

**Innovative Schwingungs- und Geräuschanalyse
an rotierenden Maschinen
zum Zweck der Qualitätssicherung
und der Diagnose**

Hans-Joachim Kolb

**MEDAV Digitale Signalverarbeitung GmbH
91080 Uttenreuth · Gräfenberger Str. 34**

1. Einführung

Es mag ungewöhnlich erscheinen, an dieser Stelle über ein Gemeinschaftsentwicklungsvorhaben zu berichten, das gerade erst begonnen hat. Gerade ein Forum von Spezialisten sollte aber aus unserer Sicht Plattform sein, über die zentralen Ideen, Entwicklungsziele und die Vorgehensweisen in diesem internationalen Kooperationsprojekt zu berichten.

Die Entwicklung *innovativer Produkte* ist mit hohem Kostenaufwand verbunden. Dies gilt vermehrt dann, wenn man die bereits vorhandenen Erkenntnisse aus der Forschung und der Grundlagenentwicklung nicht nutzt. *Forschungskooperationen* im Vorproduktstadium unter Einbindung der potentiellen Anwender und insbesondere kompetenter Forschungseinrichtungen sind eine Möglichkeit zur Verringerung der Kosten. Synergien können zum Vorteil aller Beteiligten genutzt werden.

Ein Gemeinschaftsvorhaben, mit acht aktiven Partnern aus Deutschland und östlichen Nachbarländern, hat mit dem 1.1.1995 begonnen. Dank einer Förderung durch die Europäische Gemeinschaft ist es möglich, insgesamt *30 Mannjahre Forschungs- und Entwicklungsleistung* für das Ziel einzusetzen. Verfahren und Algorithmen werden auf vorhandener Hardware entwickelt, so daß sämtliche Aufwendungen in Verfahrensentwicklung und Software fließen werden. Die beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen verfügen über umfangreiche Erfahrungen und Know-How, was in das Projekt einfließen wird.

Neben den aktiven Partnern beteiligen wir gerne zusätzliche assoziierte Partner, die an den Entwicklungsergebnissen partizipieren wollen. Software kann von allen Partnern auf der vereinheitlichten Entwicklungsplattform erprobt und genutzt werden. Mit der Teilnahme an den regelmäßigen Workshops, werden die Entwicklungsergebnisse den Partnern vermittelt.

2. Gegenwärtiger Kenntnisstand

Zustandsüberwachung und Qualitätsprüfung an rotierenden Maschinen wird derzeit mit hochspezialisierten und auf die Anwendung optimierten Systemen betrieben.

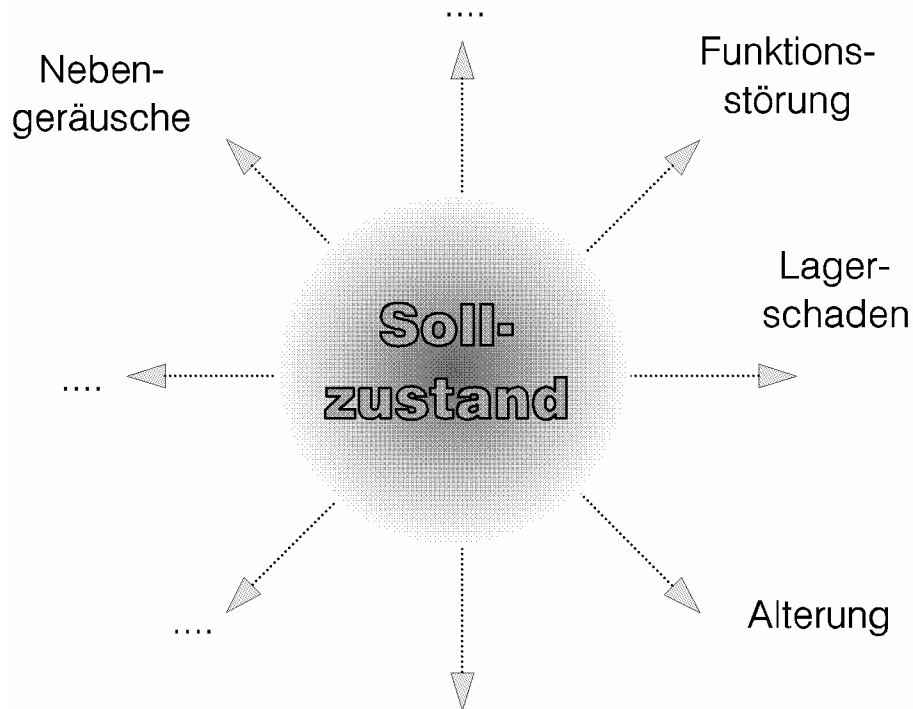


Bild 1: Diagnosemeldungen interpretiert als Cluster im Merkmalsraum

Diese Systeme sind für die praktische Anwendung in folgender Weise gekennzeichnet:

