

Die Entwicklung der Produktion in allen Zweigen unserer Volkswirtschaft ist durch das ständige Streben nach

- Steigerung der Arbeitsproduktivität
- Senkung der Verfahrenskosten und
- Verbessern der Erzeugnisqualität

gekennzeichnet.

Dabei werden in zunehmendem Maße sehr komplizierte, hochproduktive und teure Maschinen eingesetzt, die vielfach nicht mehr einzeln, sondern zu einem System verkettet, arbeiten.

Der Einsatz solcher hochproduktiven und verkettet arbeitenden Maschinen stellt hohe Anforderungen an deren Zuverlässigkeit, da der Ausfall einer einzelnen Maschine erhebliche Verluste verursacht.

Die Zuverlässigkeit der Maschinen erlangt deshalb eine immer größere Bedeutung. Sie tritt als ein Merkmal der Qualität der Maschine immer mehr in den Vordergrund.

Aus diesem Grund wurde auf dem VIII. Parteitag der SED sehr eindringlich die Ausarbeitung neuer Methoden zur Erhöhung der Betriebssicherheit und zur Havarievorbeugung gefordert.

Es ist aus ökonomischen Gründen nicht möglich, die Forderungen an die Zuverlässigkeit der Maschinen nur durch konstruktive Maßnahmen zu realisieren. Zweifellos werden die Herstellerwerke durch geeignete konstruktive Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit leisten müssen. Wichtig ist die Anwendung zweckmäßiger Instandhaltungsmethoden, um die erforderliche Zuverlässigkeit zu sichern.

Aufgrund der großen Variationsbreite im Schädigungsverhalten von Einzelteilen und Baugruppen wird die erforderliche Zuverlässigkeit mit Hilfe des vielfach angewandten starren Systems der Instandhaltung, wobei nach bestimmten Nutzungsfristen generell eine komplexe Instandsetzung der Maschine oder Baugruppe erfolgt, in vielen Anwendungsfällen nicht ökonomisch zu gewährleisten sein.

Durch die nach den Zuverlässigkeitsforderungen festgelegten starren Termine für die Instandsetzung liegt bei einem beträchtlichen Teil der Baugruppen aufgrund der großen Streuung der Grenznutzungsdauer keine objektive Notwendigkeit für eine Instandsetzung vor, so daß die mögliche Grenznutzungsdauer nicht voll ausgenutzt wird.

Es hat sich deshalb in den vergangenen Jahren in zunehmendem Maße die Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen eingeführt, bei der man unter Beachtung der geforderten Zuverlässigkeit jede Baugruppe individuell behandelt, so daß ihre mögliche Grenznutzungsdauer weitgehend ausgenutzt werden kann.

Durch diese Instandhaltungsmethode hat die Technische Diagnostik als Mittel zur Sicherung einer geforderten Zuverlässigkeit der Maschinen beim gleichzeitigen Vermindern der Kosten für die Instandhaltung einen wichtigen Platz erlangt.

* Ing.-Büro für Technische Diagnostik beim Bezirkskomitee für Landtechnik Dresden

¹ Überarbeitetes und ergänztes Manuskript eines Vortrags auf der Fachtagung „Technische Diagnostik“ im Rahmen der Jahrestagung der wissenschaftlichen Sektion „Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel“ am 12./13. Dezember 1972 in Berlin

Aufgaben der Technischen Diagnostik

Die Aufgabe der Technischen Diagnostik ist es, Möglichkeiten zu schaffen, die es gestatten, ohne Demontage der Maschine ihren Zustand zu ermitteln und zu bewerten. Eine Demontage der Maschine sollte dabei nur in dem Umfang durchgeführt werden, wie es der Anschluß von Diagnosegeräten erforderlich macht. Analog zur medizinischen Diagnostik geht es also bei der Technischen Diagnostik darum, aus äußerlich erkennbaren und meßbaren Merkmalen auf den Zustand der Maschine zu schließen. Dabei gibt es mehrere Zustandsformen, von denen man unterscheidet

- den Betriebszustand, der das Einhalten vorgegebener Betriebsparameter, die die Arbeitsqualität und Betriebskosten bestimmen, umfaßt
- den Schädigungszustand, der sich aufgrund von Verschleiß, Korrosion, Ermüdung und anderer Einflüsse ergibt
- den sicherheitstechnischen Zustand, der die Beachtung des Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutzes beinhaltet
- Zustand nach der Neufertigung oder Instandsetzung, der die Herstellungs- bzw. Instandsetzungsqualität darstellt.

