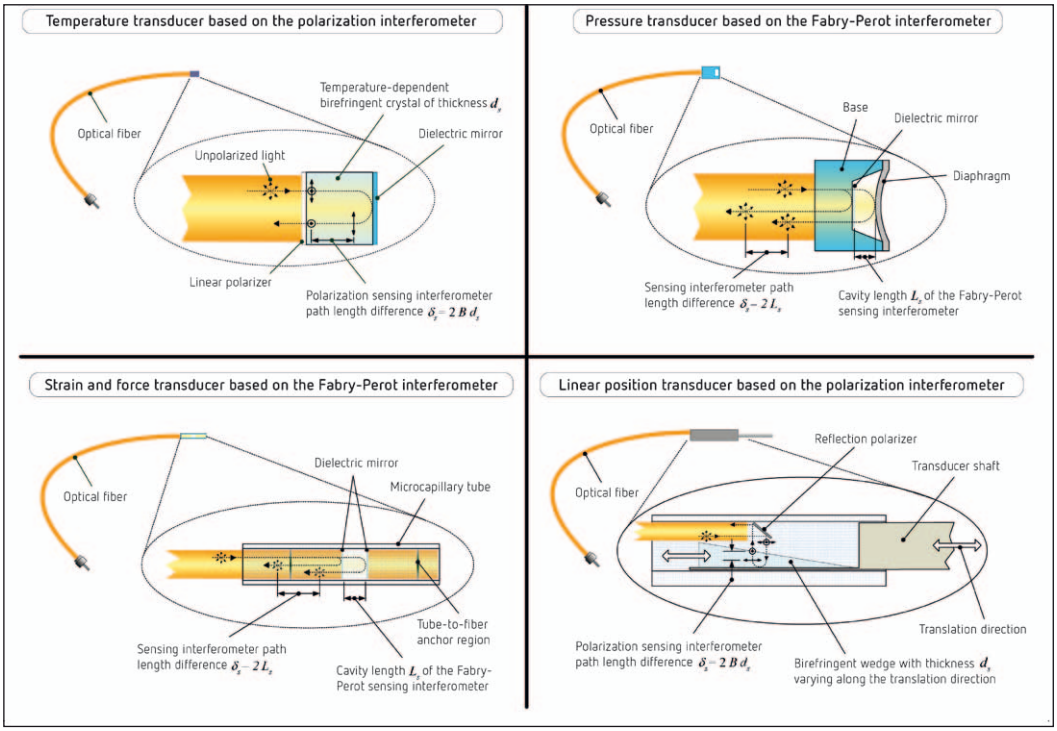
Faseroptische Sensoren in neuem Licht



Faseroptik an sich ist kein neues Thema. Seit einigen Jahren ist allerdings eine neue Technologie auf dem Markt, die Anwendern neue Möglichkeiten eröffnet. Sie basiert auf Weißlicht-Polarisations-Interferometrie (WLPI). Faseroptische Sensoren auf Basis von WLPI liefern präzise Messungen auch in anspruchsvollen Umgebungen und bieten gleichzeitig hohe Flexibilität im Sensordesign für hohe Anpassungsfähigkeit an spezifische Einsatzanforderungen.

Faseroptische Messsysteme bestehen aus zwei Hauptkomponenten, dem faseroptischen Sensor und der Signalauswerteeinheit. Hinzu kommt ein Lichtwellenleiter (LWL, Faser), der je nach eingesetzter Technologie unterschiedliche Zwecke erfüllt.

Ein faseroptischer Sensor besteht aus einem abgedichteten Gehäuse, in dem sich das optische Sensorelement befindet. Dieses Sensorelement ist bezüglich der zu erfassenden, physikalischen Messgröße empfindlich. Es existieren unterschiedliche faseroptische Messverfahren, die auf einer oder mehrerer der spezifischen Eigenschaften des Lichtes (Intensität, Phase, Polarisation und Spektrum) beruhen. Prinzipiell verändert die zu erfassende Messgröße eine oder mehrere der speziellen Eigenschaften, sodass ein verändertes Lichtsignal zurückgeworfen wird.

