meßobjekt
- elektrisch, mit Ankopplung an das Meßobjekt.



Prinzipschaltbild zur Kalibrierung

Ebenso wie alle anderen Betriebsprogramme des M 1302 ist auch das Kalibrierprogramm für den Dialogbetrieb ausgelegt. Es muß lediglich der Beschleunigungssollwert a entsprechend dem verwendeten Eichstück oder die Spannungskonstante B_0 des Meßwandlers bzw. B_0 und $C_1 + C_k$ laut Geräteunterlagen eingegeben werden.

Zur Vermeidung des arithmetischen Überlaufes bei der Verwendung sehr empfindlicher Wandler wird bei der Eingabe des Beschleunigungssoll-

wertes a der Wert $a \cdot SK$ (SK = Skalierungsfaktor) bzw. anstelle der Spannungskonstanten B_0 der Wert B_0/SK eingegeben. In der Anzeige erscheinen dann die Meßwerte a , v mit dem Skalierungsfaktor multipliziert bzw. man erhält beim mechanischen Kalibrieren anstelle der Spannungskonstante B_0 den Wert B_0/SK .

Applikation

Mit dem M 1302 steht dem Anlagen-diagnostiker ein Gerät zur Verfügung, das auf Grund seiner universellen Eigenschaften eine Vielzahl von Meßmöglichkeiten besitzt. Durch die Ausstattung mit einem internen Meßwertspeicher ist es besonders gut für die rechnergestützte Auswertung von Inspektionsmessungen geeignet.

Allgemeine Schwingungsmessung

Für eine einfache breitbandige Amplitudenmessung der an Maschinen und Anlagen auftretenden Schwingbeschleunigung oder der Schwinggeschwindigkeit können Effektiv- oder Spitzenwerte auf einfache Art ermittelt werden. Diese Messungen erfolgen zur Einschätzung der aktuellen Situation bzw. Trendermittlung und zum Vergleich mit staatlichen bzw. betrieblichen Norm- und Grenzwerten.

Für den portablen Einsatz wird das Meßgerät mit dem Batterieteil gekoppelt, für den stationären Betrieb kann das Netzteil eingesetzt werden. In Anpassung an die Meßaufgabe können für derartige Messungen neben dem Beschleunigungsmeißwandler KS 50 auch andere piezoelektrische Aufnehmer eingesetzt werden. Bei Aufnehmerwechsel ist das Gerät neu zu kalibrieren.

Im Bedarfsfall kann ein Kopfhörer (100 Ω) bzw. ein Oszilloskop oder Pegelschreiber eingesetzt werden, die an der Buchse $\bigcirc \rightarrow$ anzuschließen sind.

Die Meßbereichswahl erfolgt automatisch und das Ergebnis wird in nachfolgender Form angezeigt.

$$a = 23.4 \text{ m s}^{-2}$$

Durch die rechentechnische Nachbehandlung der Meßwerte kann in Anpassung an die Meßaufgabe bzw. Signalform das Mittelungsintervall bei der Effektivwertmessung bzw. das Meßzeitintervall der Spitzenbewertung optimal gewählt werden. Als Richtwert für die Meßzeit (MTM) bei Messung an rotierenden Maschinen können 1–10 s gelten. Für eine grobe Frequenzanalyse und zum Ausblenden von Störfrequenzen ist die im M 1302 vorhandene Hochpaß-Tiefpaß-Filterkombination zu nutzen, deren Grenzfrequenzen sich in jeweils 8 diskreten Stufen mit der Tastatur umschalten lassen.

Schwingstärkemessung zur Maschinenbeurteilung

Für die Beurteilung der Qualität und Betriebssicherheit von rotierenden Maschinen wie:

- Elektromotoren, Generatoren
- Zentrifugen, Separatoren
- Gebläsen
- Turbinen

anhand der mechanischen Schwingungen im Frequenzbereich 10 Hz bis 1kHz existieren eine Reihe von nationalen und internationalen Normen, die zur Beurteilung herangezogen werden können. Für die Bewertung der Meßergebnisse dient die tabellarische Übersicht der Bewertungsmaßstäbe gemäß VDI 2056.

Bei der Messung werden am M 1302 die Betriebsart \checkmark und das MS-Filter gewählt.