Daraus geht hervor, daß sowohl der Maschinenhersteller als auch der Nutzer und der Instandsetzer von Maschinen und Baugruppen die Technische Diagnostik anwendet.

Während beim Maschinennutzer der Zustand gebrauchter Maschinen zu ermitteln und zu bewerten ist, dient die Technische Diagnostik beim Hersteller und Instandsetzer von Maschinen im Rahmen der Endkontrolle zur Qualitätsüberprüfung bzw. beim Instandsetzer außerdem noch zur Vorschadensaufnahme.

Im Ergebnis der Maschinendiagnose sind Festlegungen über erforderliche Einstellarbeiten und notwendige Instandsetzungsmaßnahmen zu treffen.

Außerdem ist aufgrund der Zuverlässigkeitsanforderungen anzustreben, aus der Maschinendiagnose eine Angabe der noch möglichen Nutzungsdauer der Maschine oder Baugruppe ableiten zu können. Diese sogenannte Restnutzungsdauerprognose ist gegenwärtig noch nicht mit ausreichender Sicherheit möglich. Sie wird jedoch als eines der wichtigsten Ergebnisse der Diagnose von Maschinen angesehen.

An den Grundlagen zur Prognostizierung der Restnutzungsdauer wird zur Zeit an verschiedenen Stellen, besonders in der Sowjetunion, gearbeitet.

Bedeutung der Technischen Diagnostik

Aus den dargelegten Aufgaben der Technischen Diagnostik geht hervor, daß sie sehr wesentlich zur Sicherung der erforderlichen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Maschinen beiträgt, wenn man sie planmäßig anwendet.

Es sei weiterhin erwähnt, daß die Technische Diagnostik außerdem bei der notwendigen Verminderung des augenblicklich noch sehr hohen Instandhaltungsaufwands, der bekanntlich im DDR-Maßstab bei über 19 Mrd. Mark je Jahr liegt, eine große Bedeutung besitzt. Das wird vor allem für einige Zweige unserer Volkswirtschaft zutreffend sein, in denen die Maschinen sehr robusten Einsatzbedingungen unterworfen sind, wie im Bauwesen, Bergbau oder auch in der Landwirtschaft, wo wir zur Zeit einen jährlichen Instandhaltungsaufwand von etwa 18 Prozent des Brutto-Neuwerts der Maschinen oder von etwa 2,2 Mrd. Mark zu verzeichnen haben.

Mit Hilfe der Technischen Diagnostik ist es möglich, diesen zum Teil unvermeidbar hohen Instandhaltungsaufwand zu senken. Durch die Diagnose legt man den günstigsten Instandsetzungszeitpunkt fest, ortet bei Störungen an komplizierten technischen Systemen den Fehler zielgerichtet und ermittelt damit das Instandsetzungsbedürftige Bauteil.

Aufgrund fehlender Diagnoseeinrichtungen für Hydrauliksysteme an Landmaschinen und Traktoren tauschte man beispielsweise bisher bei Störungen die einzelnen Hydraulikbaugruppen willkürlich nacheinander aus. Falls sich nach Einbau einer neuen oder grundüberholten Baugruppe herausstellte, daß die eben ausgebaute Baugruppe nicht die Ursache der Störung darstellte, wurde sie im Normalfall aus Zeitgründen nicht wieder in die Maschine eingebaut, sondern der spezialisierten Instandsetzung zugeführt.

Daraus resultiert, daß in unseren spezialisierten Hydraulik-instandsetzungswerken eine sehr beträchtliche Zahl von Hydraulikbaugruppen angeliefert wird, bei denen überhaupt keine Notwendigkeit zur Instandsetzung besteht.

