

(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2011 121 118 B3** 2013.06.13

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 121 118.0**

(22) Anmeldetag: **14.12.2011**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **13.06.2013**

(51) Int Cl.: **G01N 21/23 (2012.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Westsächsische Hochschule Zwickau, 08056,  
Zwickau, DE**

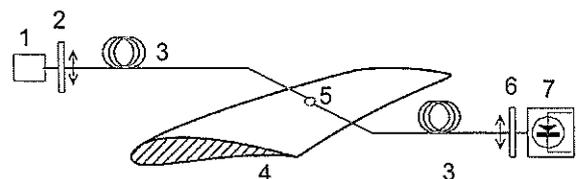
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**siehe Folgeseiten**

(72) Erfinder:

**Taudt, Christopher, 08280, Aue, DE; Hartmann,  
Peter, 07973, Greiz, DE; Baselt, Tobias, 08056,  
Zwickau, DE**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur in-situ spannungsoptischen Erfassung von Belastungszuständen und belastungsbedingten Schädigungen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein messtechnisches optoelektronisches Verfahren zur direkten spannungsoptischen Erfassung von Belastungszuständen und belastungsbedingten Schädigungen von Bauteilen und Materialverbunden, bei welchen mindestens ein Werkstoff spannungsdoppelbrechend ist, wie z. B. Faserverbundwerkstoffen, Klebeverbindungen und Beschichtungen. Die Erfindung ermöglicht die in-situ Messung mechanischer Belastungszustände und Beschädigungen über die Auswertung der Veränderung des Polarisationszustandes vom im Bauteil geführten Licht im UV-, VIS- und NIR-Bereich. Typischerweise besteht der Messaufbau aus einer fasergekoppelten Lichtquelle (z. B. Laserdiode, Superkontinuumsquelle, LED) [1] welche gegebenenfalls durch einen Polarisator [2] beliebig polarisiert werden kann. Über eine polarisationserhaltende Koppelfasern [3] wird das Messlicht in das zu überwachende Bauteil [4] oder den Materialverbund eingekoppelt. In den Messstellen [5] wird das Licht im Bauteil geführt. Das modifizierte Messlicht wird über die polarisationserhaltenden Koppelfasern [3] zur mehrkanaligen Detektoreinheit bestehend aus Polarisationsfilter [6] und Fotodetektor [7] geleitet.



(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2011 121 118 B3 2013.06.13

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	31 42 392	C2
DE	100 04 384	C2
DE	10 2008 001 291	B3
DE	10 2009 013 878	B3
DE	195 29 899	A1
DE	10 2006 054 502	A1
US	4 886 361	A
US	5 399 854	A
WO	97/ 37 197	A1
WO	2006/ 127 034	A2

FÖPPL, L. et al: Praktische Spannungsoptik;  
Springer; Auflage: 3., völlig Neubearb. Aufl. (15.  
Mai 1972), ISBN-10: 3540055347, ISBN-13: 978-  
3540055341.

Heinrich, Michael [u. a.]:  
Faserkunststoffverbunde mit integrierter  
Zustandsüberwachung in Echtzeit (FiZ-E). In:  
Mikrosystemtechnik Chemnitz '09 : 9. Chemnitzer  
Fachtagung Mikromechanik & Mikroelektronik, 5./  
6. November 2009. Chemnitz : Techn. Univ., 2009.  
S. 12-16. - ISBN 978-3-00-029135-7.

KOBAYASHI, A. S.: Handbook on Experimental  
Mechanics; Prentice-Hall; Auflage: Subsequent  
(Januar 1987), ISBN-10: 0133777065, ISBN-13:  
978-0133777062.

MACICIOR, H. et al: Low cost pressure sensors  
for impact detection in composite structures;  
Procedia Engineering 5 (2010) 641–644.

Mäder, T. ; nestler, D. ; Wielage, B, C. [u.  
a.]: Entwicklung eines magnetoelastischen  
Dehnungssensors zur Integration in  
Verbundwerkstoffe. In: Tagungsband  
zum 18. Symposium Verbundwerkstoffe  
und Werkstoffverbunde. Chemnitz,  
2011 (Schriftenreihe Werkstoffe und  
werkstofftechnische Anwendungen ; 41) S. 303-  
313. - ISBN 978-3-00-033801-4.

PROPER, A. et al: In-Situ Detection of  
Impact Damage in Composites Using Carbon  
Nanotube Sensor Networks; Nanoscience  
and Nanotechnology Letters, Vol.1, 3–7, 2009.