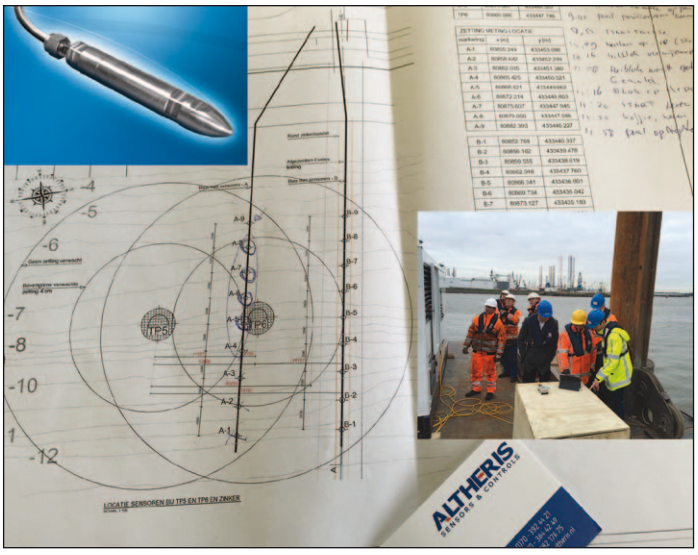
Zwei Klassen

Faseroptische Sensoren lassen sich grundsätzlich in zwei Klassen einordnen: Extrinsische und intrinsische Sensoren. Bei intrinsischen Sensoren ist der Lichtwellenleiter ein essentieller Bestandteil des Messmechanismus. Die optische Faser ist der Sensor. Faseroptische Sensoren, die auf der Faser-Bragg-Technologie beruhen sind populäre Vertreter dieser Sensorklasse.

Die extrinsischen Sensoren hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass der empfindliche Teil von der optischen Faser entkoppelt ist. Die optische Faser (LWL) dient lediglich der Übertragung des Lichtsignals zwischen Sensoreinheit und Signalauswerteelektronik. Temperatursensoren auf Basis von Galliumarsenid-Kristallen (GaAs) und auch die im Weiteren vorgestellten faseroptischen Sensoren die auf der WLPI-Technologie beruhen sind Vertreter der extrinsischen Sensorklasse.

Funktionsprinzip der WLPI-Technologie

Die von der Lichtquelle ausgesandte Lichtstrahlung trifft im Sensorkopf auf ein Interferometer mit einer definierten Hohlraumlänge. Die Hohlraumlänge bezeichnet den Abstand zwischen zwei Spiegeln, die teilweise reflektierend und teilweise durchlässig sind. Dadurch ergeben sich zwei Lichtsignale mit unterschiedlichen Weglängen. Die Hohlraumlänge und damit wiederum die Weglänge des Lichtsignals sind eine Funktion der Messgröße. Anhand eines Drucksensors mit einer biegsamen Membran an der Sensorspitze wird deutlich, dass Druckänderungen die Durchbiegung der Membran verändern und somit die Hohlraumlänge. Die reflektierten Lichtsignale werden zurück in die Auswerteeinheit geleitet, in der sich ein weiteres Interferometer befindet. Dort kommt es an der Stelle, an der die Hohlraumlängen



Autor:

Michael Schenker, Product Manager Fiber Optic Sensors bei Althen

beider Interferometer ähnlich sind, zu örtlich begrenzten Interferenzeffekten des Lichtsignals. Das maximale Interferenzsignal ist an der Stelle zu finden, an der die Hohlraumlängen beider Interferometer identisch sind.

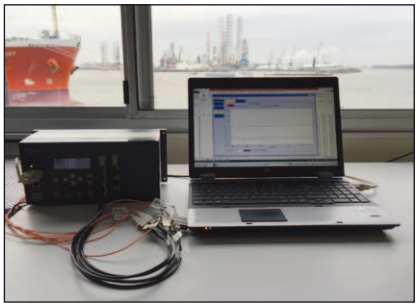
Die Hohlraumlänge des Auswerte-Interferometers ist präzise auf die Positionen eines CCD-Sensors abgestimmt. Dadurch können Hohlraumlängen in Nanometer einem Pixel auf dem CCD-Sensor zugeordnet werden. Um die Auflösung im Sub-Pixel Bereich zu ermöglichen, erfolgt eine digitale Signalverarbeitung nach einem geschützten Verfahren. Die Echtzeitmessung der Position des Interferogramm-Spitzenwertes liefert eine eindeutige und präzise Messung der Hohlraumlänge des Interferometers im Sensor. Entsprechend den Kalibrierwerten des Sensors (nm zu kPa) erfolgt durch die Auswerteeinheit die einfache Umwandlung der Hohlraumlänge des Sensors in einen Druckmesswert.

Die WLPI-Technologie basiert also auf der Positionsbestimmung eines Signalspitzenwertes und wird, im Gegensatz zu den meisten Messverfahren, nicht durch Veränderungen der Lichtintensität beeinflusst. Daher ist dieses Verfahren robuster gegenüber Störeffekten wie beispielsweise optischen Verlusten durch Steckverbindungen, Biegung der Faser oder Verdunkelung aufgrund von Reaktionen mit Wasserstoff. Da das Weißlicht über ein breitbandiges Spektrum verfügt, können mögliche Verluste beispielsweise durch OH-Absorptionslinien, die bestimmte Wellenlängen betreffen, verkraftet werden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen schematische Darstellungen des Sensordesigns für die entsprechende Messgröße (Temperatur, Druck, Dehnung / Kraft und Weg). Für alle Varianten gilt das oben erläuterte Funktionsprinzip.