Die Folge davon sind ein sehr hoher Bedarf an Instand zu setzenden Hydraulikbaugruppen, den unsere Werke vielfach nicht voll abdecken können, weiterhin ein sehr hoher Bedarf an Ersatzteilen und letztlich die bereits genannten sehr hohen Instandhaltungskosten.

Durch den Einsatz einer neuentwickelten Hydraulikprüfeinrichtung (Bild 1) ist künftig eine gezielte Fehlerortung möglich, welche zum Senken des Ersatzteilbedarfs und der Instandhaltungskosten sowie zur Verminderung der Stillstandszeiten der Maschinen beiträgt /1/.

Es ist bekannt, daß in vielen anderen Wirtschaftszweigen aufgrund fehlender Diagnosemöglichkeiten ganz ähnliche Verhältnisse zu verzeichnen sind, woraus die Wichtigkeit der Technischen Diagnostik ebenfalls hervorgeht.

Bei aller Anerkennung der Bedeutung der Technischen Diagnostik muß jedoch eindringlich darauf hingewiesen werden, daß die Möglichkeiten der Technischen Diagnostik nicht überbewertet werden. Es ist verschiedentlich festzustellen, daß man der Meinung ist, mit der Technischen Diagnostik — da sie etwas Neues, ein neuartiges Fachgebiet darstellt — alle Probleme, die es bei der Instandhaltung von Maschinen gibt, lösen zu können.

Vor solcherlei Tendenzen muß ganz besonders gewarnt werden.

Vor der Einführung diagnostischer Maßnahmen sind erst die entstehenden Kosten zu ermitteln. Sie sind dem erzielbaren Nutzen gegenüberzustellen. Dabei ist zu bedenken, daß die entstehenden Kosten bei Anwendung moderner Diagnosegeräte nicht unerheblich sein werden.

Man sollte deshalb stets zuerst prüfen, ob überhaupt, mit

welchem Gerät und mit was für einer Genauigkeit eine Diagnose durchgeführt werden soll.

Unter bestimmten Bedingungen haben auch künftig bei der Instandhaltung eines Maschinenparks noch das starre System und die sogenannte Havariemethode ihren Platz. Ebenso werden auch späterhin trotz Anwendung elektronischer Diagnosegeräte noch subjektive Prüfmethode in bestimmten Fällen eine Berechtigung haben.

Als Grundsatz bei der Anwendung der Technischen Diagnostik darf nicht gelten — maximal viel und maximal genau zu messen — sondern optimal viel und optimal genau zu messen!

Der Umfang für ein wissenschaftlich begründetes System der Technischen Diagnostik kann aus der folgenden Kostengleichung ermittelt werden /2/:

$$K_{I_{ges}} = K_{Pfl} + K_D + K_{Ip} + K_{IA}$$

Darin bedeuten

| | |
|---------------|---|
| $K_{I_{ges}}$ | Gesamtkosten für die Instandhaltung |
| K_{Pfl} | Kosten für Pflege |
| K_D | Kosten für Diagnose |
| K_{Ip} | Kosten für planmäßige Instandsetzung |
| K_{IA} | Kosten für unplanmäßige Instandsetzung nach Ausfall, einschließlich Folgekosten |

Der Aufwand für Technische Diagnostik, repräsentiert durch den Kostenfaktor K_D , ist so zu bemessen, daß die Gesamtkosten für die Instandhaltung einem Minimum zustreben. Ein Erhöhen des Aufwands für Diagnose, zum Beispiel durch Einsatz besserer Diagnosegeräte oder kürzere Diagnoseintervalle, führt zweifellos zu einer Verminderung des Kostenfaktors für unplanmäßige Instandsetzungen.

Es kann also auf der Grundlage dieser Kostengleichung eine Optimierung des Diagnoseaufwands durchgeführt werden.

Das Problem der Optimierung des Aufwands der Technischen Diagnostik wurde ganz bewußt so hervorgehoben, da besonders durch das Anwenden moderner, elektronischer Diagnosegeräte die Gefahr besteht, daß die Grenzen des ökonomisch Vertretbaren überschritten werden und die Technische Diagnostik zur Spielerei ausartet oder für Reklamezwecke mißbraucht wird, wie wir es gegenwärtig auf dem Automobilmarkt kapitalistischer Länder beobachten können.

