



Technische Diagnostik Aktueller Stand und Entwicklung

- Prof. Dr.-Ing. G. Meltzer
- Technische Universität Dresden
- Institut für Energiemaschinen und Maschinenlabor
- D- 01062 Dresden
- Telefon : +49-351-463 35372
- Telefax: +49-351-463 37298
- E-mail: meltzer@mal.mw.tu-dresden.de

Instandhaltungskongress

Dresden

5. und 6. November 2002

Technische Diagnostik

Aktueller Stand und Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. habil. Gottfried Meltzer
Technische Universität Dresden

Monitoring oder Diagnostik

Neue internationale Normung unterscheidet immer noch diese beiden Aktivitäten bei der Feststellung des Zustandes eines Systems oder Prozesses.

Dabei soll durch einfache Überwachung (Monitoring) lediglich das Vorhandensein eines Fehlers oder Schadens detektiert werden. Die dazu erforderliche Signalauswertung ist relativ einfach, meist wird nur ein Diagnose-Merkmal mit einem Grenzwert verglichen.

Die Diagnostik beginnt nach der Entdeckung eines Schadens und dient der Identifizierung und Lokalisierung des Schadens und der Abschätzung seines Ausmaßes. Dazu sind meist mehrere Merkmale aus dem Diagnosesignal zu extrahieren, welche erst in ihrer Kombination eine befriedigende Aussage über den Schaden geben.

Gegenwärtige Überwachungsstrategien geben nicht die Gewähr für eine sichere Detektion des Schadens. Deshalb ist es nützlich, bereits in der Überwachungsphase die gesamte Signalverarbeitung der Diagnosephase auszuführen. Das ist durch die computergesteuerte Mess- und Auswertetechnik problemlos möglich. **Monitoring und Diagnostik im herkömmlichen Sinne verschmelzen deshalb mehr und mehr zu einer leistungsfähigen Aktivität.**

Monovariante und multivariante Diagnostik

Bei monovariater Diagnose lässt sich der Zusammenhang zwischen Schaden und Diagnosemerkmal in Form einer Kennlinie darstellen. Diese gilt nur bei festgelegten Referenzbedingungen, welche während der Diagnosemessung einzuhalten sind. Multivariate Diagnose erfordert zwar mehrere Merkmale, u.U. sogar mehre Messsignale, lässt aber auch die Identifikation von Schäden nach Art, Lage und Größe zu und kann auch unterschiedliche Betriebsbedingungen respektieren. Als Diagnosemodelle kommen Klassifikatoren oder neuronale Netze in Frage. Für beide Gruppen steht ausreichend Entwicklungssoftware zur Verfügung.

Der Übergang von datenbasierten zu regelbasierten Diagnosemodellen

Das Anlernen von multivariaten Diagnosemodellen erfordert umfangreiche Messungen an Objekten unterschiedlichen Zustands oder die Computersimulation der Merkmale für unterschiedliche Zustände. Um diesen Aufwand zu verringern, kann man a-priori-Kenntnisse über das schadensbedingte Verhalten des Diagnoseobjektes einbringen und in Regeln fassen. Man nähert sich dadurch schon Systemen künstlicher Intelligenz an. Auch für dieses Vorgehen ist software verfügbar.

Innovative Signalanalyse-Verfahren

Schwingungsdiagnostik ist das verbreitetste Diagnoseverfahren. Da vibro-akustische Diagnosemerkmale drehzahlabhängig sind, ist eine zuverlässige Diagnose nur bei konstanter Drehzahl möglich. Da zum anderen vibro-akustische Diagnosemerkmale als „Durchschnittswerte“ über eine endliche Messdauer gebildet werden, ist eine Erkennung kurzzeitiger Störungen ebenfalls meist nicht möglich. Zeit-Frequenz-Verteilungen als Ergebnis innovativer Verfahren der Signalverarbeitung (z.B. WIGNER-

VILLE- Verteilung oder Wavelet- Transformation) lassen eine Zustandsdiagnostik auch während Anlauf- oder Auslaufvorgängen oder bei örtlich konzentrierten Schäden zu.

Kostensenkung durch Mikrosystemtechnik

Zustandsüberwachung und –diagnostik kostet Geld. Notwendige Anschaffungen müssen sich durch Verringerung von Produktionsausfällen und Havarien amortisieren. Geringwertige Module in verketteten Produktionsanlagen verteuern sich durch eine integrierte Überwachungseinrichtung unverhältnismäßig stark. Das Suchen nach billigen Diagnoseeinrichtungen macht sich erforderlich und lässt sich durch Einführung der Mikrosystemtechnik voranbringen.

Gegenwärtig verfügbare Technik

Die Überwachungs- und Diagnosetechnik ist bereits weit ausgereift. Sie reicht vom tragbaren Überwachungsgerät mit und ohne Rechneranschluss über Diagnosesysteme mit Datenfernübertragung bis hin zu komplexen fest installierten Diagnoseeinrichtungen. Bei fast allen ist heutzutage die computergestützte Auswertung der Messsignale eine Selbstverständlichkeit. Die computergestützte Verwaltung der Ergebnisse mit integrierter Zeittrendanalyse und Alarmgebung als nachfolgender Schritt ist aber noch nicht zur Selbstverständlichkeit geworden.

Zum Vortragsteil über Ziel und Arbeitsstufen der technischen Diagnostik sowie die verfügbaren Hilfsmittel werden die nachfolgenden Folien bereitgestellt.

