

APPLIKATION INFORMATION

aus JENA

JENOPTIK JENA GmbH
Carl-Zeiss-Straße 1
Jena
DDR-6900

Mikroskopie

4/88

Steigerung der Effektivität von polarisationsoptischen und interferenzmikroskopischen Gangunterschiedsmessungen durch den Einsatz des RETARMET 2 an den -Polarisations- und Interferenzmikroskopen

Inhalt:

1. Digitalkompensator RETARMET 2 für Polarisations- und Interferenzmikroskopie
 - 1.1. Polarisationsmikroskopie/Interferenzmikroskopie (Kurzcharakteristik)
 - 1.2. Beschreibung des RETARMET 2
2. Nähere Erläuterungen der Einsatzmöglichkeit des RETARMET 2
 - 2.1. Messung mit Kippkompensatoren nach EHRINGHAUS
 - 2.2. Messung mit Drehkompensatoren nach BRACE-KÖHLER
 - 2.3. Messung mit dem Digitalanalysator nach DE SENARMONT
 - 2.4. Längenmessung
 - 2.5. Doppelbrechung
 - 2.6. Interferometrische Kompensationsmethoden
 - 2.7. Photometrie
 - 2.8. Auswertung der Meßergebnisse
 - 2.8.1. Statistik
 - 2.8.2. Klassierung der Meßergebnisse
 - 2.8.3. Bedienkomfort
3. Auswertung eines Meßbeispielles - vergleichende Messung zwischen herkömmlicher Methode und RETARMET 2
4. Hauptanwendungsgebiete der Interferenzmikroskopie
5. Zusammenfassung

1. Digitalkompensator RETARMET 2 für Polarisations- und Interferenzmikroskope

1.1. Polarisationsmikroskopie / Interferenzmikroskopie (Kurzcharakteristik)

Die Polarisationsmikroskopie findet überall dort Anwendung, wo vorwiegend anisotrope Materialien mit Hilfe polarisierten Lichtes beobachtet und vermessen werden. In der orthoskopischen Beobachtung erscheinen anisotrope Objekte in Polarisationsfarben, deren Stärke und Charakter von der Orientierung und den optischen Eigenschaften des Kristalls oder der organischen Medien abhängen. Außerdem ist die Lage der auftretenden Interferenzfarbe in der Farbfolge bestimmt durch die Dicke und die Doppelbrechung des Präparates. Die konoskopische Beobachtung, die mit Hilfe der Bertrand-Linse durchgeführt wird, gibt Aufschluß über die Interferenzerscheinungen (genannt Achsenbilder), die in der hinteren Brennebene des Objektivs entstehen.

Mit dem Polarisationsmikroskop können die polarisationsoptischen Gangunterschiede gemessen werden. Die Kombination des Polarisationsmikroskops mit der Interferenzmikroskopie ist die universellste Variante (JENAPOL interphako). Dieses Mikroskop ist u.a. notwendig, um richtungsabhängige interferometrische Gangunterschiede zu messen.

Unter Interferenzmikroskopie versteht man ein mikroskopisches Abbildungsverfahren, bei dem eine vom Objekt unabhängige Aufspaltung, Beeinflussung und Wiedervereinigung des Strahlengangs erfolgt mit dem Ziel, hauptsächlich Phasenobjekte kontrastreich darzustellen und die von ihnen hervorgerufenen Gangunterschiede mit hoher Genauigkeit zu messen. Diese Aufspaltung des Strahlenganges und Wiedervereinigung erfolgt bei den INTERFERENZMIKROSKOPEN aus JENA mit einem kleinen Mach-Zehnder-Interferometer im Abbildungsstrahlengang.