Begriffsdefinition

Es wurde bereits erwähnt, daß die Technische Diagnostik erst in den vergangenen Jahren in den Vordergrund getreten ist. Man kann sie aufgrund ihrer Bedeutung und der

Bild 1. Hydraulikprüfeinrichtung für die Prüfung sämtlicher Hydraulikaggregate

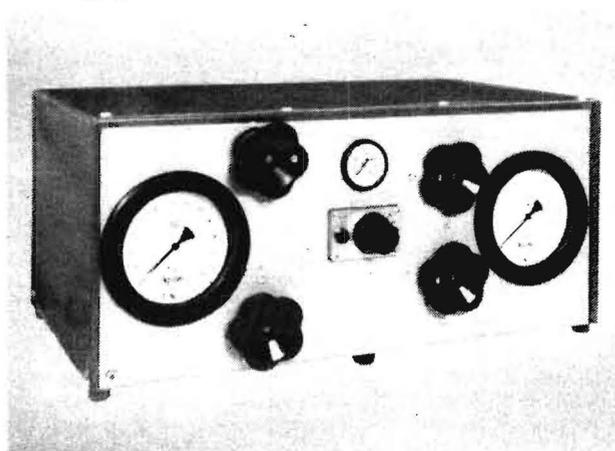
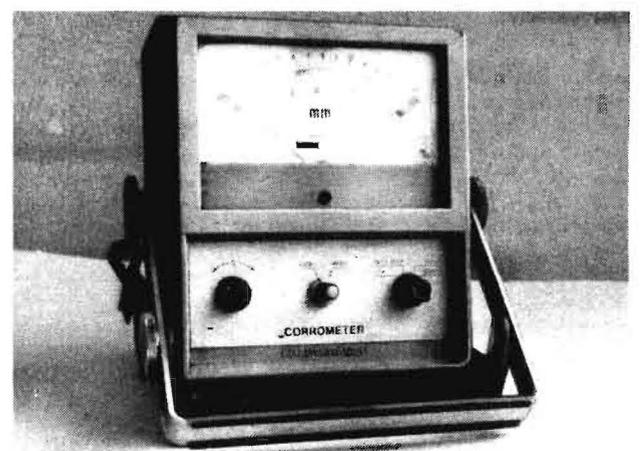


Bild 2. Tragbares Ultraschallprüfgerät zur Wanddickenmessung /3/



Vielzahl der zum Teil neuartigen Probleme heute als eine neue, eigenständige Fachdisziplin bezeichnen.

Obwohl sich die Technische Diagnostik bereits in einer Reihe von Wirtschaftszweigen in bestimmtem Umfang verbreitete, gibt es noch keine einheitliche, zwischen allen Zweigen abgestimmte und allgemeingültige Begriffsdefinition.

In den vergangenen Monaten wurde durch Vertreter verschiedener Wirtschaftszweige in freiwillig-technischer Gemeinschaftsarbeit eine allgemeingültige Definition erarbeitet.

Unter dem Begriff Technische Diagnostik, als Bezeichnung für das Fachgebiet, ist demnach zu verstehen:

— Gesamtheit aller Maßnahmen, die der weitgehend demontagelosen Ermittlung des Zustands technischer Systeme und dessen Bewertung entsprechend den geforderten Einsatzbedingungen dienen.

Diese Definition entspricht in ihrer allgemeinen Form den unterschiedlichen Anforderungen in den verschiedenen Wirtschaftszweigen.

Entwicklung der Technischen Diagnostik

Die erfolgreiche Anwendung der Technischen Diagnostik sowohl beim Hersteller und Instandsetzer als auch beim Nutzer der Maschinen setzt die Entwicklung geeigneter Diagnoseverfahren und Geräte voraus.

Während zur Zeit die Diagnose von Maschinen vorwiegend aufgrund subjektiver Einschätzungen beziehungsweise mit Hilfe konventioneller Meßgeräte geschieht, werden künftig zur Messung diagnostischer Parameter in zunehmendem Maße elektronische Geräte eingesetzt, das heißt nichtelektrische Größen werden durch analoge elektrische Größen gemessen. Der Prüfzeitaufwand sinkt dadurch und die Diagnosegenauigkeit erhöht sich.