Tiefere Erläuterungen finden sich im Internet als Lehrmaterial „Einführung in die Technische Diagnostik“ unter

<http://mlu.mw.tu-dresden.de>

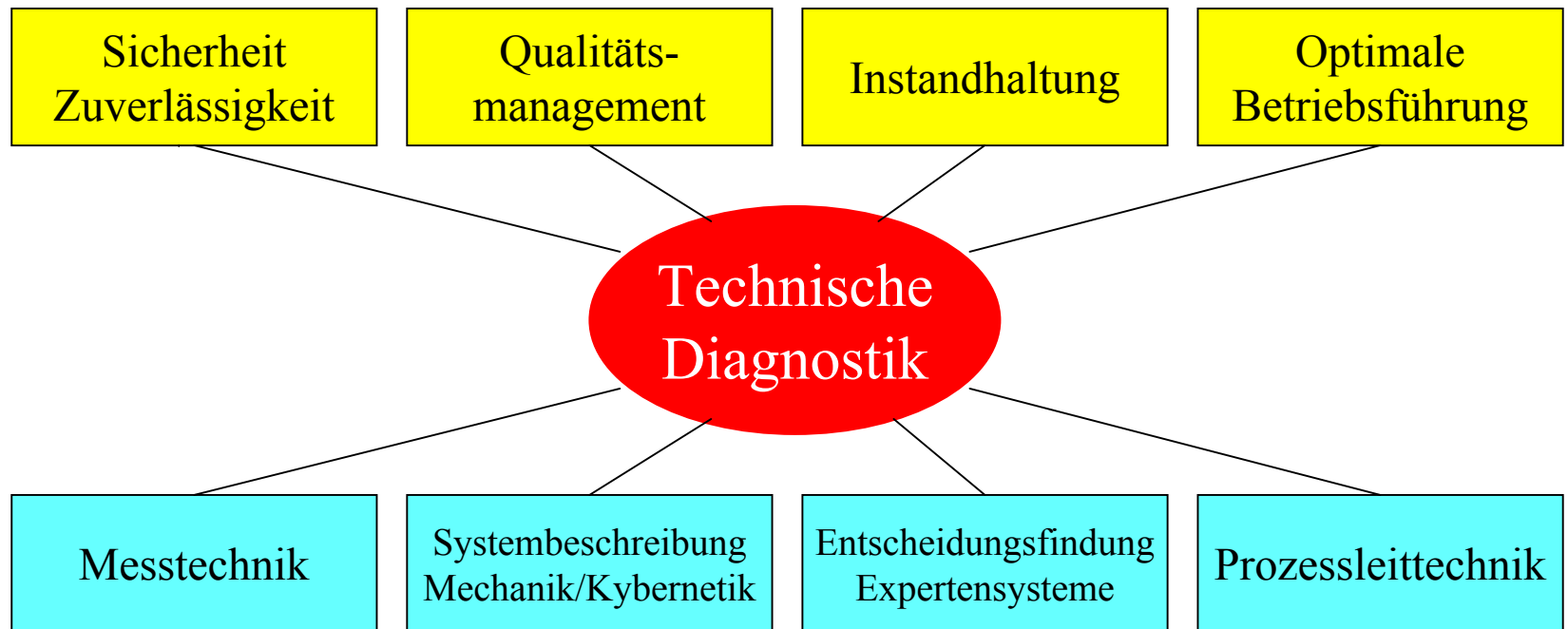
Zu innovativen Entwicklungen in der technischen Diagnostik wird auf die Literatur

**MELTZER, G.: Stand und Tendenzen der Schwingungsüberwachung
und –diagnostik / Innovative Diagnosetechnik
VDI Berichte Nr. 1466 (1999) Seiten 1-29**



verwiesen.

Weitere Auskünfte zu Literatur, Normung und Anwendungen gibt Ihnen gern der Autor.

Was ist Technische Diagnostik?



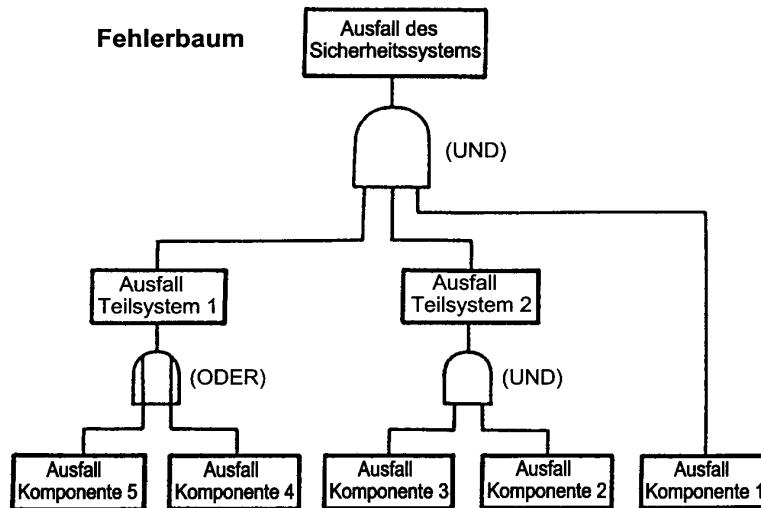
Definitionen

- Sicherheit :  Gefährdungsfreiheit für Mensch, Umwelt und Sachgüter
- Zuverlässigkeit:  Fähigkeit ..., den durch den Verwendungszweck bedingten Anforderungen ... zu genügen