Folgende INTERFERENZMIKROSKOPE aus JENA sind im Lieferprogramm:

Durchlichtinterferenzmikroskop:	JENAVAl interphako
Auflichtinterferenzmikroskop:	JENAVERT interphako
Polarisations-Interferenzmikroskop:	JENAPOL-d interphako (für Durchlicht) und JENAPOL-u interphako (für Durch- und Auflicht)

1.2. Beschreibung des RETARMET 2

Der Digitalkompensator RETARMET 2 ist eine am Mikroskop (für JENAVAl interphako, JENAVERT interphako, JENAPOL interphako, JENAPOL, JENALAB pol als Zusatzgerät; für JENAPOL b als Bestandteil der Standardaus-rüstung) vielseitig nutzbare, rechnergestützte Einrichtung zur direkten Anzeige und Auswertung von Meßdaten mit hohem Meßkomfort bei geringstem Zeitaufwand.

Die Einsatzgebiete sind Medizin, Biologie, Mineralogie, Chemie, Plastografie u.a.

RETARMET 2 gestattet folgende 10 Meßverfahren (nähere Erläuterungen siehe Punkt 2.):

- polarisationsoptische Kompensationsprogramme

- . Messungen mit Kippkompensatoren nach EHRINGHAUS
0 - 6λ , 0 - 130λ und mit Drehkompensatoren nach
den Meßverfahren von BRACE-KÖHLER und BEAR-SCHMITT
- . Senarmont-Verfahren
(in Verbindung mit dem neuen Gebersystem "Digital-
analyšator" am JENAPOL b)

- Interferometrie

- . interferometrische Gangunterschiedsmessungen
- . interfer-ometrische Gangunterschiedsmessungen mit
dem elektronischen Abgleichindikator VELOMET 2

VELOMET 2 verbessert die Reproduzierbarkeit der interferometrischen Messung durch ein objektives Abgleichverfahren

- Längenmessung

Bestimmung lateraler Größen in Verbindung mit einer binokularen Meßeinrichtung

- Photometrie

Reflexions- und Transmissionsmessungen in Verbindung mit VELOMET 2 oder extern angepaßter photometrischer Einrichtung

- R : L (R - polarisationsoptischer Gangunterschied;
L - Länge (z.B. Durchmesser einer Faser))

Direkte Bestimmung der Doppelbrechung an Fasern oder Kristallen mit Hilfe des Spindeltisches durch gleichzeitige Verwendung zweier inkrementaler Geber (Messung des Gangunterschiedes mit einem polarisationsoptischen Kompensator und Bestimmung der Objektdicke mit der binokularen Meßeinrichtung)

Bei Serienmessungen werden mit dem Statistikprogramm folgende Informationen ermittelt und gleichzeitig angezeigt:

- . Aktueller Mittelwert \bar{X} der Meßgröße x nach n Messungen
- . Vertrauensbereich σ' des Mittelwertes für eine statistische Sicherheit von 95 % oder wahlweise die Standardabweichung s .

Für die Bestimmung von Gangunterschiedesprofilen oder von Gangunterschiedesänderungen in kinetischen Prozessen, z.B. bei Temperaturänderung des Objektes, stehen zwei weitere vorwählbare Arbeitsregime im RETARMET 2 zur Verfügung.

Die Ergebnisse bei allen Arbeitsprogrammen können in einem Klassierprogramm bearbeitet werden (siehe Punkt 2.8.)

Ein Druckerinitialisierungsprogramm bietet die Möglichkeit, den gesamten Anzeigeinhalt in Tabellenform bei jeder Meßauslösung automatisch auszudrucken. Zusätzlich können die Betriebsbedingungen sowie die Zeit ab Meßreihenstart und/oder die von einem peripheren Thermoelement gemessene Temperatur am Meßobjekt in der Tabelle ausgedruckt werden.

Klassierte Ergebnisse können als Histogramm grafisch in Form eines Säulendiagrammes aufbereitet und ausgedruckt werden. Der Drucker- ausgang kann für die international üb-lichen Interfacetypen RS-232-C (V 24) oder 20 mA-Stromschleife IFSS einfach umgeschaltet werden.

Das RETARMET 2 verfügt über einen Datenerhalt für alle wesentlichen Betriebs- und Meßdaten über einen Zeitraum von mindestens 2 Jahren.

