

Untersuchungen zur Anwendung der Lasertechnik in der landtechnischen Instandhaltung

Prof. Dr.-Ing. E. Rast, KDT/Dr.-Ing. Marion Hoyer, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung

1. Einleitung

Der Laserstrahl hat sich seit seiner Erfindung in den fünfziger Jahren sehr rasch ein breites Anwendungsfeld in vielen Wirtschaftszweigen erobert und für viele Anwendungsfälle als effektiv erwiesen. Einsatzbereiche sind u. a. der Werkzeugmaschinenbau, das Bauwesen, die Geodäsie, die Metallurgie und die Medizin [1]. Der Laserstrahl wird zum Bohren, Schneiden, Schweißen, Beschichten, Wärmebehandeln, Vermessen u. a. verwendet. Es lag daher nahe, seine Eignung und Anwendung auch für den Bereich der landtechnischen Instandhaltung zu untersuchen und als Verfahren der technischen Diagnose zu nutzen, speziell, als Möglichkeit für die Zustandsbestimmung und Restbetriebsdauerprognose landtechnischer Elemente, Arbeitsmittel und Anlagen.

In die Forschungsaufgaben des Wissenschaftsbereichs Instandhaltung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg wurden zunächst die Verfahren der Lasertechnik

aufgenommen, die bisher in der Technik zur Messung von Längen (Geradheit, Ebenheit und Fluchtung von Körpern), von Geschwindigkeiten, Schwingungen, Verformungen (zur Bestimmung von Oberflächendefekten [1]) usw. angewendet werden.

Dieser Beitrag enthält vorerst nur einige allgemeine Erkenntnisse über Lasertechniken und ihre Anwendungsfälle.

2. Wirkungsprinzip des Lasers

Das Wirkungsprinzip des Lasers beruht auf quantenmechanischen Vorgängen in der Materie. Atome, Ionen und Moleküle können in verschiedenen Energiezuständen existieren. Erfolgt ein Quantenübergang von einem höheren Energieniveau zu einem niederen, so wird eine Lichtstrahlung erzeugt. Je nachdem, ob dieser Übergang erzwungen wird oder nicht, spricht man von einer induzierten oder einer spontanen Emission. Die mit einem Laser erzeugte Strahlung wird induziert. Man erreicht damit:

- hohe Bündelungsschärfe
- monochromatisches, zeitlich und räumlich kohärentes Licht
- hohe Leistungsdichte
- hohe Frequenz.

Der erste Rubinlaser wurde von Maiman 1960 gebaut [2]. Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Laserarten, die sich einteilen lassen in [2]:

- Festkörperlaser (z. B. Rubinlaser)
- Flüssigkeitslaser (Farbstofflaser)
- Gaslaser (z. B. He-Ne-Laser)
- Halbleiterlaser.

Im Bild 1 ist der Spektralbereich dargestellt, in welchem Laser verfügbar sind. Für meßtechnische Aufgaben wird bevorzugt der relativ preiswerte Helium-Neon-Laser (He-Ne-Laser) verwendet. Als aktives Medium dient ein Gasgemisch. Das Gas befindet sich in einer Röhre (Bild 2). Die Anregungsenergie zur Erzeugung einer Lichtstrahlung wird durch eine elektrische Gasladung zugeführt. Mit den vorhandenen 5 Energieniveaus (Bild 3) können Strahlungen mit den Wellenlängen $\lambda = 3,390 \mu\text{m}$, $\lambda = 1,150 \mu\text{m}$ und $\lambda = 0,6328 \mu\text{m}$ entstehen. Eine Selektion der geförderten Wellenlänge erfolgt durch den

Resonator. Die Lichtwelle, deren Frequenz mit der Eigenfrequenz des optischen Resonators übereinstimmt, wird zwischen 2 Spiegeln reflektiert, verstärkt und durch den teildurchlässigen Spiegel ausgekoppelt. In der DDR werden 5 verschiedene He-Ne-Lasertypen gebaut [4]. Mit diesen Geräten werden Leistungen von 0,2 bis rd. 45 mW (für $\lambda = 632,8 \text{ nm}$) erreicht.