Werkzeuge von

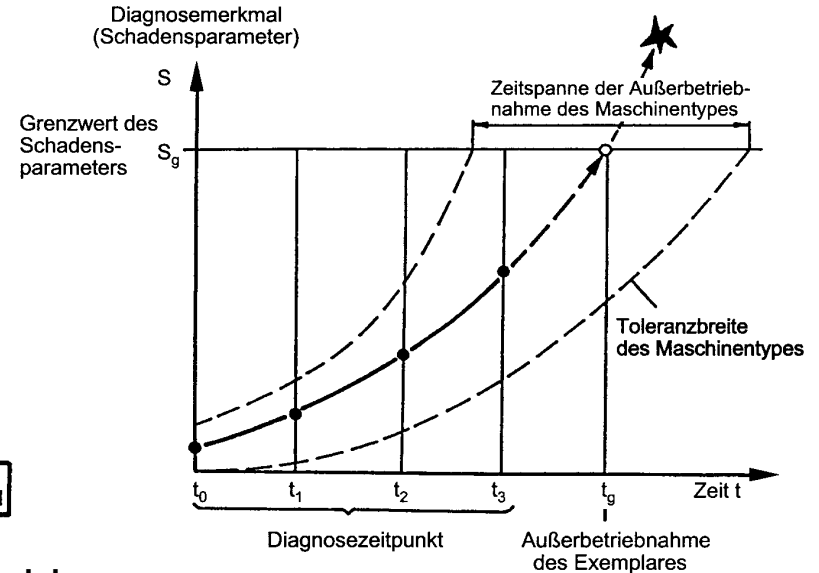
Sicherheitsanalyse

Probabilistische Berechnung der System-Ausfallwahrscheinlichkeit (prognostisch, typspezifisch)

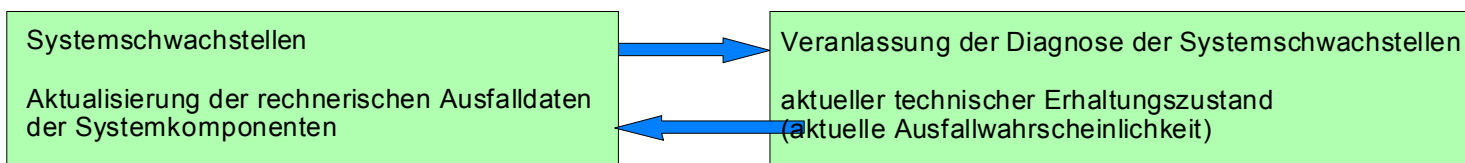


Zustandsdiagnostik

Experimentelle Bestimmung des technischen Zustandes (aktuell, exemplarspezifisch)



Wechselbeziehungen



Qualitätsmanagement und technische Diagnostik

Obwohl das europäische Standardwerk zur Qualitätssicherung den Begriff „Technische Diagnostik“ überhaupt nicht erwähnt, ist der Vorgang der Technischen Diagnostik an zentraler Stelle im Qualitätsmanagement enthalten und auch unentbehrlich.

Dabei ist es zunächst von sophistischer Natur, ob man sich der Termini „Überwachung“ (etwa: Detektion von Fehlern in Prozessen oder Systemen) oder „Technische Diagnostik“ (umfasst darüber hinaus auch die Erkennung der Art und des Ausmaßes der Fehler) bedient.

Wechselbeziehungen zwischen Qualitätsmanagement und technischer Diagnostik

Das moderne Qualitätsmanagement basiert auf der Prämisse

„ .. **Die Lenkung des Prozesses selbst der alleinigen Prüfung des fertigen Produktes vorzuziehen...**“
(DIN ISO 9000–2, Abschnitt 4.9)

Dazu gehören u.a.

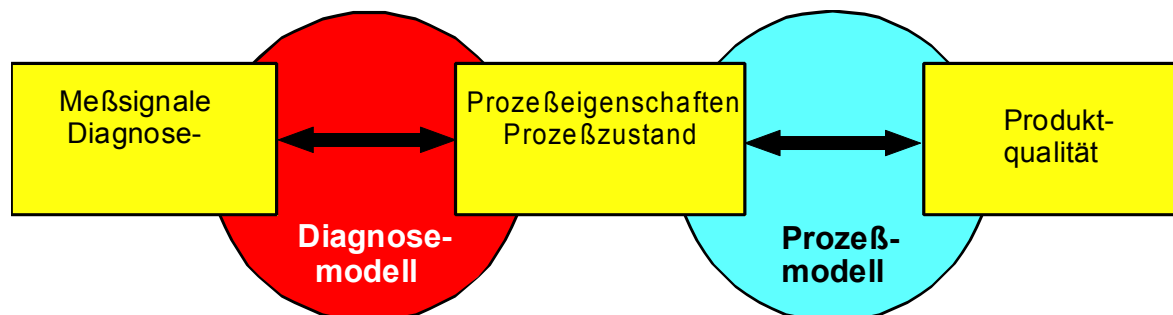
„...Beobachtungs- und Überwachungstätigkeiten, welche der Verschlechterung oder Beeinträchtigung einer Einheit (z.B. eines Prozesses) im Laufe der Zeit vorbeugen können ...“

(DIN ISO 8402, Abschnitt 4.7)

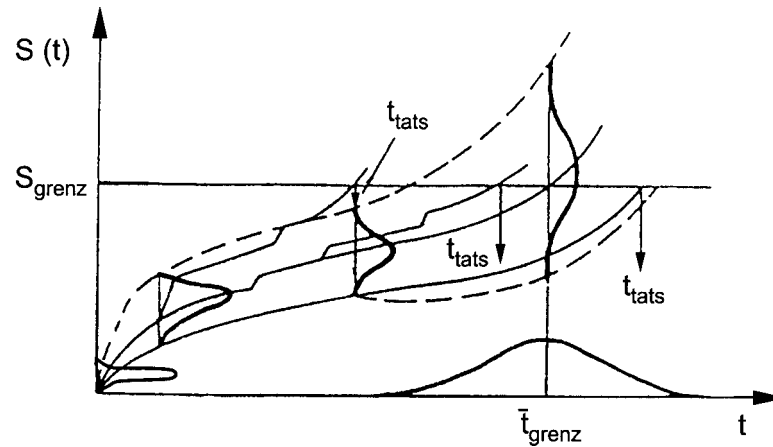
und

„... Eine zweckmäßige Instandhaltung von Einrichtungen, um fortdauernde Prozessfähigkeit zu gewährleisten ...“