Anzeige	Tastenbetätigung	Bemerkung																																																																						
<table border="1"> <tr><td>M</td><td>O</td><td>D</td><td>E</td><td>:</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>P</td><td>E</td><td>A</td><td>K</td><td>:</td><td>?</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>F</td><td>I</td><td>L</td><td>T</td><td>E</td><td>R</td><td>:</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>M</td><td>T</td><td>M</td><td>:</td><td>.</td><td>5</td><td></td><td>S</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>v</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>$\frac{m}{s}$</td><td>s^{-1}</td></tr> <tr><td>v</td><td>=</td><td>3</td><td>.</td><td>2</td><td>4</td><td></td><td>$\frac{m}{s}$</td><td>$\frac{m}{s}$</td><td>s^{-1}</td></tr> </table>	M	O	D	E	:						v										P	E	A	K	:	?					F	I	L	T	E	R	:				M	T	M	:	.	5		S			v								$\frac{m}{s}$	s^{-1}	v	=	3	.	2	4		$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$	s^{-1}	<p>v</p> <p>EXECUTE</p> <p>NO</p> <p>MS</p> <p>EXECUTE</p>	<p>Effektivwert</p> <p>Maschinenschwingung</p> <p>$\checkmark_{MS} = 3.24 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-2}$</p>
M	O	D	E	:																																																																				
v																																																																								
P	E	A	K	:	?																																																																			
F	I	L	T	E	R	:																																																																		
M	T	M	:	.	5		S																																																																	
v								$\frac{m}{s}$	s^{-1}																																																															
v	=	3	.	2	4		$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$	s^{-1}																																																															

Bedienablauf bei Schwingstärkemessung

Schwingstärke \checkmark_{MS} in mm/s	Gruppe K	Gruppe M	Gruppe G	Gruppe T
28	Unzulässig			
18				
11,2	Noch zulässig			
7,1				
4,5	Brauchbar			
2,8				
1,8	Gut			
1,12				
0,71				
0,45				
0,28				
	K: Kleinmaschinen, E-Motoren bis 15 kW M: Mittlere Maschinen, E-Motoren bis 75 kW G: Großmaschinen auf hochabgestimmten Fundamenten T: Turbomaschinen auf tiefabgestimmten Fundamenten			

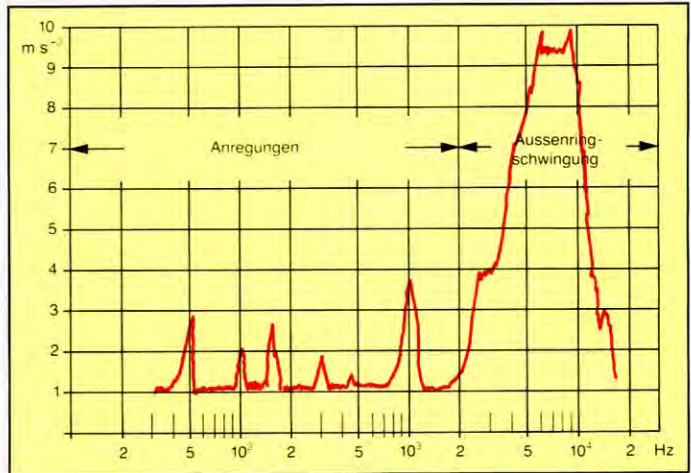
Wälzlagerdiagnose nach der K(t)-Methode

Die Hauptkomponente der Schwingbeschleunigung einer Wälzlager-schwingung ist die Eigenschwingung des Wälzlageraußenringes im Frequenzbereich zwischen 2 kHz und 16 kHz (sog. Lagerlaufgeräusch). Daneben können sich im Spektrum der Wälzlagerschwingung innere und äußere Anregungen (Unwucht, Fluchtungsfehler, Überrollprozesse, elektromagnetische Kraftwirkungen u. a.) im Frequenzbereich $f < 2$ kHz abbilden.

Abbildung eines typischen Wälzlagerspektrums

Für die Zustandsbeurteilung mittels Diagnosekennwert $K(t)$ wird der gesamte Frequenzbereich (2 kHz – 16 kHz) verwendet. Lediglich bei starken äußeren Anregungen ist eine Eliminierung dieser Komponenten durch Filterung notwendig. Dazu können die geräteinternen Filter des M 1302 in geeigneter Weise kombiniert werden. So ist z. B. für die Messung an Elektromotoren zum Ausblenden starker magnetischer Geräusche die Kombination HP = 470 Hz, TP = 22 kHz vorteilhaft.

In Anbetracht der notwendigen oberen Frequenzgrenze ist eine kraftschlüssige Ankopplung des Aufnehmers (Schraubverbindung) mittig im Bereich des Wälzlageraußenringes zu realisieren. Die Verwendung der Tastspitze oder des Haftmagneten führt zu resonanten Messungen und damit zur Beeinflussung der absoluten Meßwerte. Sie ist für eine orientierende $K(t)$ -Relativmessung anwendbar. Aus Messungen an einer großen Anzahl von Wälzlagern unterschiedlichster Bauart (Innendurchmesser 30 – 180 mm) in einem Drehzahlbereich von 500 – 5000 U/min können die allgemeingültigen Zustandsbereiche laut Tabelle festgelegt werden. Für eine exakte Zustandsbestimmung mit den bereits genannten Diagnosefehlern ist eine präzise Bestimmung der Ausgangsinformation bei der Inbetriebnahme und deren eventuelle Korrektur nach dem Einlauf des Lagers notwendig. Zur Feststellung möglicher Fertigungs- und Montagefehler sollte diese Ausgangsinformation durch Vergleich mit Mittelwerten für den entsprechenden Maschinentyp einer kritischen Wertung entzogen werden. Weicht das Produkt von Effektiv- und Spitzenwert der Lagerschwingung um mehr als den Faktor 25 vom mittleren