- **Hohe Kosten** und **hoher technischer Aufwand** verfügbarer Systeme verhindert in der Regel deren Einsatz in der stationären Diagnose.
- **Fehlende Konfigurierbarkeit** und Universalität verhindert den universellen Einsatz und damit die kostengünstige Herstellung.
- Derzeit werden Möglichkeiten des verteilten Betriebs durch **dezentrale Überwachungseinrichtungen** nicht genutzt.

Notwendig sind modellbasierte Überwachungseinrichtungen zum universellen Einsatz. Einfache Konfigurierbarkeit oder Training muß die aufwendige anwendungsspezifische Entwicklungsarbeit ersetzen. Moderne Kommunikationskonzepte und die Einbindbarkeit in verteilte Überwachungs- und Prüfeinrichtungen müssen berücksichtigt werden.

3. Wissenschaftliche Ziele

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Durchführung angewandter Forschung auf dem Gebiet der Schwingungsanalyse, Überwachung und Diagnose rotierender Maschinen. Die zu schaffenden innovativen Meßverfahren verbessern die Voraussetzungen für die Entwicklung schwingungs- und geräuscharmer Produkte im Maschinen-, Fahrzeug- und Anlagenbau. Außerdem tragen sie zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verringerung des Wartungsaufwandes bei. Die Anwendun-

gen reichen von der Qualitätssicherung in der *Entwicklung* bis zur Qualitätskontrolle in der *Produktion* und zur laufenden *Überwachung* im Betrieb.

In dem Gemeinschaftsforschungsvorhaben werden die folgenden Forschungs- und Entwicklungsziele verfolgt:

- Entwicklung neuer Verfahren zur Bestimmung von *Merkmalen*, die geeignet sind, den Zustand rotierender Maschinen zu beschreiben.
- Entwicklung von Verfahren und Tools zur vereinfachten *Definition anlagenspezifischer Überwachungskomponenten* auf der Basis von Standardkomponenten in Hardware und Software.
- Grundlagenarbeiten für universelle, selbstlernende Systeme zur *Modellbildung*.
- Untersuchung verschiedener *neuronaler Netze* und deren Lernalgorithmen zur Realisierung nichtlinearer Modelle.
- Erarbeitung geeigneter Lernstrategien für die überwachte und dokumentierte *Adaption* der Modellsystemparameter im laufenden Betrieb.
- Einsatz dieser Modelle zur Gewinnung eines oder mehrerer Parameter zur Beschreibung des *Maschinenzustandes*.
- Überprüfung der Erkenntnisse durch experimentelle Messungen am *KFZ-Antriebsstrang* und an den Schwingungssignalen von *Turbinen*.
- Überprüfung der Verfahren und der Sensoranforderungen hinsichtlich ihrer Eignung zur *Integration*.

4. Basis der Kooperation

Das Projekt baut auf langjährig gewachsenen Beziehungen zwischen den beteiligten Partnern auf. Besonders hervorzuheben sind dabei natürlich die Kontakte zwischen den Partnern aus der ehemaligen Tschechoslowakei. Weitere Beziehungen bestehen zwischen der TU Ilmenau und der TU Budapest sowie der TU Liberec. Zwischen der TU Ilmenau und MEDAV besteht seit 1990 eine Zusammenarbeit. Besonders vorteilhaft wird sich die Beteiligung von Industriebetrieben auswirken.

Die theoretische Basis des Projekts sind moderne Verfahren der *digitalen Signalverarbeitung*, der *statistischen Signalanalyse*, der *Systemidentifikation* und der *Signalklassifikation*, z.B. mittels *neuronaler Netze*.