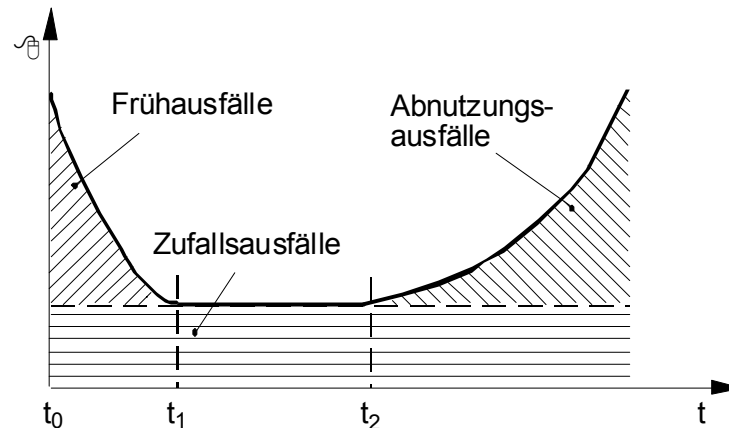
(DIN EN ISO 9001, Abschnitt 4.9)



Individueller Anfangsschaden $S(0)$ und individuelle Einsatzbedingungen einzelner Exemplare verursachen einen individuellen Schadensverlauf $S(t)$ und eine breite Streuung des Ausfallzeitpunktes t_{grenz}



Die „Badewannenkurve“, welche die Ausfallrate $\lambda = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot N(t)}$ einer Grundgesamtheit N_0 widerspiegelt, hat nur probabilistische Aussagekraft



Instandhaltungsstrategien und ihre Eigenschaften

Operative Instandsetzung:
(breakdown maintenance)



Produktionsausfälle und
Unfälle sind wahrscheinlich

turnusmäßige Instandsetzung:
(preventive maintenance)



erhöhter Instandhaltungsaufwand
durch unnötige Instandsetzung

Zustandsabhängige Instandsetzung:
(predictive maintenance)



Zustandsinformationen durch
Techn. Diagnostik erforderlich

Prozessdiagnostik

- ↪ **Anzeige von Betriebsmessgrößen (Drehzahl, Leistung ...)**
- ↪ **Vergleich mit der Kennlinie der Maschine**
- ↪ **Erkennen der Abweichungen vom optimalen Wirkungsgrad, sparsamsten Verbrauch, geringster Schadstoffemission etc.**
- ↪ **Hinweise zur Prozesssteuerung**

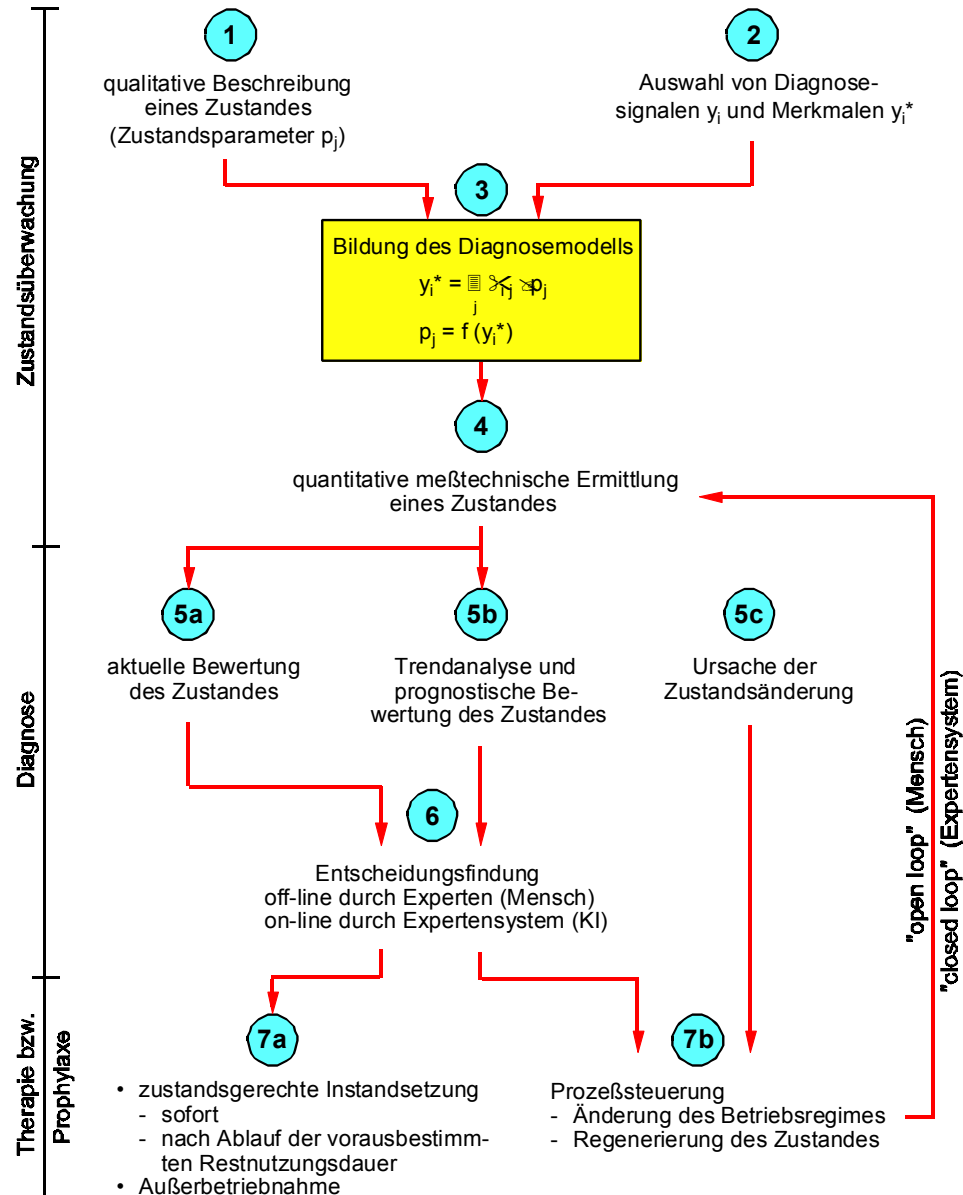
Definition

Diagnostik ist die Wissenschaft von der Erkennung des Zustandes technischer Systeme.