**Beschreibung**

## Technisches Gebiet

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein messtechnisches optoelektronisches Verfahren zur direkten spannungsoptischen Erfassung von Belastungszuständen und belastungsbedingten Schädigungen von Bauteilen und Materialverbunden, bei welchen mindestens ein Werkstoff spannungsdoppelbrechend ist, wie z. B. Faserverbundwerkstoffen, Klebeverbindungen und Beschichtungen. Die Erfindung ermöglicht die in-situ Messung mechanischer Belastungszustände und Beschädigungen über die Auswertung der Veränderung des Polarisationszustandes vom im Bauteil geführten Licht im UV-, VIS- und NIR-Bereich. Insbesondere können folgende Aspekte erfasst werden:

- a) die Messung äußerer Einflussgrößen, wie Zug-, Druck-, Scher- und Biegekräfte
- b) die Analyse der inneren und äußeren Bauteilverformung
- c) die Analyse mechanischer Schwingungen
- d) der mechanische Bruch oder der unmittelbar bevorstehende mechanische Bruch
- e) Schädigung infolge Überbelastung an Grenzflächen
- f) Temperaturgradienten infolge innerer Reibung an Schädigungsstellen
- g) Veränderungen des Materialverhaltens infolge Alterung/Versprödung

## Stand der Technik

**[0002]** Die in-situ Belastungsüberwachung (Structural Health Monitoring) von Faserverbundkunststoffen bzw. von Bauteilen aus Verbundwerkstoffen ist eine bewährte Methode Mikroschäden während der Nutzungsdauer aufzuzeigen und daraus Vorhersagen über eine mögliche plötzliche Bauteilversagen abzuleiten (Mäder, T. et. Al.: „Entwicklung eines magnetoelastischen Dehnungssensors zur Integration in Verbundwerkstoffe“, in Tagungsband 18. Symposium Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, DGM, Chemnitz, 2011). Für zahlreiche Anwendungsfälle ist die in-situ Messung unterschiedlicher äußerer Belastungsfaktoren (mechanische Kräfte, Druck, Temperatur) unabdingbar. Letztlich ist die sichere Detektion eines Bauteilbruchs oder eines unmittelbar bevorstehenden Bauteilbruchs wesentlich.

**[0003]** Etablierte Verfahren zur Belastungsüberwachung von Verbundwerkstoffen nutzen elektrische und magnetische Prinzipien z. B. in Form von Dehnungsmessstreifen (Heinrich, M. et. Al.: „Faserverbundwerkstoffe mit integrierter Zustandsüberwachung in Echtzeit“, in Tagungsband 9. Chemnitzer Fachtagung Mikromechanik & Mikroelektronik, Chemnitz, 2009; Proper, A. et. al.: „In-Situ Detection of Impact Damage in Composites Using Car-

bon Nanotube Sensor Networks“, Nanoscience and Nanotechnology Letters Vol. 1, 3–7, 2009; Macicior, H. et. al.: „Low cost pressure sensors for impact detection in composite structures“, Procedia Engineering 5 (2010) 641–644; Offenlegungsschrift DE 10 2006 054 502 A1 „Verfahren zum Herstellen einer Signalstruktur“, 2008, Chemnitz). Der entscheidende Nachteil dieser Technik ist die äußere Beeinflussbarkeit durch elektrische bzw. magnetische Störfelder. Darüber hinaus erfordern derartige Sensoren eine aufwendige Kapselung oder sind nur auf der Außenseite des zu überwachenden Bauteils anbringbar.

**[0004]** Bekannt sind mehrere Lösungsvarianten mit faseroptischen Sensoren. Entsprechende Lösungen nutzen z. B. Bragg-Gitter, welche direkt in die Messfaser eingeschrieben werden. Bauteilbelastungen sind in diesem Falle als Veränderung der Gitterkonstante messbar (US Patent 5399854 „Embedded optical sensor capable of strain and temperature measurement using a single diffraction grating“, 1995, Hartford). Allerdings besitzen diese Techniken den entscheidenden Nachteil, dass die Messung nur in der Region unmittelbar um die Messfaser erfolgt. Die Überwachung größerer Areale des Bauteils ist damit insbesondere in Verbundmaterialien regelmäßig nicht möglich.

**[0005]** Andere optische Sensoren nutzen interferenzoptische Beschichtungen auf dem zu überwachenden Bauteilen zur Detektion von Beschädigungen und mechanischen Belastungen (Patent DE 10 04 384 C2 „Anordnung und Verfahren zur Erfassung von Dehnungen und Temperaturen und deren Veränderungen einer auf einem Träger, insbesondere einem aus Metall, Kunststoff oder Keramik bestehenden Träger, applizierten Deckschicht“, 2003, Hamburg; Patent DE 3142392 C2 „Rißdetektor zum Feststellen von Rissen in einem zu überwachenden Bauteil“, 1989, Ottobrunn). Außerdem sind verschiedene Sensoren auf Basis von Lichtleitfasern bekannt, welche durch eine interferometrische Auswertung der Messlichtes Dehnungs- und/oder Belastungskenngrößen ermitteln (Patent US 4 886 361 A1 „Flat Tactile Sensor“, 1988, Braunschweig; Offenlegungsschrift WO 2006/127 034 A2, „Embeddable polarimetric fiber optic sensor and method for monitoring of structures“, 2005, Huntsville; Offenlegungsschrift WO 97/37 197 A1 „Sensor System“, 1996, Farnborough)