Im Rechner werden folgende Informationen dauerhaft festgehalten:

1. Die Daten zur Druckerinitialisierung
2. Die Meßmethode, inklusive der Meßwellenlängen bzw. des gewählten Arbeitsspeichers sowie dort enthaltene und alle weiteren zusätzlichen Betriebsparameter, wie Kompensator-, Skalen-, Geräte- und Verfahrenskonstanten und eingegebene Photometriestandardwerte.
3. Zusatzinformationen, wie z.B. die Umgebungstemperatureingabe, das Protokolldatum und die Objektcodierung
4. Angaben zur Datenklassierung
5. Werte in den zur weiteren Ergebniszusammenfassung dienenden Speichern SM 1 und SM 2 und die Ergebnisse in den Klassierspeichern.
6. Das Datum des letzten Batteriewechsels

Der Datenerhalt ermöglicht so z.B. das Fortsetzen zeitaufwendiger Meßaufgaben, die über einen Arbeitstag hinausreichen, da sämtliche Betriebs- und Meßbedingungen sowie die statistischen Daten der Meßreihen auch bei abgeschaltetem Gerät erhalten bleiben.

2. Nähere Erläuterungen der Einsatzmöglichkeiten des RETARMET 2

Das RETARMET 2 dient zum quantitativen Erfassen und Auswerten polarisationsoptischer und interferometrischer Gangunterschiede sowie zur photometrischen Auswertung und zur Längenmessung am Objekt-detail.

2.1. Messung mit Kippkompensatoren nach EHRINGHAUS

Die Messung des polarisationsoptischen Gangunterschiedes mit RETARMET 2 erfordert nur noch 10 % der Zeit im Vergleich zu den bisher üblichen Meßverfahren. Das Ablesen, Aufschreiben, Rechnen entfällt. Weniger Messungen sind erforderlich, die Meßgenauigkeit steigt und die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse erhöht sich (siehe Punkt 3).

Meßkompensator 0 - 6 λ

Formel zur Berechnung des Gangunterschiedes R_λ :

$$R_\lambda = \left(\sqrt{n_E^2 - \sin^2 i} - \frac{n_E}{n_0} \sqrt{n_0^2 - \sin^2 i} \right) \cdot 10^6 / \text{nm}$$

R_λ = Gangunterschied des Meßobjektes in nm bei der gewählten Meßwellenlänge

n_E = Brechungsindex für die außerordentliche Welle

n_0 = Brechungsindex für die ordentliche Welle

i = Kippwinkel der Kompensatorplatte

Diese Formel ist programmiert. Die wellenlängenabhängigen Brechzahlen (für 4 Standardwellenlängen) sind gespeichert und werden automatisch übernommen.

Meßkompensator 0 - 130 λ

Formel zur Berechnung des Gangunterschiedes R_λ :

$$R_\lambda = \left(\frac{n_E}{n_0} \sqrt{n_0^2 - \sin^2 i} - \sqrt{n_E^2 - \sin^2 i} \right) \cdot 10^6 / \text{nm}$$

Meßbereich	Auflösung	Reproduzierbarkeit σ'
0 - 6 λ	0,01°	1 nm
0 - 130 λ	0,01°	3 nm

2.2. Messung mit Drehkompensatoren nach BRACE-KÖHLER

Durch RETARMET 2 ist es möglich geworden, die exakte Kompensatorfunktion

$$R_{\text{Obj}} = \frac{1}{K} \cdot \arctan \left(2 \cdot \sin 2\bar{u} \cdot \tan \frac{R_{\text{Komp}} \cdot K}{2} \right) / \text{nm}$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

λ = Meßwellenlänge in nm

\bar{u} = mittlerer Meßwinkel in Grad

R_{Komp} = Kompensatorkonstante in nm

R_{Obj} = Gangunterschied des Objektes

statt der Näherungsformel

$$R_{\text{Obj}} = -R_{\text{Komp}} \cdot \sin 2\bar{u} \quad \text{zu verwenden.}$$

Um den hohen Rechenaufwand zu vermeiden, wurde bisher immer nur die Näherungsformel verwendet. Diese Formel weicht allerdings um 6 % vom wahren Wert ab. Mit RETARMET 2 geschieht die Ergebnisfindung einfach, schnell, genau und ohne Rechenaufwand.