Vier Charakteristika der Technischen Diagnostik:

- ✘ Die Diagnose erfolgt durch indirekte Messung.**
- ✘ Die Diagnose erfolgt ohne Betriebsunterbrechung und Demontage.**
- ✘ Die Diagnose liefert exemplarspezifische Zustandsinformationen.**
- ✘ Die Diagnose ermittelt den zeitlich aktuellen Zustand.**

Arbeitsschritte der Technischen Diagnostik



Arten der Zustandsbeschreibung

metrisch

▶ **Proportionalenskale:** „das Radialspiel beträgt 0,3 mm“

▶ **Intervallskale:** „der Zahnflankenschaden liegt im Bereich 30 ...
50 %“

nichtmetrisch

▶ **Nominalskale:** „die Oberfläche ist stark korrodiert“

▶ **Ordinalskale:** „Teil A ist stärker geschädigt als Teil B“

Physikalische Erscheinungsfelder zur Gewinnung von Diagnosesignalen

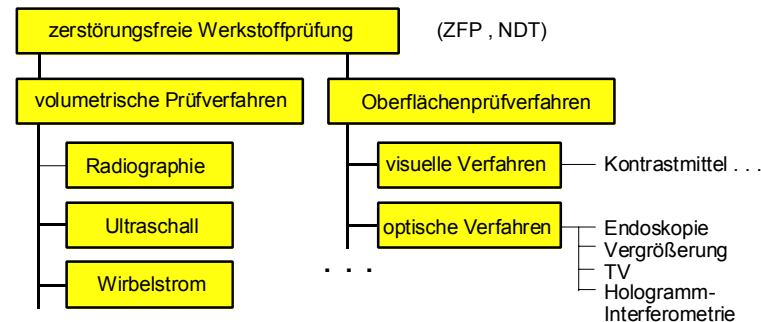
Prozeßparameter

- Elektroantrieb: Motorstrom, -leistung
 - Verbrennungsmotor: Kraftstoff-, Ölverbrauch
 - Drehzahl
 - Temperatur, Druck
- } oft zur Prozeßkontrolle
ohnehin gemessen

Medien

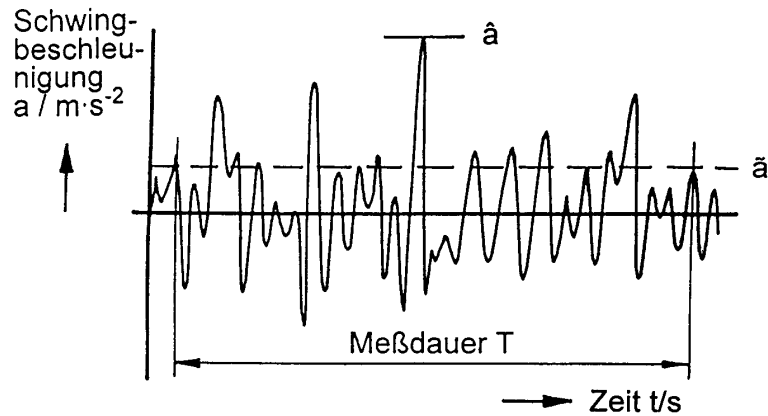
- Schmiermittel (Analyse von Verschleißpartikeln elektromagnetisch, durch Ferrografie, Spektroskopie oder radioaktive Spurenanalyse)
- Rauchgastrübung

Oberflächen- und volumetrische Verfahren:



- **Neutronenflußdichte**
Strahlung
- **thermodynamische Größen**
(Oberflächentemperatur, punktuell oder als Temperaturfeld)
- **vibroakustische Diagnosesignale**
(Schwingung; Luft- und Körperschall)

Vibro- akustische Diagnostik: vom Diagnosesignal zum Diagnosemerkmal



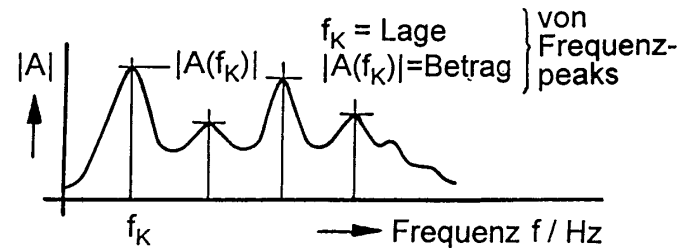
Numerische Gewinnung von Merkmalen im Zeitbereich, z. B.

$$\text{Effektivwert } \bar{a} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

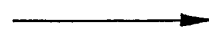
$$\text{Spitzenwert } \hat{a} = \max \{|a(t)|\} \quad t=0 \dots T$$

$$\text{Crestfaktor } C = \frac{\hat{a}}{\bar{a}}$$

Spektralanalyse (meist FOURIER-analyse) $A(f) = \frac{1}{T} \int_0^T a(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt$



Diagnosesignal y_i



Diagnosemerkmal y_i^*

Allgemeines Diagnosemodell

$$\underline{y}^* = f(\underline{p})$$

$$\underline{p} = f^{-1}(\underline{y}^*)$$

Monovariate Diagnose (Kennlinie mit Grenzwert)

1 Zustand \longleftrightarrow 1 Merkmal

$$y^* = f(p)$$

$$p = f^{-1}(y^*)$$

N Zustände \longleftrightarrow N Merkmale

$$y_i^* = f_i(p_i)$$

$$p_i = f_i^{-1}(y_i^*) \quad i=1 \dots N$$

Multivariate Diagnose (Klassifikator, Neuronales Netz)