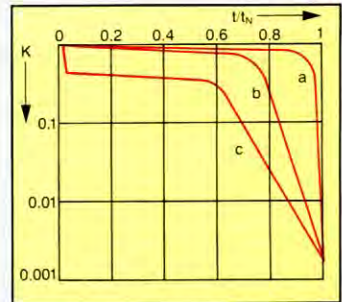
Spektrum einer Wälzlagerschwingung

Produkt ab, liegen große Fertigungs- oder Montagefehler vor. In diesem Fall ist der Mittelwert als Anfangsinformation zu verwenden.

Für bereits in Betrieb befindliche Anlagen, wo keine exakte Ausgangszustandsbewertung möglich ist, sollte das kleinste gemessene Produkt als Anfangswert verwendet werden, solange es nicht um den Faktor 25 den mittleren Ausgangszustand übersteigt. Andernfalls sind die mittleren Ausgangswerte anzuwenden, da im Lager bereits eine Schädigung vorliegt.

Ausgangs- und Diagnosemessung müssen unter gleichen Ankoppel- und ähnlichen Beanspruchungsbedingungen durchgeführt werden. Drehzahlunterschiede $> 20\%$ führen zu Fehl Diagnosen. Eine Korrektur der Meßwerte kann unter Annahme einer quadratischen Abhängigkeit mit Hilfe des Diagrammes „Drehzahleinfluß“ für drehzahlgeregelte Anlagen erfolgen. Wälzlagerschädigungen und -schäden (Ermüdung, Verschleiß, Korrosion, Heißblauf) bilden sich als Änderung im Diagnosekennwert $K(t)$ ab. Unterschiedliche Schädigungsarten führen dabei zu den im Diagramm dargestellten unterschiedlichen Zeitverläufen. Es können jedoch allgemeingültige Bewertungskriterien angegeben werden:

- Nach Unterschreiten der Schädensgrenze ($K(t) < 0,02$) ist nur noch ein kurzzeitiger Betrieb mit erhöhtem Ausfallrisiko möglich.
- Für Ermüdungsschäden, die den größten Anteil der Wälzlager-



Zeitverläufe für unterschiedliche Schädigungsarten von Wälzlagern

schäden ausmachen, stehen bei $K(t) = 0,02$ noch maximal 2% der Gesamtlebensdauer zur Verfügung. Ein Betrieb im Bereich $K(t) < 0,001$ sollte unbedingt vermieden werden, da ein Ausfall unmittelbar bevorsteht und auch ohne Ausfall Folgeschäden an anderen Baugruppen (Welle, Gehäuse) durch hohe wirkende Beanspruchungen auftreten.

- Besonders im Schadensbereich kann es durch aufeinanderfolgende Schädigungs- und Ausheilprozesse zu erheblichen Streuungen um die mittlere Trendkurve kommen.
- Mit zunehmender Schädigung nimmt die Schädigungsgeschwindigkeit zu.

Die Wahl der Überwachungszyklen muß anlagenspezifisch durch den Betriebsingenieur erfolgen. Der Zyklus ist von der wirkenden Beanspruchung und der dadurch bedingten mittleren Lagerlebensdauer abhängig. Für

typische Laufzeiten von 50 000 h sind Zykluslängen von 1 bis 2 Monaten im ungeschädigten Zustand ausreichend. Mit fortschreitender Schädigung sollte der Überwachungszyklus verringert werden. Im Schadensbereich an Anlagen hoher Wertigkeit sollte eine Dauerüberwachung realisiert werden.

Wälzlagerdiagnose ohne Meßwertspeicherung

Der Meßaufbau gleicht dem der allgemeinen Schwingungsmessung. Die notwendigen Anfangswerte von \dot{a} und \ddot{a} werden individuell für jedes Wälzlager während der Inspektion eingegeben. Wie bereits beschrieben, gibt es die Möglichkeit der Nutzung von Standard- oder Kollektivanfangswerten, die im Bediendialog angezeigt werden und quittiert werden können.

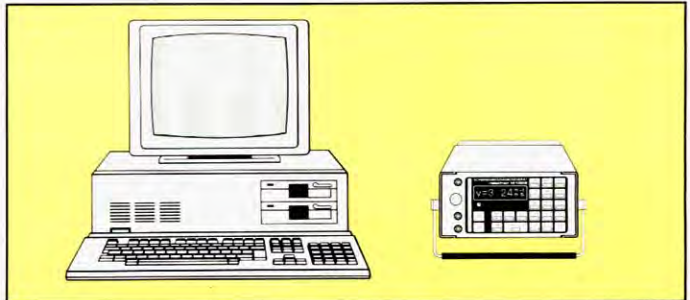
Wälzlagerdiagnose mit Meßwertspeicher und VIBRODAT