2.3. Messung mit dem Digitalanalysator nach DE SENARMONT

Die genaueste Gangunterschiedsmessung kann mit der SENARMONT-Methode erfolgen. Bisher war sie allerdings fehlerbehaftet durch subjektive Ablesefehler am Nonius der Analysatorskala.

Der neuentwickelte Digitalanalysator, gepaart mit der im Mikroskop integrierten Halbschattenmeßeinrichtung, der nur am JENAPOL b in der Standardausrüstung enthalten ist und eine konkurrenzlose Einheit darstellt, ermöglicht eine sehr bequeme, genaue Meßwertermittlung.

Formel zur Berechnung des Gangunterschiedes R_{λ} :

$$R = \frac{\lambda}{180^{\circ}} \cdot \alpha / \text{nm}$$

λ / nm = Meßwellenlänge

$\alpha / ^{\circ}$ = Analysatordrehwinkel

R_{λ} = Gangunterschied bei der
gewählten Meßwellenlänge

Meßbereich	Auflösung	Reproduzierbarkeit σ'
0 - 1 λ	0,05°	0,2 nm mit Halbschattenmeßeinrichtung am JENAPOL b

2.4. Längenmessung

Die Längenmessung wird unter Verwendung einer binokularen Meßeinrichtung, die mit dem RETARMET 2 verbunden wird, durchgeführt. Als zusätzliche Arbeitsvariante kann ein Fußschalter zur Meßwertverarbeitung betätigt werden.

Dadurch stehen beide Hände für die Meßaufgabe zur Verfügung.

Meßbereich	Auflösung	Reproduzierbarkeit σ'
bis max. 10.000 μm	0,1 μm	1,0 μm

2.5. Doppelbrechung

Diese Arbeitsvariante ermöglicht erstmalig die sofortige Bestimmung der Doppelbrechung durch die Kombination von Kompensator- und Längenmeßprogramm durch Nutzung zweier Gebereinheiten. Die Meßwerte werden im Rechner verarbeitet und die Doppelbrechung wird sofort angezeigt.

Meßbereich	Reproduzierbarkeit σ'
ab ca. 0,001	etwa 0,0005

2.6. Interferometrische Kompensationsmethoden

Die interferometrischen Kompensationsmethoden können mit den Interferenzmikroskopen JENAVAL interphako, JENAERT interphako, JENAPOL interphako durchgeführt werden. Bei den Interferenzmikroskopen der Mikroval-Serie PERAVAL interphako und EPIVAL interphako erfolgte die Meßwertermittlung der Kompensationslagen durch Ablesen an einer Meßtrommel. Der Meßwert mußte berechnet werden. Bei den Interferenzmikroskopen der neuen Generation ist durch das DIGIMIN ein Fortschritt bezüglich der digitalen Anzeige des Gangunterschiedes gemacht worden. Für genaue interferometrische Messungen ist allerdings die Grundlage die Serienmessung mit einer statistischen Aussage. Das DIGIMIN zeigt allerdings nur den Einzelwert an. Bei Verwendung des RETARMET 2 für die interferometrischen Gangunterschiedsmessungen werden nun alle Vorzüge der modernen Rechentechnik für die Meßwert-erfassung, -verarbeitung und -dokumentation genutzt.