Der leistungsstärkste Lasertyp HNA188 ist für die Holografie und die holografische Interferometrie geeignet. Mit den anderen Lasertypen können u. a. Fluchtungs- und Längenmessungen durchgeführt werden.

Im Rahmen der landtechnischen Instandhaltung soll der Einsatz der He-Ne-Laser für die genannten Meßverfahren betrachtet werden.

3. Holografische Interferometrie

Die holografische Interferometrie ist ein optisches Meßverfahren, dessen Entstehung und Verbreitung besonders der raschen Entwicklung der Holografie und Lasertechnik zu verdanken ist. Bei der Holografie wird der Laserstrahl durch einen Strahlteiler in 2 kohärente Strahlen aufgespalten (Bild 4). Mit dem einen Strahl wird das Objekt beleuchtet, und das reflektierte Licht wird mit dem anderen Strahl interferentiell überlagert. Das Ergebnis ist ein Hologramm (Interferenzstreifenmuster = Intensitätsverteilung der Überlagerung von Objekt- und Referenzwelle). Das Hologramm wird bei der Rekonstruktion mit einer der Referenzwelle identischen Rekonstruktionswelle beleuchtet. Es entstehen ein virtuelles und ein reelles Bild vom Objekt. Das virtuelle Bild entspricht optisch vollkommen dem Objekt. Erfolgt nun nach der Speicherung des Nullzustands auf der Hologrammplatte eine geringfügige Objektveränderung (Verschiebung, Rotation, Verformung, Spannung), so enthält die interferentielle Überlagerung der beiden Objektbilder eine quantitative Aussage über die Objektveränderung (Bild 5). Diese Interferogramme sind dann mit geeigneten Auswertverfahren zu analysieren [5]. Die holografische Interferometrie hat als Werkstoffprüfverfahren eine Reihe von Anwendungen gefunden, z. B. bei

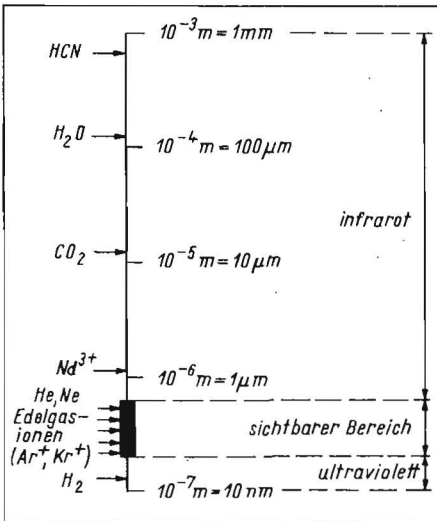
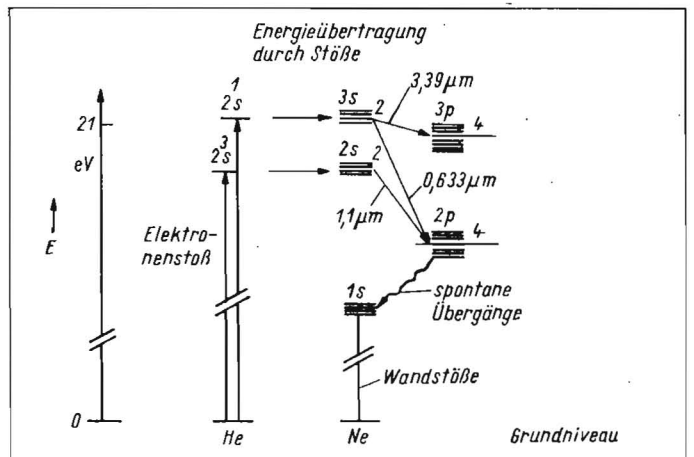
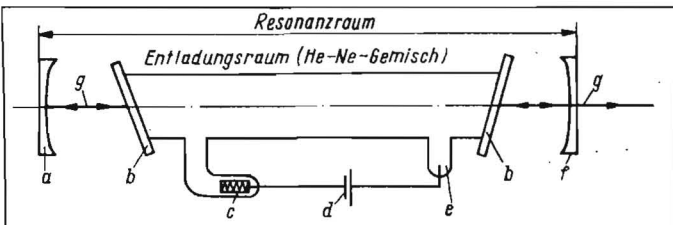