Für die effektive Überwachung einer großen Anzahl von Wälzlager zu zustandsorientierten Instandhaltung wurde im M 1302 eine spezielle Betriebsart Datensammler vorgesehen. Dabei werden Anfangswerte, Meßzeit und Filtereinstellung vor Beginn der Inspektion von einem Personalcomputer über die serielle Schnittstelle eingelesen. Bei der Diagnose mit Meßwertspeicher werden die aktuellen Meßgrößen abgespeichert und nach der Inspektion auf den Datenträger des PC übernommen. Die Bedienung des M 1302 reduziert sich in dieser Betriebsart beträchtlich, wie unser Beispiel zeigt:

Für die Organisation der zustandsorientierten Instandhaltung mit Hilfe leistungsfähiger PC-Technik steht das Softwarepaket VIBRODAT in den Versionen 2.2 (für 8 Bit-Rechner unter CP/M 2.2) und 3.2. (für 16 Bit-Rechner unter MS-DOS 3.2) zur Verfügung. VIBRODAT gewährleistet eine effektive Meßwertgewinnung und Verarbeitung. Es kann für beliebige Betriebsgrößen und unterschiedlichste Maschinen, wie beispielsweise Pumpen, Elektromotoren, Verdichter, Werkzeugmaschinen u.s.w. eingesetzt werden. Der Bildschirmdialog erfolgt in deutsch (2.2, 3.2) oder in englisch (3.2).

Anzeige	Tastenbetätigung	Bemerkung
No : 2 4	EXECUTE	Meßstelle Nr. 24
1 . VALUE ?	NO	
\dot{a}		Meßwerte abspeichern
GOOD	SAVE	
No : 2 5	EXECUTE	Schädigungsgefahr
\ddot{a}		
DANGER	K	Dateiende
K = . 1 5 0 6	SAVE	
No : 2 6 END	EXECUTE	
1 . VALUE ?	CE/C	

Bedienablauf bei Wälzlagerdiagnose mit VIBRODAT



M 1302 in Verbindung mit einem Personalcomputer

VIBRODAT realisiert folgende Funktionen:

- Führung eines Anlagenverzeichnisses
- Führung der Meßstellenverzeichnisse
- Erstellen von Meßaufträgen
- Datenaustausch mit M 1302 vor und nach der Inspektion
- Anzeigen von meßstellenbezogenen Trends
- Erstellen von Anlagenzustandsberichten

Alle Funktionen sind mit abrufbarem Protokolldruck ausgestattet. Die dBase-kompatible Meßdatenverwaltung gestattet eine unkomplizierte individuelle Anpassung an betriebsspezifische Bedürfnisse und die Weiterverarbeitung der Meßdaten.

Als Demonstrationsbeispiel sind die Ausdrücke:

- Meßstellenverzeichnis
 - Meßauftrag
 - meßstellenbezogener Trend
- auszugsweise dargestellt.

Das M 1302 kann aber auch unabhängig von VIBRODAT die Meßwerte einer Inspektion speichern. Die gespeicherten Werte können im Dialog von der Anzeige abgelesen oder mit einem Drucker (K6313 o. ä.) ausgedruckt werden.

Schwingungsüberwachung

In bestimmten Betriebsfällen einer Maschine ist eine automatische zyklische Messung von $K(t)$ und die Protokollierung der Meßwerte oder deren Fernübertragung zu einer Meßwarte notwendig, z. B. bei:

- Analyse eines Einlaufvorganges
- Langzeitüberwachung im Prüffeld
- Überwachung eines geschädigten Lagers an einem Aggregat, das aus betrieblichen Gründen nicht zur Instandsetzung stillgelegt werden kann.

Für diesen Einsatz wird vorteilhaft das Netzteil eingesetzt. An der Interface-buchse kann der Drucker oder ein PC über eine Übertragungsstrecke angeschlossen werden.

In der Abbildung ist ein Protokollbeispiel zur Schwingungsüberwachung wiedergegeben. Die Bedienung entspricht der Wälzlagerdiagnose ohne Meßwertspeicher, jedoch ist die Frage REPEAT? mit NO zu beantworten.

$\hat{a}(0)$	$a(0)$	$\hat{a}(t)$	$a(t)$	MTM	FC	$K(t)$
50.6	12.3	58	38.9	1	88	.276
		70.5	46.5			.19
		72.7	41.8			.205
		72.3	44.9			.192
		86.9	57.1			.125
		91.2	57.9			.118
		108	72.8			.079

Protokoll einer Schwingungsüberwachung (Auszug)

Nr.	Standort	Ausrüstung	Lag	$\hat{a}(0)$	$a(0)$	A	K	Zy	MTM	FC	Hinweis
0	71	DV 31	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	7.81 *
1	71	DV 32	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	3.86
2	71	DV 33	1	30.0	4.0	a	m	4	.5	18	SW Erpr. *
3	71	DV 34	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	7.82
4	71	DV 35	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	5.85
5	71	DV 36	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	11.85
6	72	DV 31	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	7.82
7	72	DV 32	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	7.82
8	72	DV 33	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	3.82
9	72	DV 34	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	3.86
10	72	DV 35	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	12.81
11	72	DV 36	1	45	9.1	a	m	4	.5	18	3.82