Vorteile von WLPI

Gegenüber elektronischen Sensoren bieten faseroptische Sensoren generell einige große Vorteile, beispielsweise ihre Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen und Hochspannungen. Sie sind eigensicher, unempfindlich gegenüber Blitzeinschlägen und können mit kleinsten Abmessungen ausgeführt werden. WLPI hat darüber hinaus insbesondere gegenüber konventionellen faseroptischen Technologien wie zum Beispiel auf Faser Bragg beruhende Sensoren weitere Vorteile.



• Einfachere Installation / Handhabung

Im Gegensatz zur Faser-Bragg-Technologie haben die Lichtwellenleiter in der WLPI-Technologie nur die Aufgabe, das Lichtsignal zwischen Sensor und Auswerteeinheit zu übertragen. Daher kann der Lichtwellenleiter mühelos in der Länge angepasst werden, eine Spleißung ist nicht notwendig. Dazu stehen optische Verlängerungskabel zur Verfügung, die sich über Steckanschlüsse miteinander verbinden lassen. Die Montage kann je nach Applikation zum Beispiel durch Punktschweißung, Klebung oder auch durch vollständige Integration in einem Bauteil oder einer Konstruktion erfolgen.

• Einfachere Anpassung an die Anforderung

Für die Messgrößen Dehnung, Druck, Weg und Temperatur stehen einige Standard-Sensoren zur Verfügung. Diese Sensoren werden stets an die Anforderung der Anwendung angepasst, um sowohl eine optimale Funktion als auch Schutz des Sensors zu gewährleisten. Das Sensordesign eines Drucksensors zur Überwachung eines Treibstofffüllstandes unterscheidet sich sehr von einem Sensor der an die rauen Bedingungen und hohen Temperaturen in der Tiefe einer Ölquelle angepasst wurde, obwohl die Funktionsweise und die verwendete Technologie identisch sind.

• Höhere Stabilität

Schwankungen der Lichtintensität haben keine Auswirkungen auf die WLPI-Sensoren, da ihre Funktion nicht auf Intensitätsänderungen beruht, sondern auf der Weglängenänderung im Interferometer. Dadurch können sich optische Verluste, beispielsweise aufgrund von Verlusten im Stecker, Bewegung oder Biegung der Faser nicht auf die Leistungsfähigkeit des Systems auswirken. Der extrinsische Charakter der WLPI-Technologie ist insbesondere für die faseroptische Dehnungsmessung relevant, da die WLPI-Sensoren im Gegensatz zu Faser-Bragg-Sensoren unempfindlich gegen Querdehnungen sind. Zudem entfällt die bei Fiber-Bragg-Sensoren notwendige Temperaturkompensation.

• Höhere Zuverlässigkeit und Sicherheit

Bei durchgängiger Nutzung des Systems mit der maximalen Lichtintensität beträgt der MTBF-Wert 100.000 Stunden. In der Praxis wird die Lichtquelle nur sehr selten oberhalb von 50% der maximalen Intensität betrieben. Auch hinsichtlich der erzeugten Energie ist die WLPI sicherer als Laser basierte faseroptische Messverfahren. Für den Fall, dass die Lichtquelle mit maximaler Intensität arbeitet und die Länge des LWL auf 1 cm begrenzt betrüge, wäre die maximal messbare Intensität am Ende der Faser kleiner als einige Mikrowatt. Im Vergleich dazu kann ein Laser im Störfall eine Leistung von einigen hundert Milliwatt abgeben.

• Wartungsfrei

Eine breitbandige Lichtquelle wie sie für die WLPI-Technologie verwendet wird, muss nicht kalibriert werden. Bei Laser basierten faseroptischen Verfahren wie beispielsweise der Faser-Bragg-Technologie müssen regelmäßige Wartungen und Kalibrierungen erfolgen, um das Driftverhalten zu kompensieren und die Wellenlänge und Intensität zu korrigieren.

• Vielseitig dank leichter und kleiner Bauweise

Die WLPI-basierten Sensoren können in sehr kleinen Abmessungen ausgeführt werden. Zudem lassen sich alle Komponenten die zur Signalauswertung benötigt werden auf einem Modul unterbringen, dass in etwa die Größe einer Kreditkarte aufweist. Es ist möglich, mit der gleichen Signalauswerteeinheit alle angebotenen Messgrößen zu erfassen.

Einsatz in der Industrie

In den unterschiedlichsten industriellen Anwendungen ist der Einsatz von Messtechnik notwendig, um Prozess und Umgebungsparameter zu überwachen. Konventionelle elektronische Sensoren stoßen häufig an die Grenzen der Technologie, da Störeffekte wie hohe Spannungen oder EMI die Funktionsfähigkeit der Systeme einschränken. Besonders in diesen Anwendungen können die faseroptischen Produkte mit WLPI-Technologie neue Möglichkeiten schaffen, um verlässliche Messungen zu realisieren.

■ *ALTHEN GmbH*
Mess- u. Sensortechnik
www.althen.de