Bild 1. Spektralbereich, in dem Laser verfügbar sind (nach [2])

Bild 3. Energieniveauschema der He-Ne-Laser (nach [3])

Bild 2. Prinzipaufbau eines Gaslasers nach [2]; a undurchlässiger Spiegel, b Brewsterfenster, c Kaltkathode, d Spannungsquelle, e Anode, f teildurchlässiger Spiegel, g Laserstrahl



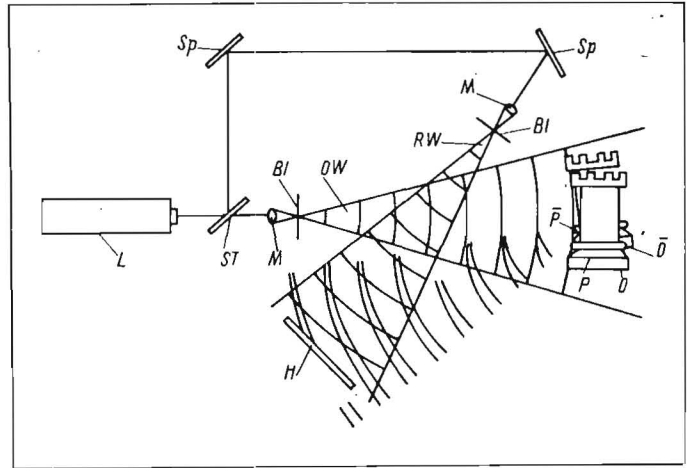
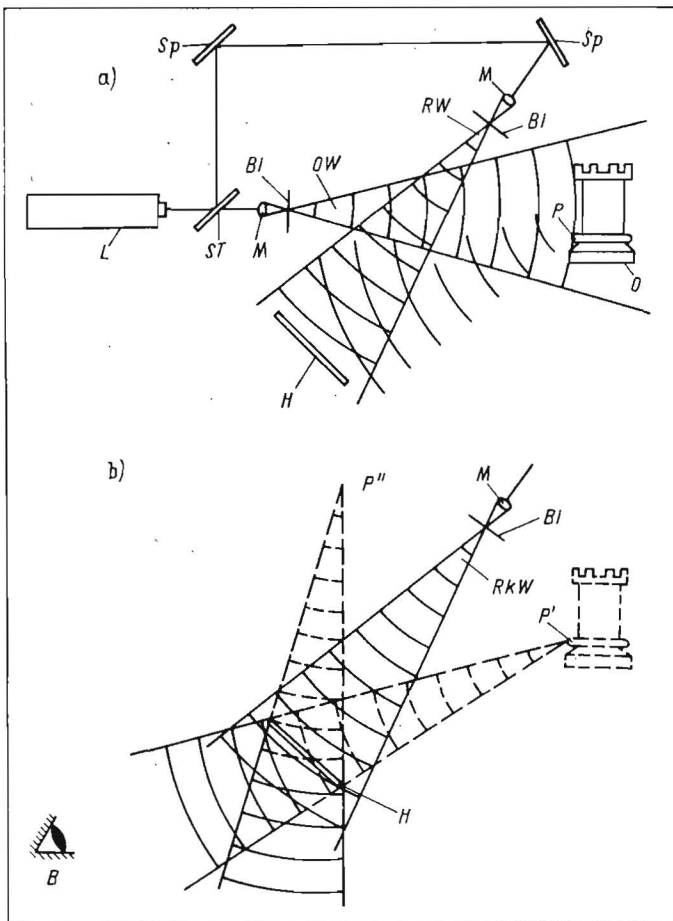