VIBRODAT-Meßstellenverzeichnis

Nr.	Anlage	Standort	Ausrüstung	Lag	K	$\hat{a}(0)$	$a(0)$	Hinweis	Bem.
0	Mühle	71	DV 32	1	a	45	9.1	3.86	
1	Mühle	71	DV 32	1	a	45	9.1	3.86	
2	Mühle	71	DV 33	1	a	30.0	4.0	SW Erpr. *	
3	Mühle	71	DV 35	1	a	45	9.1	5.85	
4	AWA W 2 Generator		AWA 9	1	a	98.3	32.1		*
5	AWA W 2 Generator		AWA 9	2	a	39.0	9.8		
6	AWA W 2 Motor		AWA 9	1	a	163	41.8		
7	AWA W 2 Motor		AWA 9	2	a	72.9	16.0		
8	Frischl.	82	DV 52	L2	1	43.4	6.53		

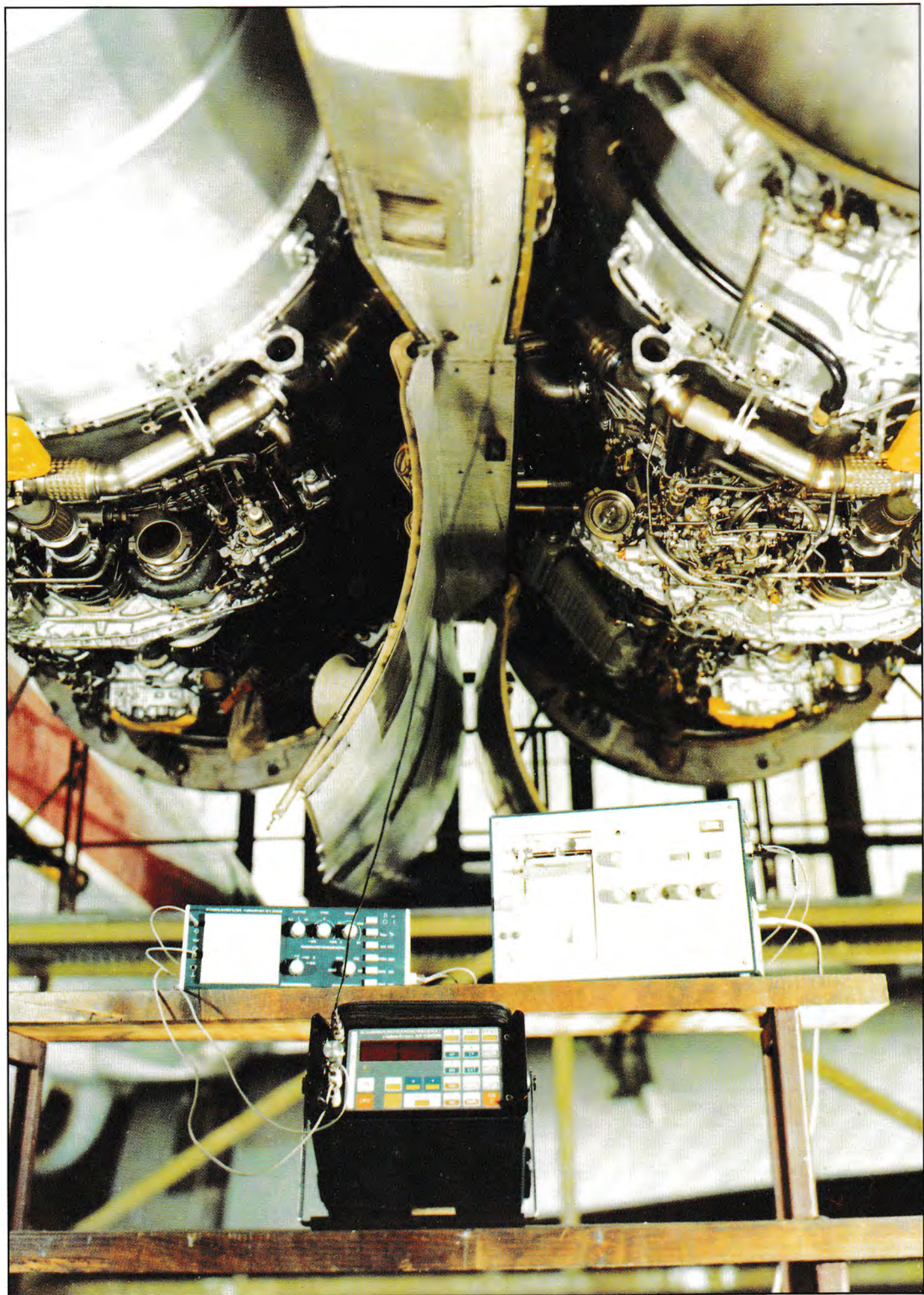
VIBRODAT-Meßauftrag

Nr.	Standort	Ausrüstung	Lag	$\hat{a}(0)$	$a(0)$	A	K	Zy	MTM	FC	Hinweis
2	71	DV 33	1	30.3	4.0	m	a	4	.5	18	SW Erp. *