Die Implementierung der Algorithmen erfolgt auf einem modularen DSP-gestützten System. Es wird der moderne Stand der Kommunikationstechnik und der Datenverarbeitung genutzt, um eine dezentrale Signalerfassung, Signalauswertung und eine Beurteilung der Ergebnisse mit den Mitteln der künstlichen Intelligenz zu ermöglichen.

Mit den Methoden der digitalen Signalverarbeitung werden die Algorithmen zur Identifikation von Schwingungsursachen, zur grafischen Auswertung und zur Bewertung von Maschinengeräuschen geschaffen.

Die beteiligten aktiven Industrieunternehmen gewährleisten, daß die Anforderungen der Industrie an derartige Systeme berücksichtigt werden. Die Industriepartner testen die zu entwickelnden

Verfahren und Systemkomponenten im Rahmen von *Feldversuchen* in ihren jeweiligen Entwicklungs- und Produktionsumgebungen.

Die assoziierten Teilnehmer partizipieren an allen Ergebnissen und Erkenntnissen. Es besteht die Möglichkeit zur praktischen Erprobung der Verfahren auf der einheitlichen PC-Entwicklungsumgebung. Im Rahmen der regelmäßigen Workshops erfolgt ein Wissensaustausch und die detaillierte Projektfortschrittsplanung auch unter Einbeziehung der Interessen der assoziierten Partner.

5. Nutzen für die Teilnehmer

Ziel des wissenschaftlich-technischen Forschungsvorhabens ist es, innovative Verfahren für die Analyse, Überwachung und Diagnose rotierender Maschinen zu entwickeln. Ausgangspunkt sind Sensorsignale wie z.B. Schwingungs- und Geräuschsignale. Die Anwendungen reichen von der Qualitätssicherung in der Entwicklung bis zur Qualitätskontrolle in der Produktion und zur laufenden Überwachung im Betrieb.

Die Verfahren sollen gegenüber herkömmlichen Verfahren detailliertere Hinweise über die Ursachen und Eigenschaften der Maschinenschwingungen liefern und verbesserte Möglichkeiten zur *automatischen Diagnose* des Maschinenzustandes erlauben. Als besondere Vorteile sollen eine Verlängerung von Wartungsintervallen, eine zielgerichtete Schadensdiagnose und eine Erhöhung der Sicherheit bei großen Anlagen resultieren.

Die zu entwickelnden Meßverfahren sind nützlich zur *Entwicklung schwingungs- und geräuscharmer Produkte*.

Auf der Basis moderner rechentechnischer Hilfsmittel soll die Software für ein modulares Meßsystem entwickelt werden, das die besonderen Anforderungen erfüllt. Eine einheitliche und ausbaubare Plattform kann sowohl in der Labormeißtechnik als auch in der stationären Anlagenüberwachung eingesetzt werden. Die Teilnehmer verfügen nach Abschluß des Projektes über dieses *PC-basierte Meßsystem* mit aller entwickelter Software.

Es ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, die Perspektive zur *Integration* derartiger Komponenten zu berücksichtigen. Unter Umständen können Sensoren und Systemschnittstellen einbezogen werden. Vision ist der *sensornahe, anwendungsspezifisch trainierte Chip*, der über eine standardisierte Systemschnittstelle seine Zustandsdiagnosedaten an eine Zentrale sendet. Insbesondere hier ist die Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdisziplinen von hoher Bedeutung. Ohne die entsprechenden engen Verbindungen der Anwender, Forscher und der Mikroelektronikunternehmen sind keine konstruktiven Ergebnisse möglich.

Die Verstärkung der Beziehungen zwischen *Hochschulen und Industrie* als auch zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen auf europäischer Ebene ist wichtig für die Zusammenarbeit.

Das Projektergebnis sollte von den Teilnehmern, bei minimalem F&E-Kostenanteil, direkt in *marktgerechte und wettbewerbsfähige Produkte* umgesetzt werden können.

6. Wirtschaftliche Bedeutung

Für die Analyse, Diagnose und Überwachung rotierender Maschinen gibt es eine Reihe gewichtiger Gründe:

- Erhöhung der Produktqualität durch die Entwicklung schwingungs- und geräuscharmer Maschinen.

- Erhöhung der mittleren Maschinenlaufzeit durch zustandsorientierte Wartung.
- Verringerung des Risikos für einen unvorhergesehenen Ausfall durch laufende Überwachung.