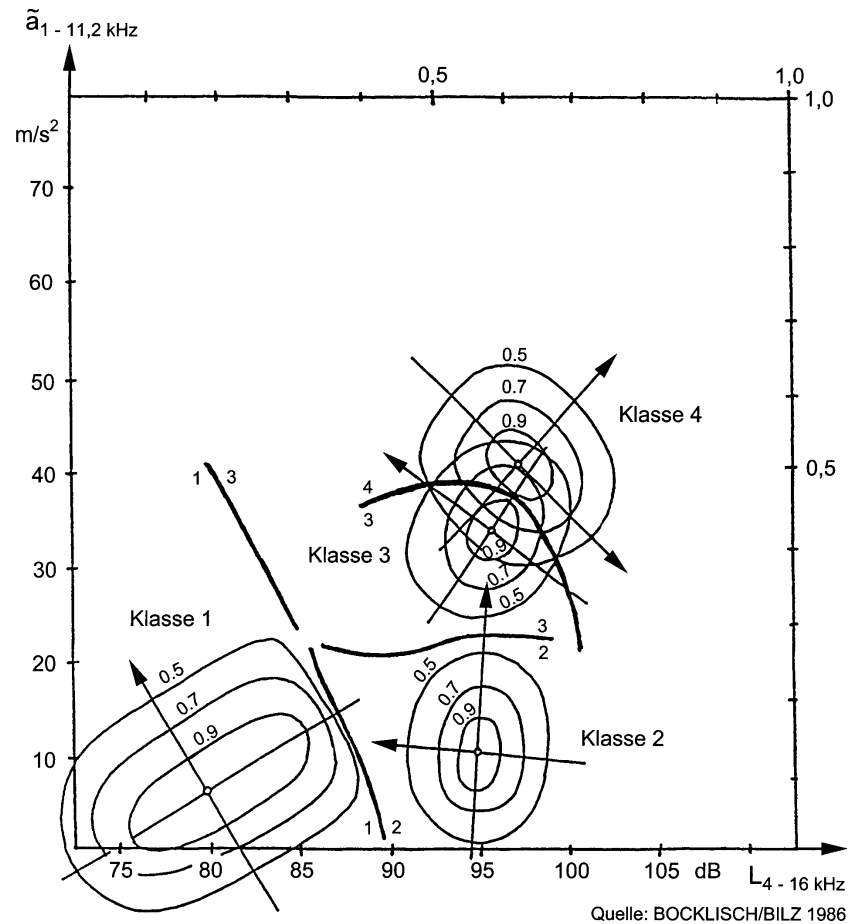
M Zustände \longleftrightarrow N Merkmale