Bild 5. Prinzip der holografischen Interferometrie (nach [5]);
L Laser, ST Strahlenteiler, Sp Spiegel, O Objekt in Position 1, O Objekt in Position 2, P Punkt auf Null, P Punkt P in Position 2, M Mikroskopobjektiv, BI Lochblende, H Hologramm, OW Objektwelle, RW Referenzwelle

Bild 4. Holografischer Aufbau für Auflicht-Holografie (nach [5]);
a) Aufnahme, b) Rekonstruktion
L Laser, St Strahlenteiler, Sp Spiegel, O Objekt, P Punkt auf Null, OW Objektwelle, RW Referenzwelle, M Mikroskopobjektiv, BI Lochblende, H Hologramm, RkW Rekonstruktionswelle, P' visueller Bildpunkt von P, P'' korjugierter Bildpunkt von P, B Beobachter

Bild 6. Anwendungsmöglichkeiten von Laserfluchtungsmeßgeräten;
a) Prüfung der Geradheit von Ebenen
b) Prüfung der Senkrechten von Behältern
c) Prüfung der Achsparallelität und Fluchtung der Übertragungselemente
d) Prüfung der Planparallelität von Wellen

der Bestimmung von Werkstoffkenngrößen, bei der Spannungs- und Dehnungsanalyse und bei der Analyse von Schwingungsvorgängen. Erfolgreich nachgewiesen werden konnten auch Werkstoff- und technologische Fehler an Bauteilen, z. B. Oberflächenfehler, Risse und Lunker, fehlerhafte Klebe-, Löt- und Schweißverbindungen sowie Laminatfehler in Fahrzeugreifen [6].

Die Vorteile der holografischen Interferometrie gegenüber anderen Verfahren der Werkstoffprüfung sind [7]:

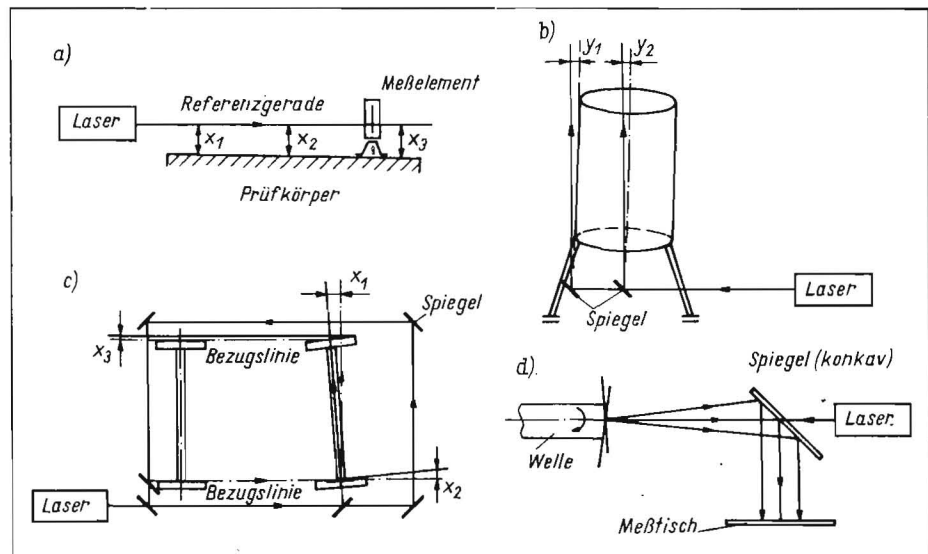
- berührungslose, flächige Überwachung größerer Oberflächenbereiche
- relativ schnelles, einfaches Prüfen (bei Verwendung einer Sofortbilteinrichtung Zeitdauer 20 bis 30 s)
- Vielzahl verschiedener prüfbarer Werkstoffe
- Rauigkeit und Form der Objekte innerhalb weiter Grenzen variierbar
- unmittelbare qualitative Darstellung der Ergebnisse im Interferogramm.