Anwendungen reichen vom **Maschinenbau** (Werkzeugmaschinen, Anlagen, Elektromotoren) über den **Fahrzeugbau** (Automobile, Nutzfahrzeuge, Schienenfahrzeuge, Schiffsantriebe, Flugzeugantriebe) bis hin zu **Kraftwerksanlagen**.

Die Tschechische und die Slowakische Republik sind traditionelle Standorte des Maschinen-, Schwermaschinen- und Fahrzeugbaus. Die Fähigkeiten bei der Entwicklung mathematischer Modelle in unseren östlichen Nachbarländern sind beachtenswert und bekannt. Fähigkeiten und Erfahrungen bei der Entwicklung praxisnaher und qualitativ hochwertiger Software sind bei allen Partnern vorhanden. Wir in Deutschland sind darauf angewiesen, zukunftssträchtige und innovative Produkte anbieten zu können. Unsere Fähigkeiten im Bereich der Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in moderne Produkte der Meßtechnik und der Mikroelektronik sowie deren Anwendung in komplexen Systemen ist Schlüssel zum Erfolg.

Durch das Projekt soll erreicht werden, daß Entwicklungskapazität an traditionellen Standorten der genannten Länder genutzt wird. Die Kosten für das Projekt sollen minimiert werden. Die Fähigkeiten jedes einzelnen Partners sollen eingesetzt werden, um für alle Beteiligten geldwerte Vorteile zu schaffen.

Durch die Beteiligung von Unternehmen mit unterschiedlicher Produktpalette ist das Entstehen einer Konkurrenzsituation nicht zu befürchten. Stattdessen erscheint eine Zusammenarbeit zum gegenseitigen Vorteil bei der Erschließung des Marktes sowohl im EU- als auch im Bereich der mittel- und osteuropäischen Länder möglich. **Forscher, Zulieferer und Anwender** der Technologie werden zusammengeführt.

7. Projektmerkmale

Die einzelnen Arbeitspakete werden derart definiert, daß die Erfahrungen der Teilnehmer gut eingebracht werden können. Arbeitspakete orientieren sich am Signalfluß der Kette vom Sensor bis hin zum Klassifikationsergebnis.

Sensoren

Neben bekannten auf dem Markt verfügbaren Schwingungsaufnehmern (für Beschleunigung, Schnelle, Weg) werden Sensoren benötigt, die eine berührungslose Messung der radialen Schwingungskomponenten und die Torsionsschwingungen rotierender Teile erlauben. Es sollen preiswerte und robuste Sensoren z.B. auf optoelektronischer Basis oder Schwingungsaufnehmer mit der dafür notwendigen Signalverarbeitung eingesetzt werden.

Signalerfassung

Die Sensorsignale werden in einem Signalverarbeitungssystem erfaßt und damit einer weiteren Verarbeitung zur Verfügung gestellt. Eine schritthaltende Online-Verarbeitung wird ebenso wie die zeitversetzte Verarbeitung von Signalstichproben mit aufwendigeren Algorithmen ermöglicht.

Analyse und Merkmale

Ausgehend von einer physikalisch begründeten Modellierung der Maschinendynamik und auf der Basis der neuesten Ergebnisse der digitalen Signalverarbeitung werden Signalanalyseverfahren definiert. Es werden Verfahren untersucht, die eine detaillierte Analyse der Eigenschaften von Schwingungssignalen an rotierenden Maschinen im Labor und in der Fertigung erlauben. Ergebnis sind Merkmale, die den Entstehungsort und die Ursachen der Schwingungen aufdecken können.

Klassifikation und Diagnose

Für eine on-line-Überwachung von Maschinen und Anlagen werden vereinfachte und empirisch begründete Klassifikationsverfahren entwickelt, die es gestatten, den Maschinenzustand zu überwachen, Abweichungen vom Sollzustand festzustellen, gegebenenfalls eine Alarmierung auszulösen und eine einfache Schadensdiagnose zu liefern. Wesentlich wird hierbei der Gedanke der Modellbildung sein.

Modellbasierte Zustandsanalyse

Die Zustandsüberwachung erfordert die *andauernde* Einschätzung und Verfolgung des Betriebszustandes während des Betriebs. Der Sollzustand entspricht einem definierten Ausgangspunkt, der am geeigneten Muster festgestellt wird.