Bild 3. Durchführung der Wanddickenmessung /3/

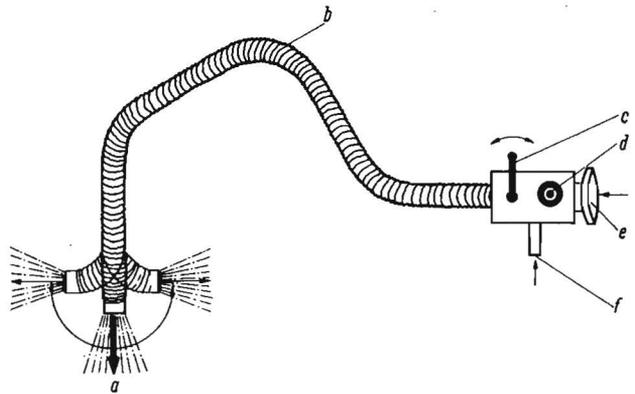


Bild 4. Endoskop mit flexiblem Bild- und Lichtleitbündel. (schematisch, nach /4/);
a schwenkbares Objektivteil, b Glasfaser-Bild- und Lichtleiter, c Objektivverstellung, d Fokussierung, e Okular, f Lichtleiteranschluß

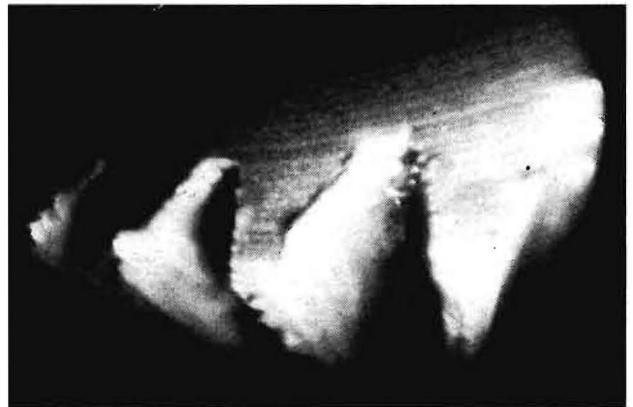


Bild 5. Zahnflankenverschleiß eines Getriebe-Zahnrads, aufgenommen mit einem Endoskop /4/

Weiterhin werden künftig bei der Diagnose von Maschinen völlig neuartige Verfahren eingeführt, die heute teilweise in anderen Fachdisziplinen für bestimmte Zwecke bereits bekannt sind. Dazu gehören solche Verfahren wie

- Ultraschallprüfung
- Endoskopie
- Spektralanalyse von Öl
- Schwingungsmessungen sowie die
- Diagnose durch wärmeanzeigende Farben.

Die Ultraschallprüfung, die bereits seit langem zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung dient, kann zur Bestimmung des Verschleißzustands und von Ermüdungserscheinungen (Rißbildung) Anwendung finden. So ist es beispielsweise möglich, den Verschleißzustand von Rohrleitungssystemen, in denen Schüttgut befördert wird (Verschleiß der Rohr-Innenwände), durch Wanddickenmessung mit Ultraschall zu ermitteln /3/.

Die Bilder 2 und 3 zeigen ein dafür geeignetes tragbares Prüfgerät.

Bei der Endoskopie wird mit Hilfe eines optischen Geräts, dem Endoskop, die Möglichkeit geschaffen, durch kleine Öffnungen in dunkle Hohlräume hineinzusehen, um sich ein augenscheinliches Bild vom Zustand im Inneren des Hohlraums zu machen.

Die Endoskopie wird bereits seit langem bei der medizinischen Diagnose gebraucht (z. B. Nierenspiegelung).

Bild 4 zeigt schematisch ein Endoskop mit flexiblem Bild- und Lichtleitbündel /4/.