In der landtechnischen Instandhaltung werden die Werkstoffprüfung in der Einzelteilinstandsetzung und die Objektivierung vorhandener Diagnoseverfahren, z. B. die Schwingungsdiagnose, wesentliche Anwendungsgebiete der holografischen Interferometrie sein.

4. Anwendung von Laserfluchtungsmeßgeräten in der Längenmeßtechnik

Laserfluchtungsmeßgeräte sind für alle Fluchtungsarbeiten geeignet, bei denen für die einmalige Einstellung mit Hilfe einer Zieltafel ein mittlerer Fehler von ± 1 mm bei einer Entfernung von 100 m zulässig ist. Der Laser wird angewendet als [8]:

- Fluchtstrahl oder Referenzebene innerhalb ingenieurgeodätischer Meß- und Kontrolltechnologien



- Fluchtlinie oder -ebene für Montage und Justiervorgänge (z. B. Achsvermessung)
 - Leitstrahl oder -ebene zur Steuerung und Führung dynamischer Prozesse
 - Referenzlinie oder -ebene zur Ermittlung von Deformationen (z. B. Achsvermessung an PKW und LKW einschließlich Anhänger, Geradheitsmessung von Führungen).
- Der Einsatz von Lasern ist durch eine hohe Genauigkeit, Arbeitsgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit des Verfahrens gekennzeichnet. Durch die Nutzung eines elektrooptischen Empfängers ist die Kopplung mit Mikrorechnern möglich. Der Laser ist für eine mobile Überprüfung geeignet (Masse zwischen 5 kg und 9 kg). Gegenüber der Anwendung von Theodoliten sind Zeiteinsparungen zwischen 20 und 30% zu erreichen. Der Laserstrahl kann an jeder beliebigen

Stelle des Strahlenganges sichtbar gemacht werden [9]. Problematisch bei der Fluchtungsmessung sind Umwelteinflüsse (Sonneneinstrahlung) und Schwingungen. Anwendungsgebiete von Fluchtungslasern in der landtechnischen Instandhaltung sind neben der bereits erfolgreich betriebenen Achsvermessung an mobilen Fahrzeugen in der technischen Diagnose von Anlagen der Landwirtschaft zu sehen. Als Beispiele können angeführt werden:

- Überwachung der senkrechten Lage von Hochbehältern (Silos)
- Prüfung der Geradheit von Führungsbahnen (z. B. Melkkarussells) und langer Wellen im Einbaustand
- Bestimmung der Parallelität von rotierenden Wellen, Achsen, Kettenführungen u. a. in Maschinen und Anlagen

- Verschleißüberwachung von Grund- und Gegenkörpern (z. B. Gleitpaarung)
- Ermittlung der Korrosionsgeschwindigkeit an Elementen
- Prüfung von Deformationen (in Behältern, Rohren, von Trägern, Decken, Gerüsten u. a.)
- Meßwertbestimmung in zwei Dimensionen (Ebene) oder drei Dimensionen (Raum) mit Hilfe von Laserentfernungsmessgeräten und Meßwertverarbeitungsprozessoren.

Der Einsatz der im Handel angebotenen Geräte bedingt für den Spezialfall meist noch die Anschaffung von Zubehör (Spiegel, Vorrichtungen u. a.) und erfordert Meßplätze mit den notwendigen Einrichtungen. Die zu prüfenden Objekte sind deshalb sorgfältig auszuwählen und das auf der Laserstrahlbasis aufzubauende Diagnosesystem allumfassend zu kompletieren. Anwendungsfälle demonstriert Bild 6.