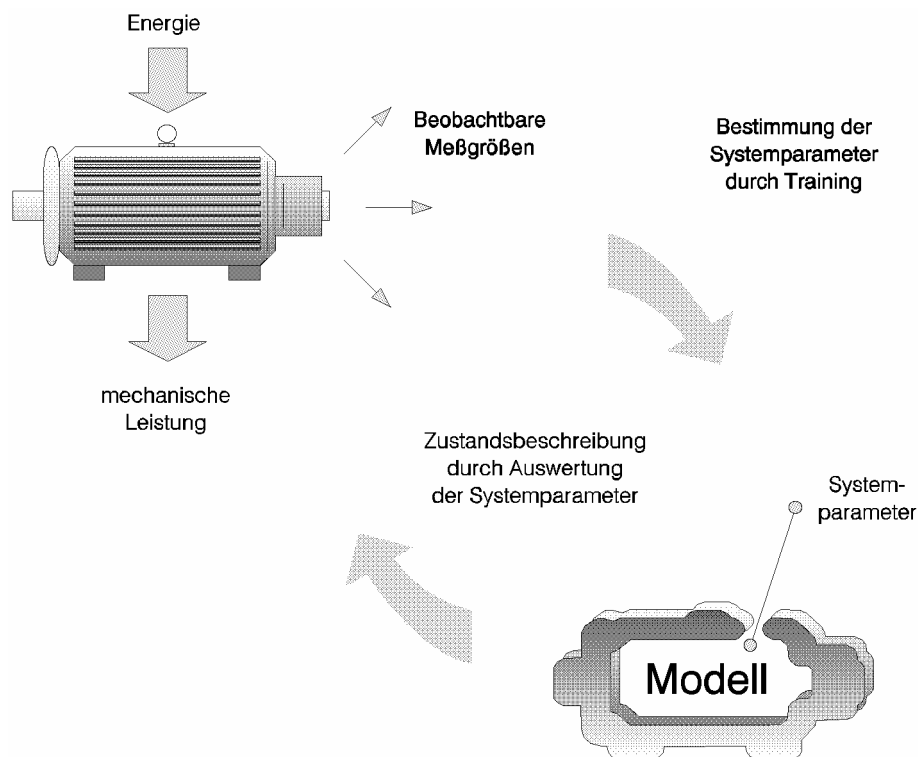


Bild 3: Modellbildung ist die Grundlage jedes Prüf- und Diagnosesystems

Die Zustandsanalyse dient hier dem Ziel, die aktuelle Abweichung des Istzustandes vom Sollzustand zu bestimmen. Erfasste Meßdaten werden genutzt, um im Merkmalsraum einen Abstandsparemeter vom Ist- zum Sollzustand zu bestimmen.

Man versucht üblicherweise, ein lineares, analytisches Modell aller zusammenwirkenden Anlagenteile und Prozeßparameter zu entwerfen, um hiermit zulässige von unzulässigen Zuständen zu unterscheiden. Der Zeit- und Kostenaufwand für diese Modellierung ist in der Regel hoch. Universelle Anwendbarkeit ist in der Regel nicht gegeben.

Neben den klassischen linearen Methoden, eröffnen Verfahren der Mustererkennung auch den Zugang zu nichtlinearen Systemmodellen. Neuronale Netze bieten die Perspektive für lernfähige Modelle, die mit geringem Aufwand trainiert werden können. Der analytische Zusammenhang zwischen Anlagenzustand und Meßgröße muß nicht bekannt sein. Die Entwicklung auch nichtlinearer Modelle auf der Basis der beobachtbaren Meßdaten erscheint mit vertretbarem Aufwand möglich.

8. Neue Algorithmen

Zyklostationarität

Reale Maschinengeräusche müssen im statistischen Sinn als zyklstationäre und nicht normalverteilte Prozesse charakterisiert werden. Herkömmliche Meß- und Diagnosesysteme beschränken sich meist auf die einfache Berechnung gemittelter FFT-Spektren und deren Auswertung. Damit wird willkürlich ein stationäres Signalmodell vorausgesetzt. Die Merkmale, die in der spektralen Korrelation und in den Momenten bzw. Spektren höherer Ordnung enthalten sind, werden somit ignoriert. Es kann angenommen werden, daß bestimmte Schwingungsphänomene, z.B. nichtlinear verursachte oder multiplikativ, d.h. als Modulation eingetragene Komponenten, mit herkömmlichen Methoden überhaupt nicht oder nur unscharf zu identifizieren sind.