$$y_i^* = f(p)$$

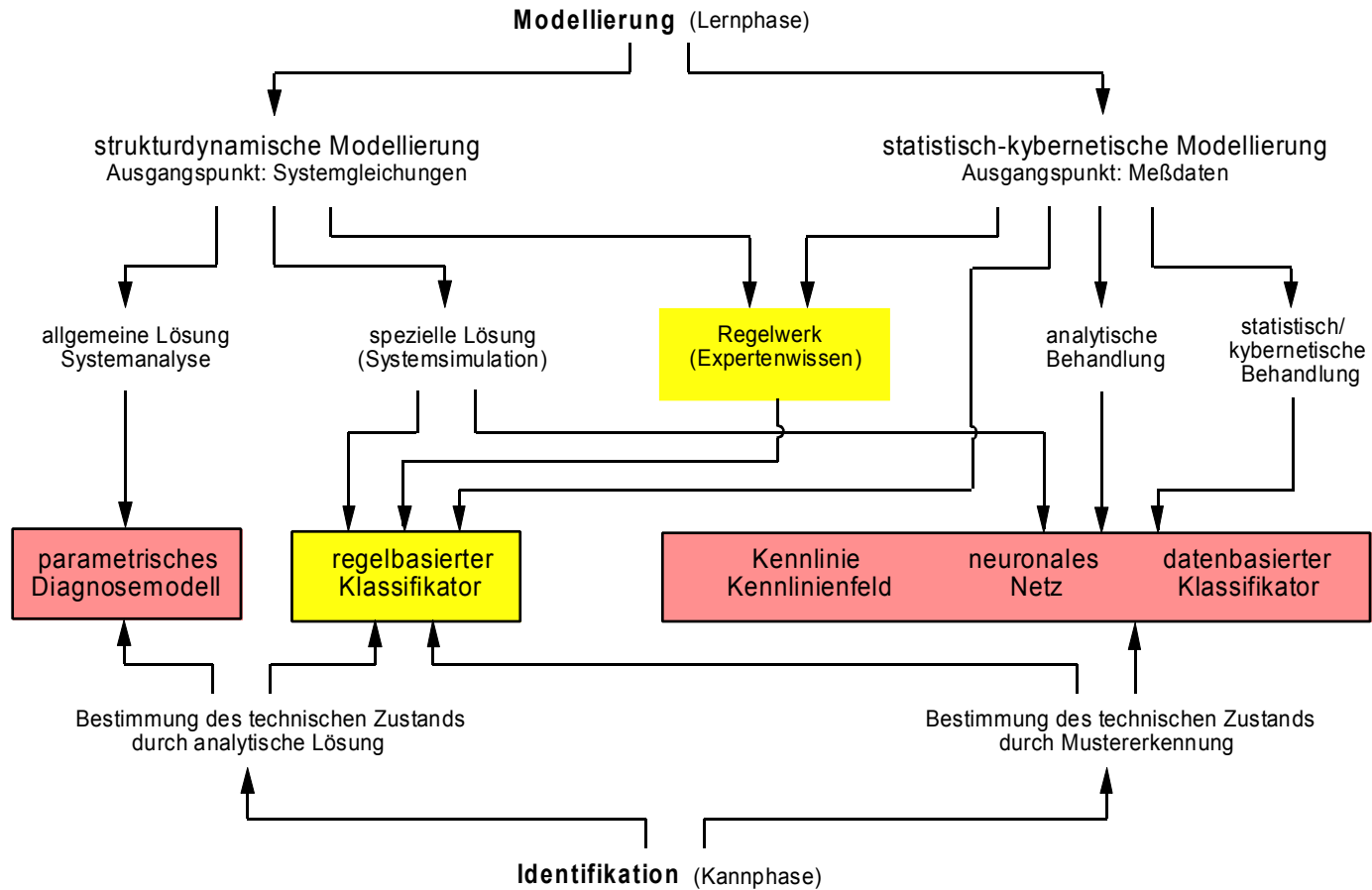
$$p_j = g(y^*) \quad i=1 \dots N$$

$$j=1 \dots M$$

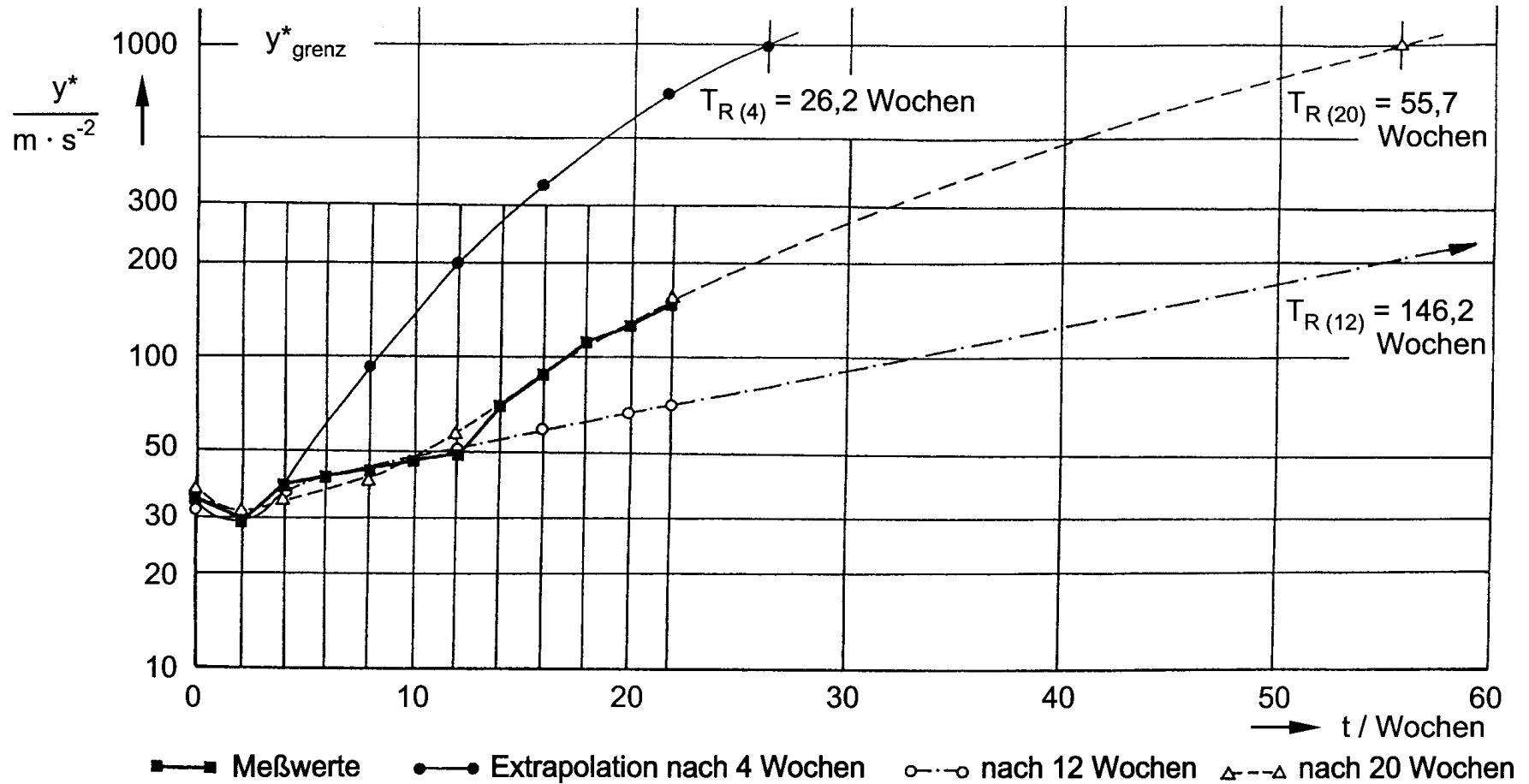
Darstellung eines Fuzzy-Klassifikators im zweidimensionalen Merkmalsraum