5. Probleme der Sicherheit und der Rentabilität

Die Anwendung der Lasertechnik ist mit Risiken verbunden. Das Laserbündel kann bei stärkeren Geräten zu Hautverbrennungen oder Augenverletzungen führen. Die Sicherheitsbestimmungen sind daher je nach Vorschrift der anzuwendenden Geräte strikt zu

befolgen. Die Bedienenden müssen über die entsprechenden Kenntnisse verfügen. Dies trifft auch für den Einsatz der Geräte selbst zu, die eine Qualifikation der Meßtechniker voraussetzen. Die Gerätetechnik ist kostenintensiv. Selbst einfache Lasermeßgeräte mit dem erforderlichen Zubehör erfordern Investitionen von mehr als 10000,- M. Die Rentabilität ist deshalb für den jeweiligen Anwendungsfall exakt zu bestimmen. Das Verfahren verfügt andererseits über große Vorteile, so daß die Anwendung dieser Technik mit anderen Meßeinrichtungen hoher Präzision ohne weiteres konkurrieren kann.

6. Zusammenfassung

An der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg werden gegenwärtig und in den nächsten Jahren verstärkt Forschungen auf dem Gebiet der Diagnose landtechnischer Anlagen durchgeführt. Eine Aufgabe ist die Erschließung und Anwendung von Diagnoseverfahren, die in anderen Technikbereichen schon erfolgreich eingesetzt werden. Auf dem Gebiet der Lasermeßtechnik sind die holografische Interferometrie und die Fluchtmessung von Bedeutung. Parallel zur Erprobung dieser Verfahren sind Untersuchungen zum Schädigungsverhalten und zur Bestimmung von Schädigungsgrenzen notwendig.

Literatur

- [1] Hautke, D.: Über die Anwendung der Laser und Optoelektronik in der Längenmeßtechnik. V. Oberflächenkolloquium der KDT, Volltexte und Vorträge C und D, Berlin 1983.
- [2] Bimberg, D.: Laser in Industrie und Technik, Bd. 13. Kontakt und Studium. Grafenau: Lexika-Verlag 1977.
- [3] Brunner, W., u. a.: Quantenelektronik, Bd. 36. Einführung in die Physik des Lasers. Berlin: VEB Dt. Verlag der Wissenschaften 1975.
- [4] He-Ne-Typenreihe. VEB Carl Zeiss Jena, Prospekt 1978.
- [5] Blüml, P., u. a.: Optisches Verfahren in der experimentellen Spannungsanalyse. 6. Gesa-Symposium. VDI-Berichte (1982) Nr. 439, S. 97-121.
- [6] Frankowski, G.: Universeller mit Laserlicht. Technische Gemeinschaft, Berlin 29 (1981) 1, S. 18.
- [7] Fischer, W.: Beitrag zur Weiterentwicklung der holografischen Interferometrie zur Verbesserung der zerstörungsfreien Prüfung thermisch gespritzter Schichten. Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 5, Düsseldorf (1982) Nr. 66.
- [8] Apel, P.: Entwicklung und Anwendung der Meßtechnik im Bauwesen. Leipzig: Institut für Aus- und Weiterbildung im Bauwesen 1981.
- [9] Geißler, R.: Einsatz von Lasern in der Meßtechnik. Wissenschaftlich-technische Mitteilungen, Schwermaschinen- und Anlagenbau Magdeburg (1983) 2, S. 91-98.