Meßbereich	Auflösung	Reproduzierbarkeit	Methode
bis 5000 nm (mit Grobphasen- schieber bis 45λ)	0,5 nm	ca. 3 nm	subjektive inter- ferometrische Messung
		bis 0,5 nm	objektive inter- ferometrische Mes- sung mit VELOMET 2 ¹⁾

- 1) VELOMET 2 ist ein leistungsfähiger elektronischer Abgleich-indikator, der die Voraussetzung für Gangunterschiedsbestimmungen mit höchster Reproduzierbarkeit schafft. Die visuell schwierige Ermittlung des Abgleichzustandes wird durch dieses Zusatzgerät mühelos und frei von subjektiven Fehlern. VELOMET 2 kann genauso wie RETARMET 2 als Zubehör für alle Interferenzmikroskope genutzt werden.

2.7. Photometrie

Photometrische Meßaufgaben können ebenfalls mit der Einrichtung VELOMET 2 oder über ein externes Photometer nach entsprechender Anpassung durchgeführt werden. Bei diesem Meßprogramm erfolgt eine automatische Falschlichtkorrektur. Die Konstante wird einmal gemessen und eingegeben. Bei Messungen wird dieser Wert vom Rechner berücksichtigt.

Meßbereich	Auflösung	Reproduzierbarkeit σ'
1 - 100 %	0,1 %	ca. 0,1 % ²⁾

2) bei entsprechender Kalibrierung und begrenzter Meßzeit

2.8. Auswertung der Meßergebnisse

2.8.1. Statistik

Folgende Statistikberechnungen mit dem RETARMET 2 liegen zugrunde:

Mittelwert der Meßergebnisse: $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n x_j$

Standardabweichung: $s = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2$

(Die Standardabweichung gibt eine Aussage über die Streuung der Meßergebnisse innerhalb einer Meßreihe)

"Halber" Vertrauensbereich σ' : $\sigma' = \frac{t}{n} \cdot s$ mit $t = f(P, n) \quad 1,96$ ³⁾

3) bei einer sehr großen Anzahl von Messungen;
t = Verteilung = modifizierte symmetrische Verteilung

(Der "Halbe" Vertrauensbereich ist der Bereich um den Mittelwert $\bar{x} \pm \sigma'$, in dem der wahre, absolut richtige Ergebniswert mit 95 % Sicherheit liegt).

Die statistische Weiterverarbeitung von Ergebnissen in übergeordneten Speichern ist ebenfalls möglich und wird vom gewählten Operationsmode beeinflusst.

2.8.2. Klassierung der Meßergebnisse

Die Klassierung dient dazu, die Häufigkeitsverteilung einer Anzahl von Meßwerten festzustellen. Es kann damit geprüft werden, wieviel Prozent der Meßergebnisse bestimmten, vorgegebenen Wertebereichen (Klassen) angehören.

Es stehen 20 Klassen mit vorwählbarer (untereinander aber gleicher) Klassenbreite zur Verfügung. Ebenfalls frei wählbar ist die Ausgangsgröße (Klassierstart) der zu klassierenden Ereignisse.

Eine grafische Darstellung der Klassierungsergebnisse kann bei Anschluß eines Druckers als Histogramm (Säulendiagramm) erfolgen.

2.8.3. Bedienkomfort

Das RETARMET 2 bietet eine anwenderfreundliche Bedienung. Es arbeitet in einem einfachen Dialogbetrieb mit dem Anwender. Eine "Symbolsprache" macht den Bedienablauf verständlicher und schnell beherrschbar. Die dazu erforderlichen Kenntnisse sind in Bedienregeln zusammengefaßt. Ein an das RETARMET 2 anschließbarer Fußschalter, der anstelle der manuellen Bedienung der Tasten "0" und "Mess" genutzt werden kann, ermöglicht die volle Konzentration auf die Meßaufgabe. Ebenfalls ist zur Arbeitserleichterung eine akustische Signalmeldung und eine akustische Vorwarnung bei sehr langen Meßzeiten möglich. Weiterhin ist eine rechnergesteuerte Tastenfreigabe von Schritt zu Schritt vorhanden, um Fehlbedienungen weitestgehend auszuschalten.