Parametrische Modelle

Neue Ergebnisse sind zu erwarten, wenn parametrische Modelle für die Maschinenschwingungen zugrunde gelegt werden. Dazu gehören AR- und ARMA-Spektren, Exponentialfunktionsmodelle für determinierte Schwingungskomponenten oder Volterraansätze für nichtlineare Phänomene.

Identifikation - Ortung - Trennung

Nicht immer können die Schwingungen direkt am Ort ihrer Entstehung gemessen werden. Dafür können konstruktive Gründe, ein zu hoher Aufwand oder schwierige Umweltbedingungen ausschlaggebend sein. Beispiele sind Schwingungen innerhalb von Maschinen wie die Schwingungen von Turbinenschaufeln oder das Abrollgeräusch von Reifen während der Fahrt. Oft überlagern sich auch verschiedene Einflüsse. Z.B. setzt sich das Fahrzeuginnenraumgeräusch aus vielen überlagerten Geräuschen zusammen oder es wird ein Geräusch auf sehr unterschiedlichen Wegen vom Entstehungsort zum Immissionspunkt übertragen (z.B. als Bodenschwingungen und Luftschall).

Dann kommt es darauf an, die Schwingungsursache bzw. den Entstehungsort und die Übertragungswege zu identifizieren. Dafür sollen eine Reihe verschiedener Signalanalyseverfahren getestet werden. Sie erfordern oft einen statistischen Ansatz (Korrelation und Kohärenz) und eine dynamische Modellierung von Teilstrukturen. Außerdem kann durch Nutzung von a-priori-Wissen eine Trennung verschiedener Komponenten realisiert werden.

Ordnungsanalyse

Eine einfache Möglichkeit zur Auswertung von a-priori-Kennntnis bei der Schwingungsanalyse an rotierenden Maschinen ist die drehzahlsynchrone Auswertung der Ergebnisse. Ein bekannter Vorteil ist, daß somit eine Darstellung des Spektrums über der Ordnung, d.h. drehzahlnormiert, erfolgen kann. Schwingungskomponenten, die mit der jeweiligen Drehzahl zusammenhängen, lassen sich so leicht identifizieren und von anderen Komponenten unterscheiden.

Bekannte Lösungen sind dadurch gekennzeichnet, daß durch eine drehzahlsynchrone Abtastung der Schwingungssignale bereits beim Aufzeichnen der Signale eine Reihe praktischer Nachteile entstehen. Hier soll ein anderer Weg beschrritten werden, der konsequent die Möglichkeiten der digitalen Signalverarbeitung ausnutzt. Es soll damit eine durchgängige drehzahl- und ordnungsselektive Signalverarbeitung realisiert werden. Ein Vorteil wäre z.B., daß eine drehzahlselektive Zerlegung der Signale durch drehzahlgesteuerte Kammfilter in drehzahlsynchrone und nichtsynchrone Anteile und in die einzelnen Oberwellen erfolgen kann. Damit können alle weiteren Analyseverfahren von der Geräuschklassifikation über die Schadensanalyse bis zur psychoakustischen Geräuschbewertung und zur grafischen Auswertung der Betriebsschwingungen ordnungsgesteuert erfolgen.

Klassifikation mittels Neuronaler Netze

Für eine automatische Zustandsdiagnose an Maschinen ist letztlich nur eine Gut/Schlecht-Aussage erforderlich. Oft interessiert zusätzlich eine Schadensklassifikation. Die gemessenen Kennfunktionen (z.B. Spektren) sind demgegenüber sehr viel komplizierter. Außerdem werden die interessierenden Merkmale und Veränderungen oft durch unterschiedliche Maschinenzustände überdeckt. Eine Lösung wäre die komplette Simulation der Anlage, die auch die nichtlinearen Eigenschaften in den verschiedenen Betriebszuständen enthalten muß. Eine abstrahierende Lösung auf der Basis empirischer Werte (geliefert durch intakte Anlagen) ist auf der Basis neuronaler Netze möglich, die zum "Anlernen" eines Netzes genutzt werden. Für die Lösung der skizzierten Aufgabe sind die weit verbreiteten Backpropagation-Netze nur beschränkt geeignet. Es ist notwendig, Modelle wie die Kohonen-Netze, Condensed-Nearest-Neighbour-Netze oder Restricted Coulomb-Energy-Netze einzusetzen. Ein Nachtrainieren im laufenden Betrieb soll möglich sein.