A4177

Diagnostische Temperaturmessungen an Axialkolbenmotoren¹⁾

Dipl.-Ing. S. Hlawatsch, KDT, Ingenieurbüro für vorbeugende Instandhaltung Dresden

Verwendete Formelzeichen

| | |
|-----------|----------------------------|
| \hat{a} | Regressionskonstante |
| b | Regressionskoeffizient |
| c | spezifische Wärmekapazität |
| M | Drehmoment |
| n | Drehzahl |
| p | Druck |
| r | Korrelationskoeffizient |
| T | Temperatur |
| \dot{V} | Volumenstrom |
| Δ | Differenz zweier Größen |
| η | Wirkungsgrad |
| ρ | Dichte |

Indizes

| | |
|-----|---|
| A | Austritt |
| E | Eintritt |
| ges | Gesamt |
| h | isenthalp |
| La | äußeres Lecköl |
| M | Motor |
| P | Pumpe |
| p | isobar |
| s | isentrop |
| VT | Zusammenhang Volumenstrom/Temperaturdifferenz |
| 0 | Bezugszustand |

Die Energie- und Rohstoffsituation sowie die Notwendigkeit der Rationalisierung und Intensivierung auch der Instandhaltungspro-

zedesse erfordern die Entwicklung geeigneter Diagnosemittel und -verfahren. Bei mobilen Arbeitsmitteln ist es für die Überprüfung hydrostatischer Baugruppen besonders wichtig, daß neben der Eindeutigkeit der Zuordnung von Meßsignal und Verschleißzustand auch ein Minimum an Anschlußarbeiten gewährleistet wird und störungsunempfindliche Meßwertgeber zum Einsatz kommen. Die Temperaturmeßtechnik bietet in dieser Hinsicht einige Vorteile.

1. Vorteile des Einsatzes von Temperaturmeßtechnik für die Hydraulikdiagnose

Die technische Diagnostik hat besonders auf dem Sektor mobiler Arbeitsmittel unter rauen Bedingungen nur eine Chance, wenn ihre Anwendung die definitionsgemäßen Anforderungen [1] zumindest annähernd erfüllt. Daraus ergibt sich ein Komplex von Forderungen an Diagnoseverfahren und -mittel, der nur selten in vollem Umfang zu erfüllen sein wird. Als ganz besonders wichtig ist neben der ökonomischen Effektivität der Maßnahmen die weitgehende Eingriffsfreiheit anzusehen. So ist beispielsweise der Einbau bisher üblicher Meßwertgeber für den Volumenstrom mit einem größeren Arbeitsaufwand verbunden und geht erfahrungsgemäß nicht ohne Ölverluste und auch Verschmutzung vor sich, so daß u. U. mehr Schaden als Nutzen entsteht. Weiterhin sind derartige Meßwertgeber meist stör anfällig, nur in eng begrenzten Leistungsbereichen einsetzbar

und teuer. Damit wird deren Einsatzgebiet im wesentlichen auf Labors beschränkt bleiben müssen.

Kann die Temperatur als Diagnoseparameter herangezogen werden, so ergeben sich beim Einsatz elektrischer Berührungsthermometer in der Hydraulikdiagnose folgende Vorteile [2]:

- relativ unkomplizierte Installation der Meßwertgeber bei vorbereiteten Meßstellen (z. B. Anschweißstutzen kleiner Nennweite)
- geringe Masse und geringer Platzbedarf der Meßwertgeber
- Unempfindlichkeit gegen Meßbereichsüberschreitungen, Robustheit der Geber
- Unabhängigkeit des Gebertyps vom Leistungsbereich der zu untersuchenden Baugruppe
- elektrisches Meßsignal mit günstigen Möglichkeiten für die Weiterverarbeitung
- vergleichsweise geringer Preis der Meßwertgeber, kein übermäßiger meßtechnischer Aufwand
- permanente Installation ist möglich
- Überprüfung von unterschiedlichen Baugruppen eines Kreislaufs (Pumpen, Motoren, Ventilbaugruppen, Filter) mit einer Meßkette möglich.

Damit ist die Anwendung der Temperaturmeßtechnik weitgehend eingriffsfrei und praxisfreundlich.

1) Diese Arbeit entstand während der Tätigkeit des Autors an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden, Sektion Fahrzeugtechnik