Erstellen (Lernphase) und Nutzung (Kannphase) eines Diagnosemodells

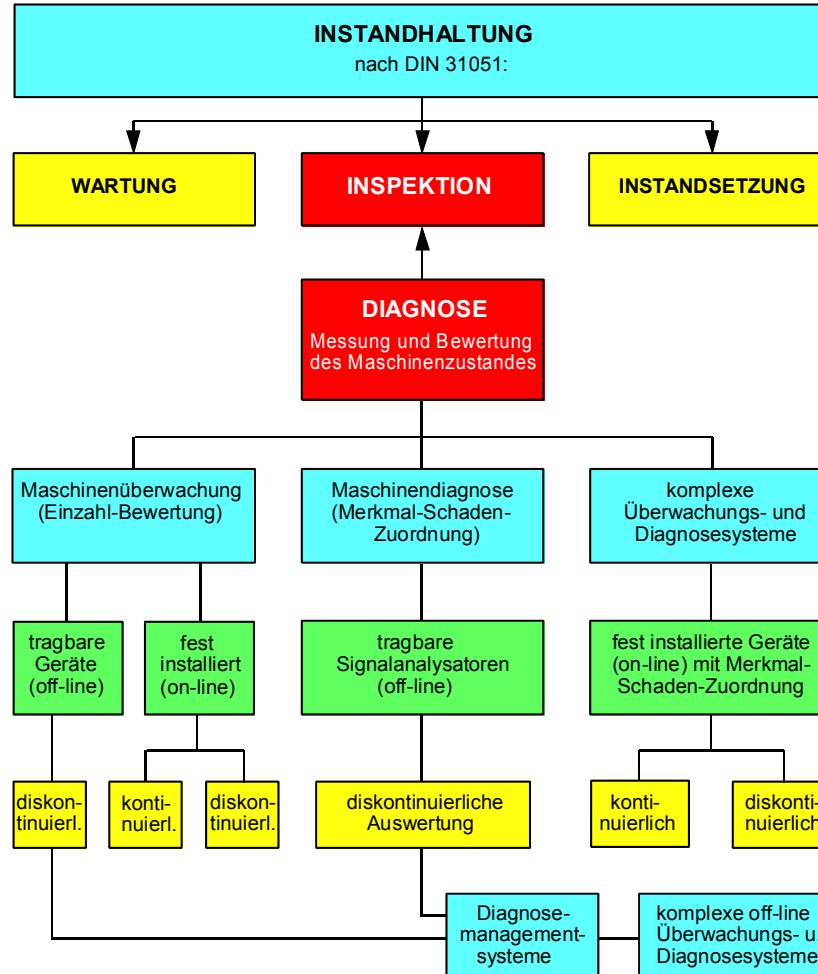


Trendanalyse und Restlebensdauer- Prognose

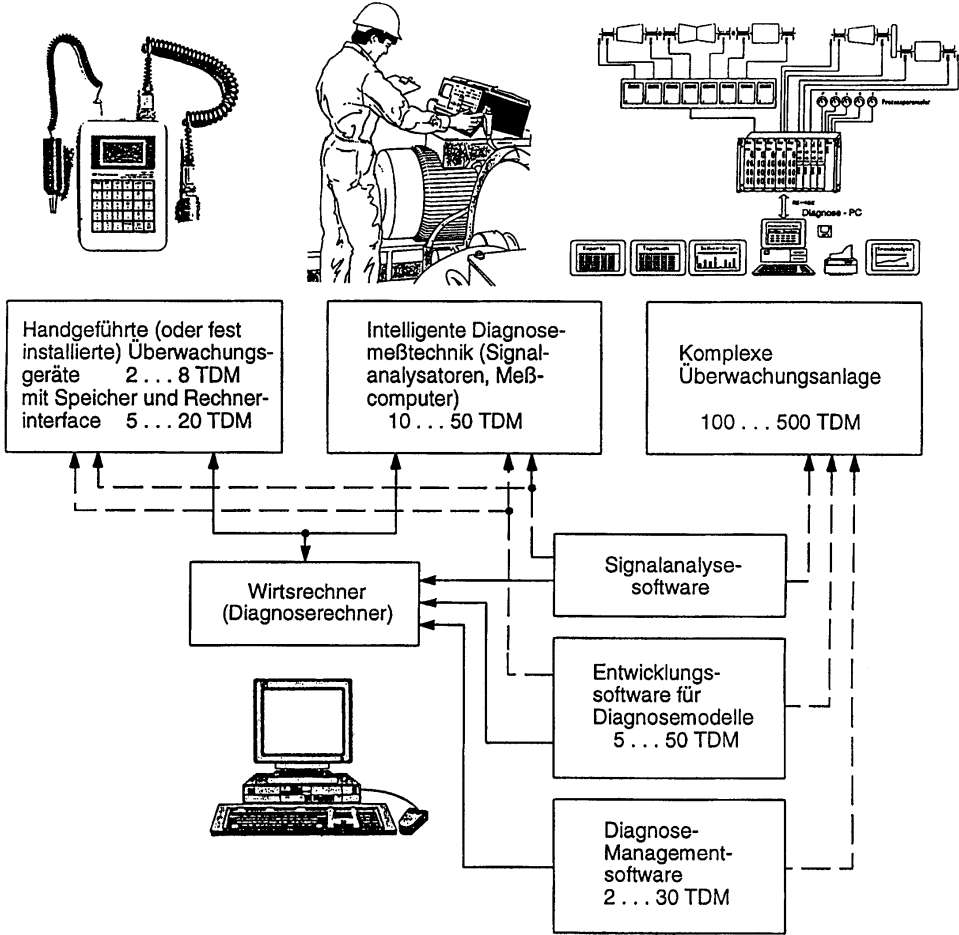


Diagnostik als Werkzeug zur Instandhaltung

Diagnoseverfahren (blau)
Hardware- Realisierung (grün)
Signalauswertung (gelb)



Beispiele für kommerzielle Diagnose- Hardware und Software



Ökonomische Bewertung der Technischen Diagnostik

Global

- jährlicher Instandhaltungsaufwand ca. 10 % der Anlagekosten
 - Einsparung durch zustandsabhängige Instandhaltung ca. 30 ... 50 %
 - Anlagevermögen (Maschinen, Ausrüstungen ...) in Deutschland ca. 1800 Milliarden DM
-

Mögliche Einsparung pro Jahr durch Technische Diagnostik

70 Milliarden DM

Einzelbeispiel

- Gewinnverlust durch Ausfall einer 500 MW-Turbine ca. 500 000 DM/Tag
- Kosten eines komplexen Diagnosesystems einer Turbine ca. 500 000 DM



Für jeden geplanten Einsatzfall eines Diagnosesystems ist eine Kosten-Nutzen-Abschätzung unerlässlich!