9. Entwicklungshilfsmittel

Rechnerplattform

Sämtliche Projektpartner nutzen eine identische Entwicklungsplattform. Damit sind Ergebnisse direkt austauschbar und wechselseitig erprobbar. Im Projekt wird ein Standalone-PC eingesetzt, der durch geeignete Hardware- und Softwaretools erweitert wird.

Algorithmenentwicklung

Algorithmen werden in MATLAB formuliert und in dieser Umgebung erprobt. Diese Interpretersprache gestattet die einfache Realisierung und den Test von neuen Algorithmen und bietet beste Voraussetzungen für eine einfache Portierung. Die Ergebnisse sind Basis für eine Umsetzung in eine leistungsstarke DSP-Umgebung.

Echtzeitumgebung

Die sensornahe Signalverarbeitung stellt hohe Anforderungen an die Geschwindigkeit bzw. die Echtzeitfähigkeit der Signalerfassung und der Signalverarbeitung. Beispiele sind die Echtzeitfilterung, die Echtzeit-FFT, die on-line-Implementierung von Klassifikationsalgorithmen usw. Diese Anforderungen werden sehr gut durch digitale Signalprozessoren erfüllt. Wichtig sind einfache Programmierbarkeit im Betrieb und die Implementierung eines einfachen Echtzeitbetriebssystems. Außerdem ist ein autonomer Betrieb mit Alarmierungsfunktion und einer Aktivierung der Datenübertragung im Bedarfsfall erforderlich.

Die Aufgabenstellung der Meßdatenerfassung reicht von der ein- oder zweikanaligen Meßdatenerfassung bis zur vielkanaligen Erfassung der Schwingungen räumlich ausgedehnter Strukturen und größerer Anlagen. Es soll das modulare System mini-SYS eingesetzt werden, das einen schrittweisen Ausbau und damit eine flexible Anpassung an einen gegebenen Komplexitätsgrad erlaubt. Im Projekt wird eine zweikanalige Einheit eingesetzt. Dabei sollen durch eine sensornahe Vorverarbeitung der Signale eine Dezentralisierung der Rechenleistung und eine Datenreduktion im peripheren Bereich erreicht werden, um die Kommunikationswege zum Leitrechner zu entlasten.

Datenbankgestützte Signalverwaltung

Ergebnisse früherer Messungen müssen geeignet abrufbar sein. Insbesondere bei der Zustandsüberwachung geht es um die Erkennung charakteristischer Veränderungen des Signals, die einen bestimmten Fehler ankündigen. Hierfür ist ein problemorientiertes Datenbankkonzept erforderlich, das eine Verwaltung nach Signalmerkmalen und Statusdaten erlaubt.

Anwendungen und Feldversuche

Die Prinzipien des vorgeschlagenen Meß- und Diagnosesystems werden bei den beteiligten Industrieunternehmen für Aufgaben der Qualitätssicherung in der Produktion und der Fertigung genutzt. Die beteiligten aktiven Industrieunternehmen führen Feldversuche durch. Sie beteiligen sich bereits bei der detaillierten Projektplanung zur Spezifikation der Systemeigenschaften. Die Ergebnisse dieser Versuche stehen allen Partnern zur Verfügung.

Workshops

Regelmäßige Workshops dienen der Projektkoordination und dem Erhalt der persönlichen Bekanntschaft der Projektteilnehmer untereinander. Im Rahmen dieser Workshops werden Ziele formuliert und Erkenntnisse ausgetauscht. Assoziierte Partner übernehmen aktuelle Software und berichten ggf. über eigene Erfahrungen. Die Workshops finden wechselweise voraussichtlich in Prag und Budapest dreimal jährlich statt.

10. Erste Erfahrungen

Das Projekt begann mit dem 1. Januar 1995. Im Rahmen von mittlerweile zwei Workshops wurde ein Arbeitsprogramm festgelegt. Die Kompetenz, Motivation und Bereitschaft zur kooperativen Arbeit wurde bestätigt.