3. Auswertung eines Meßbeispiels - vergleichende Messung zwischen herkömmlicher Methode und RETARMET 2

Die Vorteile der Benutzung des RETARMET 2 an den Polarisations- und Interferenzmikroskopen ist deutlich bei den vorstehenden Abschnitten herausgearbeitet worden.

Das durchgeführte Meßbeispiel soll die Effektivität weiter unterstreichen.

Meßbeispiel -

Vergleichende Messung des polarisationsoptischen Gangunterschiedes mit EHRINGHAUS-Kompensator 0 - 6 λ mit Amplival pol d + Funktionstafel + Taschenrechner und JENAPOL d + RETARMET 2

Die Auswertung dieser Messung ergab folgende Resultate:

Mit Amplival pol sind 191 Operationen für eine Meßreihe mit 10 Messungen mit statistischer Auswertung notwendig, um den polarisationsoptischen Gangunterschied zu messen.

Die 191 Operationen setzen sich wie folgt zusammen:

31 Operationen für 2 Meßwerte

14 Operationen für jeden weiteren Meßwert

Für 10 Messungen ergibt das 143 Operationen.

Die statistische Auswertung verlangt zusätzlich 48 Arbeitsschritte.

In 23 Fällen sind Übertragungsfehler für die ersten beiden Meßwerte möglich. Es können weitere 32 Übertragungsfehler für eine Meßreihe aus 10 Messungen auftreten. Unter Übertragungsfehler werden Ablese-, Notier- und Rechenfehler verstanden.

Weitere Nachteil ist bei der "alten" Methode, daß das Statistikergebnis erst nach jeder Meßreihe bekannt ist. Es ist kein optimaler Abbruch der Meßreihe möglich, da die Entscheidung über die Fortsetzung einer Meßreihe erst nach n-Messungen möglich wird.

Die Anzahl der Operationen werden extrem reduziert bei Verwendung des JENAPOL + RETARMET 2.

So sind nur noch 4 Operationen für 2 Werte und je 2 Operationen für jeden weiteren Wert notwendig. Das ergibt für eine Meßreihe mit 10 Messungen 20 Operationen. Die statistische Auswertung liegt bei jeder Messung sofort vor. Oben genannte Übertragungsfehler können nicht mehr auftreten. Das Ablesen, Notieren, Rechnen, Dokumentieren übernimmt das RETARMET 2 mit Drucker. Bei groben Meßfehlern

kann sofort die Meßreihe korrigiert werden, weil die Standardabweichung bzw. der Vertrauensbereich ständig die Korrelation herstellen.

Wenn die Anzahl der Operationen der Methoden "alt und "neu" verglichen wird, so ergibt sich, daß der notwendige Aufwand sich nur noch auf 10 % beschränkt.

Der Aufwand könnte noch weiter gesenkt werden, weil nicht mehr so viele Messungen notwendig sind, da sich das Auge nur auf das Objekt konzentrieren muß und dadurch die Einstellsicherheit verbessert wird.

Dieses Meßbeispiel zeigt deutlich die enorme Erhöhung der Meßeffektivität durch Verwendung des RETARMET 2 in Verbindung mit den Polarisations- und Interferenzmikroskopen aus JENA.

Die Relation der notwendigen Operationen im Vergleich alt - neu wiederholt sich natürlich in ähnlicher Form bei den anderen programmierten Meßmethoden.

4. Hauptanwendungsgebiete der Interferenzmikroskope

<u>Anwendungsgebiete</u>	<u>Objekte</u>	<u>Aussagen über</u>
<u>JENAVAL interphako</u>		
Medizin	histologische und zytologische Präparate	Dicke
Biologie		Brechzahl Trockenmasse Struktur Stoffwechselfvorgänge
Chemie	Flüssigkeiten in kleinsten Mengen (ab 0,0002 ml)	Dispersion
Mineralogie		Brechzahl
Biologie		
Medizin		
Mikroelektronik	Lichtleitfasern	Brechzahl Durchmesser Schweißverbindungen
<u>JENAVERT interphako</u>		
Mikroelektronik	Siliziumoberflächen	Wachstumsstörungen Stapelfehler Bearbeitungsgüte
Mikroelektronik	Mikrostrukturen	Schichtdicken
Fotolithografie	Foto- und Lackschichten Masken	Kantenverlauf an Strukturen
Metallografie	Metalloberflächen	Ätzverhalten Korrosionsverhalten Struktur Oberfläche
Video- und schallplatten- herstellung	Schall- und Videoplatten	Güte Herstellungstechnologie