Sicher bieten sich in Zukunft auch im Rahmen der Technischen Diagnostik vielfältige Möglichkeiten für die Endoskopie. So kann mit Hilfe eines Endoskops der Schädigungszustand von Zahnrädern und Lagern in Getrieben, von Zylinderlaufbuchsen in Verbrennungsmotoren und dergleichen beurteilt werden. Im Bild 5 ist eine Aufnahme eines Zahnrads in einem Getriebe unter Verwendung eines Endoskops dargestellt. Der Bild- und Lichtleiter wurde durch die Öleinfüllöffnung in das Getriebe eingeführt. Man erkennt deutlich den Zahnflankenverschleiß und entstandene Quetschungen an der Zahnflanke.

Bei der Spektralanalyse von Öl wird eine Ölprobe, die aus der zu überprüfenden Baugruppe stammt, in einem Lichtbogen verdampft und das Licht durch ein Prismensystem geleitet.

Aus dem entstehenden Lichtspektrum lassen sich die im Öl enthaltenen metallischen Bestandteile qualitativ und quantitativ ermitteln, woraus Rückschlüsse auf den Verschleiß der Einzelteile der Baugruppe resultieren /5/. Mit der Spektralanalyse von Öl ist eine globale Überwachung des Verschleißzustands von Verbrennungsmotoren und Getrieben möglich. Erste Anwendungsfälle sind aus dem Ausland im Bereich des Kraftverkehrs bekannt.

Schwingungsmessungen als Luft- oder Körperschallmessung werden bald innerhalb der Technischen Diagnostik breiten Raum einnehmen.

Ausgangspunkt ist dabei, daß sich mit zunehmender Abnutzung (Verschleiß, Pittingbildung, Korrosionsnarben) beim Betrieb der Baugruppen stärkere Stoßimpulse ergeben, die Störschwingungen hervorrufen, die sich dem normalen Schwingungsbild, das beim Betrieb der Baugruppe entsteht, überlagern.

Diese Schwingungen können als Körper- oder Luftschall gemessen werden.

Eine grobe Beurteilung des Schädigungszustands ist bereits anhand der maximalen Schwingungsamplituden möglich. Umfassendere Informationen liefert eine Analyse des aufgenommenen Schwingungsbildes. Elektronische Geräte ermöglichen diese Analyse ohne besonderen Zeitaufwand.

Der Vorteil der Schwingungsmessungen für eine Maschinendiagnose liegt in der universellen und einfachen Anwendung des Verfahrens.

Man wird die Schwingungsmessung künftig bei der Diagnose von Verbrennungsmotoren, Kompressoren, Getrieben, Wellenlagern und anderem gebrauchen.

In verschiedenen Fällen kann auch die Temperatur als diagnostischer Parameter herangezogen werden. Ein kritischer Zustand zeigt sich dann durch ansteigende Temperaturen an den betreffenden Teilen an. Zur ständigen Überwachung des Betriebs- oder Schädigungszustands mit Hilfe der vorhandenen Betriebstemperatur sind an dafür ausgewählten Stellen sogenannte wärmeanzeigende Farben angebracht. Diese Markierungen verändern ihren Farbton, wenn ein bestimmter kritischer Temperaturwert überschritten wird.

Auf diese Weise stellt man durch eine Sichtprüfung fest, welche Teile den Grenzzustand erreicht haben.

Derartige wärmeanzeigende Farben können hauptsächlich zur Zustandsüberwachung bei elektronischen Einrichtungen dienen.

Für die Diagnose von komplizierten technischen Systemen ist es im Interesse eines minimalen Diagnosezeitaufwands und einer hohen Genauigkeit erforderlich, Diagnosealgorithmen auszuarbeiten. Dieses Problem wird außerdem durch die angestrebte Automatisierung des Diagnoseablaufs mit Hilfe eines Computers in Zukunft in einigen Bereichen an Bedeutung gewinnen. Dabei ist zu erwähnen, daß für den Einsatz eines Computers, der den Meßablauf steuert, die Meßwerte speichert und am Ende die Diagnose auswirft,

erst entsprechende Voraussetzungen durch geeignete Diagnosegeräte vorhanden sein müssen. Außerdem sind dabei auf jeden Fall die erforderlichen Aufwendungen dem entstehenden Nutzen gegenüberzustellen.