Datum	$\hat{a}(t)$			Maßn. 1	K(t) - Verlauf			Zustandsmeldung
	$\hat{a}(t)$	$a(t)$	K(t)		0.2	0.02		
18.11.85	14.9	2.3	1.000	-				
12.12.85	19.9	2.6	0.662	-				
08.01.86	19.3	2.6	0.682	-				
07.03.86	20.1	2.9	0.587	-				
18.04.86	21.4	4.4	0.363	-				
08.05.86	15.8	3.8	0.570	-				
10.06.86	38.6	5.3	0.167	W!				
10.07.86	156.0	38.2	0.005	Al			Geräusche	
20.10.86	35.8	6.7	0.500LW	-				
19.11.86	31.2	6.0	0.641	-				
28.01.87	32.6	4.3	0.856	-				
24.02.87	30.1	6.2	0.643	-				
20.03.87	49.2	8.9	0.274	-				

VIBRODAT-Trendbewertung

- Lag (Maschinen)Lager
- $\hat{a}(0)$ Spitzenwert zum Zeitpunkt 0
- $a(0)$ Effektivwert zum Zeitpunkt 0
- A Art der Meßwertermittlung zum Zeitpunkt 0
- K Kategorie des Lagers (Code)
- Zy Meßzyklus
- MTM Mittelzeit
- FC Filtercode
- W! Warnung (Danger)
- Al Alarm (Damage)



Frequenzanalyse mit Schmalbandfilter und Pegelschreiber

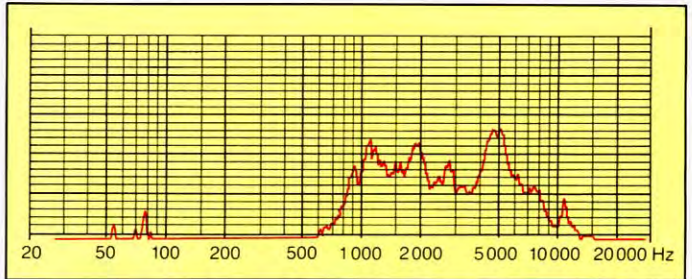
Durch Kombination des M 1302 mit dem Schmalbandfilter 01025 und dem Pegelschreiber 02060 erhält man einen netzunabhängigen Meßplatz zur Frequenzanalyse.

Abbildung Meßplatz Frequenzanalyse

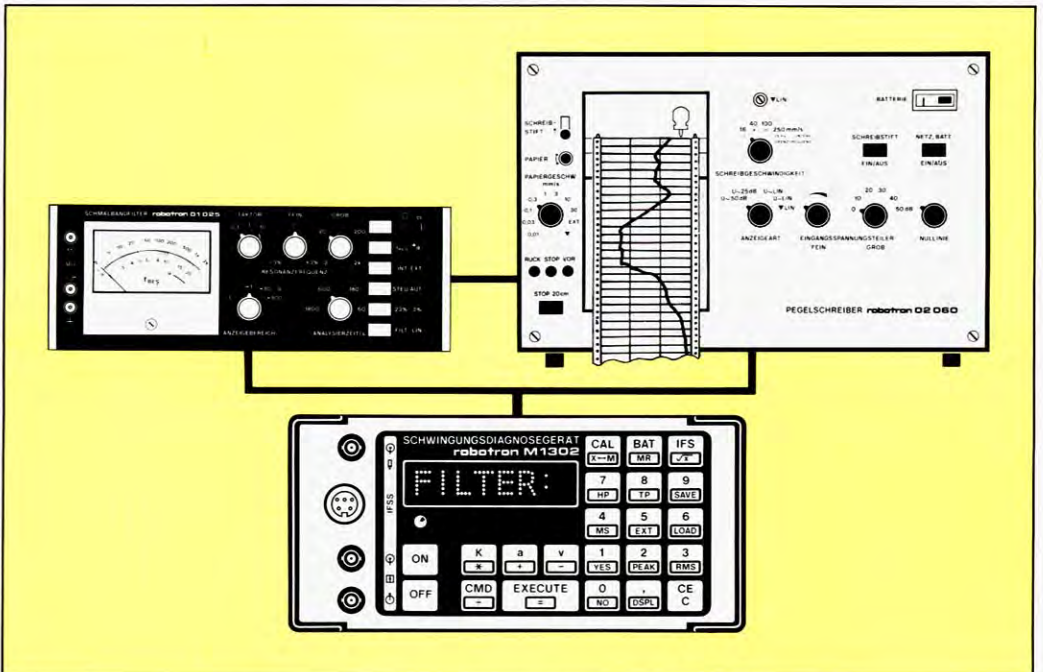
Das M 1302 unterstützt diese Arbeitsweise in den Betriebsarten \bar{a} , \bar{v} , \bar{v} . Die internen Filter sind dabei auf 2,2 Hz und 22 kHz geschaltet. Bedienungsablauf und Ergebnis der Frequenzanalyse werden im Beispiel graphisch dargestellt.