JENAPOL interphako

Das JENAPOL interphako gibt es als Durchlichtvariante und als universelles Durch- und Auflichtmikroskop. Mit dem JENAPOL u interphako können alle Aufgaben, die mit dem JENAVAL interphako, JENAVERT interphako und JENAPOL möglich sind, realisiert werden. Die Kombination des Polarisationsmikroskopes mit der Interferenzmikroskopie, wie es das JENAPOL interphako verkörpert, hat dort die Hauptanwendung, wo richtungsabhängige interferometrische Gangunterschiede gemessen werden müssen (u.a. anisotrope Fasern, Folien).

5. Zusammenfassung

Der Digitalkompensator RETARMET 2 ist gekennzeichnet durch ein wesentlich erweitertes Programm für die Struktur- und Phasenanalyse. Wie schon beschrieben wurde, können 10 Meßverfahren realisiert werden. Die Zeitersparnis und die bequeme effektive Arbeitsweise der Erfassung, Auswertung und Dokumentation der Ergebnisse sind die markanten Eigenschaften bei Verwendung des RETARMET 2. Der Digitalkompensator sollte dort Anwendung finden, wo im Routinebetrieb sehr viele Messungen notwendig sind. Rechenaufwand ist nicht mehr vorhanden. Ein Tastendruck genügt, um das Meßergebnis sofort zur Verfügung zu haben. Die Korrelation des Meßergebnisses und des Meßfehlers ist jederzeit vorhanden. Dadurch kann auch augenblicklich über den Abbruch einer Meßreihe entschieden werden, wenn grobe Meßfehler vorliegen. Es wird keine Arbeit umsonst in die Messungen investiert.

Die Bedienung ist günstig, weil sich auf das Objekt konzentriert werden kann, ohne das Auge wegzubewegen. Durch Hin- und Rückmessungen wird ebenfalls viel Zeit gespart und die Meßgenauigkeit gesteigert. RETARMET 2 verfügt über einen Datenerhalt, das ist besonders für den Kalibriervorgang wichtig. Die Betriebsdaten können wieder abgerufen werden. Besonderer Vorteil bei dynamischen Messungen ist die Zeittaktvorgabe. Das Auslösen einer Messung erfolgt automatisch in vorgegebenem Zeittakt. Der Anschluß eines Druckers zum Registrieren

der Meßwerte ist für die dynamische Meßweise eine Voraussetzung für die Einmannbedienung. Das Ablesen und Notieren der Meßergebnisse entfällt und Fehler hierbei werden vermieden.

Ebenfalls ist eine gleichzeitige Temperaturmessung und Ergebnisberechnung sowie deren Registrierung auf einem Ausdruck im Meßtakt > 2 Sekunden möglich. Die zeitliche Änderung des Gangunterschiedes oder die Änderung des Gangunterschiedes in Abhängigkeit von der Temperatur ist für viele Forschungsaufgaben von Bedeutung. Die Statistikberechnungen und die Möglichkeiten der Histogramm-Ausdrucke ermöglichen eine bequeme Arbeitsweise. Meßaufgaben lassen sich so mit einem um 90 % reduzierten Arbeitsaufwand erledigen.

Mit der Entwicklung des Digitalkompensators RETARMET 2 wurde ein zukunftsweisender Schritt zur Auswertung quantitativer polarisationsoptischer und interferometrischer Gangunterschiedsmessungen mit dem Ziel der Steigerung der Meßeffektivität und des Meßkomforts getan, der konkurrenzlos ist.

Verfasser: Helmut Meißner