Einen wesentlichen Beitrag zur erfolgreichen Anwendung der Technischen Diagnostik müssen auch die Hersteller von Maschinen leisten, indem sie bereits bei der Projektierung und Konstruktion der Maschinen die Belange der Diagnose berücksichtigen und die Maschinen diagnosegerecht konstruieren.

Gegenwärtig muß in der Regel nachträglich an der vorhandenen Maschine versucht werden, die Technische Diagnostik anzuwenden, wodurch sich oft ein beträchtlicher Aufwand ergibt.

Aufgrund ungeeigneter Anschlußstellen für Diagnosegeräte entsteht ein zum Teil unvermeidbar hoher Zeitaufwand für die Durchführung von Überprüfungen. So beträgt beispielsweise zur Zeit bei Traktoren der Zeitaufwand für den Anschluß der Diagnosegeräte und die nach der Überprüfung wieder durchzuführende Montage von Teilen etwa 80 Prozent des gesamten Zeitbedarfs für eine Überprüfung, das heißt die eigentliche Prüfzeit nimmt nur einen Zeitumfang von etwa 20 Prozent in Anspruch.

Aufgabe der diagnosegerechten Konstruktion ist es, durch Schaffung geeigneter, gut zugänglicher Anschlußstellen für Diagnosegeräte und in bestimmten Fällen durch ihren Einbau in die Maschinen zur Verminderung des Zeitaufwands für Überprüfungen beizutragen.

Zum Schluß ist zu erwähnen, daß die erfolgreiche Anwendung der Technischen Diagnostik ein gut funktionierendes Informationssystem voraussetzt. Dieses System muß gewährleisten, daß die bei der Diagnose gewonnenen Daten bei nachfolgenden Überprüfungen der gleichen Maschinen wieder zur Verfügung stehen und daß diese Zahlen außerdem den Herstellern, Nutzern und Instandsetzern zur Planung und Qualitätsverbesserung vorliegen.

Zusammenfassung

Die Technische Diagnostik wird bei sinnvoller Anwendung entscheidend dazu beitragen, daß die Maschinen und technischen Anlagen mit der geforderten Zuverlässigkeit und bei minimalen Instandhaltungsaufwendungen arbeiten.

Eine besondere Bedeutung gewinnt die Technische Diagnostik dann, wenn es möglich wird, bei der Überprüfung mit ausreichender Sicherheit die noch mögliche Restnutzungsdauer vorherzusagen.

Zur Diagnose von Maschinen und Anlagen werden künftig neuartige Verfahren und Geräte angewandt, die eine umfassendere und genauere Information über den Zustand gewährleisten.

Ihr Einsatz ist jedoch nur dort gerechtfertigt, wo bezogen auf die Diagnosekosten ein entsprechend hoher Nutzen entsteht.

Die Frage des Nutzeffektes der Technischen Diagnostik hat deshalb stets im Vordergrund zu stehen.

Literatur

- 1/ Nassau, B.: Zur Überprüfung von Hydrauliksystemen. *agrartechnik*, 23 (1973) H. 9, S. 411
- 2/ Gäbler, K.: Die Anwendung der Technischen Diagnostik zur Erreichung einer optimalen Zuverlässigkeit der Maschinennutzung. Vortrag auf der Fachtagung „Zuverlässigkeit technischer Systeme“, Leipzig 1971
- 3/ Werlich: Ultraschallprüfung von Teilen ohne Demontage. Vortrag auf der Fachtagung „Technische Diagnostik“ anlässlich der Jahrestagung der Wiss. Sektion „Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel“, Berlin 1972
- 4/ Kujaw, D.: Anwendungsmöglichkeiten der Endoskopie bei der Technischen Diagnostik. Vortrag auf der Fachtagung „Technische Diagnostik“ anlässlich der Jahrestagung der Wiss. Sektion „Erhaltung landtechnischer Arbeitsmittel“, Berlin 1972
- 5/ Wohlbe, H.: Stand und Entwicklung der Technischen Diagnostik. *Dt. Agrartechnik*, 20 (1970), H. 8, S. 406

A 9259