M 1302	01 025	02 060																																										
<table border="1"> <tr><td>F</td><td>I</td><td>L</td><td>T</td><td>E</td><td>R</td><td>:</td></tr> <tr><td>M</td><td>T</td><td>M</td><td>:</td><td>.</td><td>5</td><td>s</td></tr> <tr><td>a</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>m s⁻²</td></tr> <tr><td>a</td><td>=</td><td>.</td><td>1</td><td></td><td></td><td>m s⁻²</td></tr> <tr><td>a</td><td>=</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td></td><td>m s⁻²</td></tr> <tr><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td><td>...</td></tr> </table>	F	I	L	T	E	R	:	M	T	M	:	.	5	s	a						m s ⁻²	a	=	.	1			m s ⁻²	a	=	2	0	3		m s ⁻²	<p>EXT</p> <p>EXECUTE</p>	<p>DISP</p> <p>LIN</p>
F	I	L	T	E	R	:																																						
M	T	M	:	.	5	s																																						
a						m s ⁻²																																						
a	=	.	1			m s ⁻²																																						
a	=	2	0	3		m s ⁻²																																						
...																																						
		Abgleich der Verstärkung																																										
		START																																										

Bedienablauf bei Schmalbandanalyse



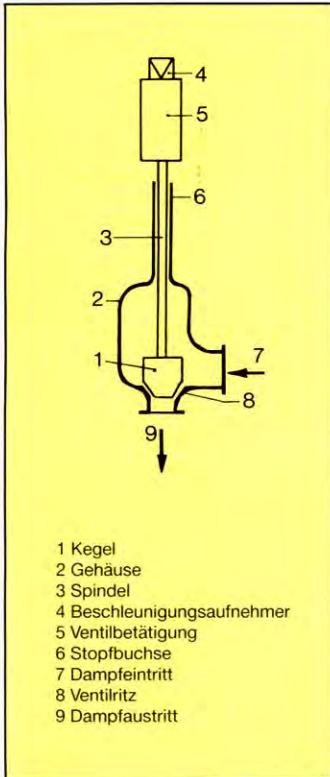
Meßplatz zur Schmalbandanalyse



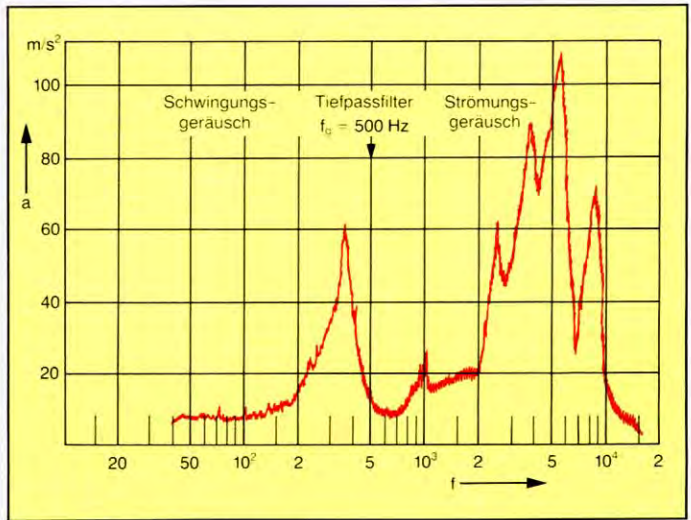
Meßplatz zur Schwingungsanalyse von Strahltriebwerken, bestehend aus dem Schwingungsdiagnosegerät M 1302, dem tragbaren Pegelschreiber 02060 und dem Schmalbandfilter 01025

Diagnose von Regelventilen

Der Diagnosekennwert $K(t)$ ist u. a. auch für die Zustandsbeurteilung von Regelventilen großer Dampfturbinen geeignet. Ähnlich wie bei Wälzlagern treten beim Ventil Schwingungs- und Stoßvorgänge auf, deren Körperschall als Diagnoseparameter mit dem M 1302 gemessen werden kann. In der Schadenshäufigkeit bei Ventileinbauteilen von Dampfturbinen nehmen die Spindelbrüche den ersten Platz ein. Bei der seitlichen Dampfeinleitung und vertikalen Durchströmung des Ventils, wie in der Abbildung dargestellt, entstehen Abreißzonen an den Kanalwänden, Turbulenzen und Verdichtungsstöße. Die daraus resultierenden Druckschwankungen regen die Ventilspindel mit dem Kegel zu mechanischen Schwingungen an. Zunehmende Vibrationsgeräusche sind als Anzeichen der beginnenden mechanischen Zerstörung bekannt. Hier liefert die Schwingungsmessung wesentlich zuverlässigere Beurtei-



Schema der Regelarmatur einer Dampfturbine

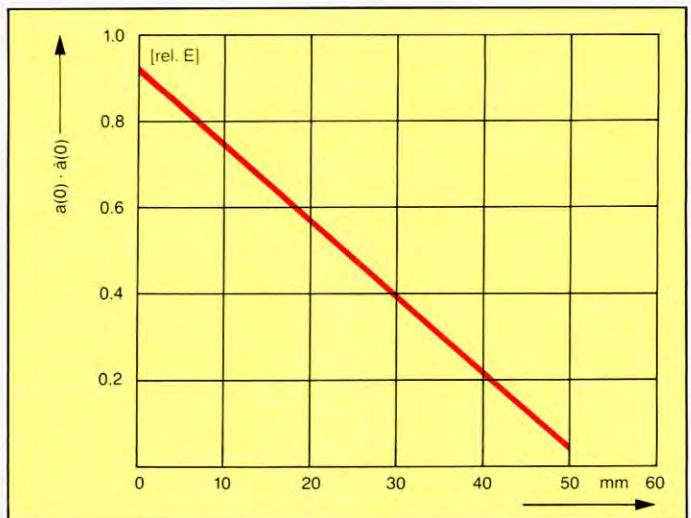


Frequenzanalyse eines Zylinderrollenlagers

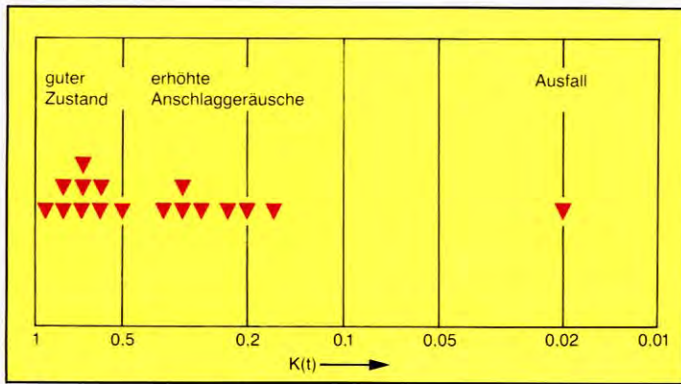
lungskriterien für die Gefahr eines Spindelabrisses als die subjektive Geräuschein-schätzung eines Betriebsingenieurs. Das Amplitudenspektrum eines so gewonnenen Beschleunigungssignals gliedert sich in zwei charakteristische Bereiche:

- breitbandige Strömungsgeräusche im Bereich 700 Hz bis 5 kHz
- niederfrequente Ventilspindel-schwingungen mit max. Amplitude bis 300 Hz.

Die Messung der interessierenden An-schlagerscheinungen der Ventilspin-del erfolgen hier in der Betriebsart $K(t)$ unter Einsatz des Tiefpaßfilters mit der Einstellung 470 Hz. Jedes Regelventil besitzt ein spezi-elles Schwingungsverhalten. Es wird durch Fertigung, Montage und Betriebsbeanspruchung bestimmt. Bei der Bestimmung der Anfangswerte und der Inspektion ist die Stellung der Spindel zu beachten, deren typischer Einfluß der Abbildung zu entnehmen ist.



Spektrum des Beschleunigungssignals eines Regelventils



Einfluß der Spindelstellung auf die Anfangswerte von $K(t)$

Für die praktische Messung gibt es zwei Möglichkeiten:

- Messung bei stets gleicher Spindelstellung
Der Einfluß der Spindelstellung wird eliminiert.
- Messung bei unterschiedlicher Spindelstellung und Korrektur der Meßwerte

Voraussetzung ist der funktionale Zusammenhang zwischen Beschleunigungsmeßwerten und Spindelstellung für das zu untersuchende Regelventil.

Zur Meßwerterfassung wird der Beschleunigungsmeßwandler am zugänglichen Teil der Ventilbetätigung mit dem Haftmagneten befestigt. Als Meßzeit wird $MTM = 15$ s eingegeben.

Industriemessungen bestätigen die angegebenen Klassengrenzen des Diagnosekennwertes.

Im Interesse der techn. Lösung behalten wir uns At. genannten technischen und Beschreibungen vor



INDUSTRIELEKTRONIK-SERVICE

SCHALL- SCHWINGUNG- KRAFT
MESS & STEUERUNGSTECHNIK

SERVICE für MKD-
ROBOTRON-MESSELEKTRONIK
DRESDEN

DIPL.-ING. VOLKER REISS
INDUSTRIELEKTRONIK-SERVICE

FALKENHAINER STR.1 01257 DRESDEN ☎/FAX 0351/ 2883816 / 2729197
net: www.iesservice.de eMail: service@iesservice.de