**[0006]** Die Nutzung spannungsoptischer Zustände zur Analyse der Belastungssituation von transparenten Bauteilen aus verschiedenen Kunststoffen ist aus der experimentellen Spannungsanalyse von Bauteilen und Baugruppen sowie verschiedenen Publikationen bekannt (Offenlegungsschrift DE 195 29 899 A1 „Verfahren zur automatischen und berührungslosen Messung der Doppelbrechung von Filamenten in Kleinräumen“, 1995, Rudolstadt;

Patent DE 10 2009 013 878 B3 „Sensoranordnung und Detektionsverfahren“, 2012, Berlin; Patent DE 10 2008 001 291 B3 „Hochpräzises Messverfahren zur Bestimmung von Materialspannungen“, 2008, Mainz; Kobayashi, A. S.: "Handbook an experimental mechanics", New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1987; Föppl, L., Mönch, E.: "Praktische Spannungsoptik" Springer, Berlin-Heidelberg, 1972)

#### Aufgabenstellung

**[0007]** Es besteht die Aufgabe, Belastungszustände und belastungsbedingte Schädigungen von Bauteilen und Materialverbunden, bei welchen mindestens ein Werkstoff spannungsdoppelbrechend ist, in-situ zu erfassen und Materialermüdung, Materialveränderungen und Belastungsbrüche bzw. unmittelbar bevorstehende Belastungsbrüche zu detektieren. Das Verfahren sollte Belastungen bzw. Belastungsspitzen und vor allem Schädigungen (Risse, beginnende Delamination usw.) an der Verbindung von Faser und Matrix (Faser-Matrix-Grenzfläche) aber auch an der Übergangsstelle zwischen unterschiedlichen Materialien (Klebeverbindungen und Beschichtungen) erfassen können. Aus den lokalen Messwerten soll auf den Bauteilzustand im Globalen geschlossen werden können. Das Verfahren soll dauerhaft Schädigungsförpflanzungen detektieren (lebensdauerlange Aufzeichnung der Belastungszustände) und daraus Aussagen zur aktuellen Betriebsfestigkeit des überwachten Bauteils liefern können. Zusätzlich sollen Aussagen über lokale Erwärmungen bedingt z. B. durch Reibung an Schädigungsstellen und Rissen gewonnen werden können.

#### Offenbarung der Erfindung

**[0008]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einem Verfahren realisiert, bei dem das Licht einer oder mehrerer geeigneter Lichtquellen entweder direkt oder über ein Lichtleitkabel an einer oder mehreren Stellen in das spannungsdoppelbrechende Material bzw. Bauteil aus spannungsdoppelbrechenden Material eingeleitet wird. Das Licht wird direkt im Bauteil bzw. in bestimmten Schichten des Bauteils oder Materialverbundes geführt. Dabei kann das Licht im gesamten Volumen des Materialverbundes bzw. Bauteils oder in ausgewählten Bereichen des Bauteilvolumens geführt werden. Das durch unterschiedliche optische Effekte, insbesondere aber Spannungsdoppelbrechung, modifizierte Licht wird an einer oder mehreren Stellen des Bauteils oder Materialverbundes polarisationssensitiv detektiert.

**[0009]** Die Lichtquelle wird erfindungsgemäß in der Arbeitswellenlänge und der Intensität an den Werkstoff des zu überwachenden Bauteils bzw. Materialverbundes angepasst. Zum Einsatz kommen monochromatische Lichtquellen (vorzugsweise Laserdioden, Lumineszenzdioden (LED)), polychromatische

Lichtquellen (gekoppelte Laserdioden, LED) oder Breitbandlichtquellen (Glühlampe, Gasentladungslampen, Superkontinuum). Die Lichtquellen strahlen entweder kontinuierlich oder sind pulsformig moduliert. Zum Einsatz kommen Lichtquellen mit unterschiedlichem Polarisationszustand und Wellenlängen vom UV-Bereich über den sichtbaren Spektralbereich bis in den IR-Bereich.

**[0010]** Die Einkopplung des Messlichtes in das zu überwachende Bauteil bzw. den Materialverbund erfolgt vorzugsweise über eine polarisationserhaltende Lichtleitfaser (siehe Ausführungsbeispiel 1). Alternativ kann die Lichtquelle (z. B. Laserdiode) direkt in das Bauteil integriert werden (siehe Ausführungsbeispiel 2).

**[0011]** Das an einer oder mehreren Stellen detektierte Messlicht wird vorzugsweise mit einer polarisationserhaltenden Faser zu einer externen Detektoreinheit geleitet. Die Detektoreinheit besteht vorzugsweise aus einem verstellbaren Polarisationsfilter und einem Fotodetektor (z. B. APD). Das elektronische Messsignal wird entweder direkt oder nach einer zeitlichen Differentiation vorzugsweise von einer Mikrocontrollereinheit mit AD-Wandler ausgewertet. Im Falle des Einsatzes von modulierten Lichtquellen erfolgt die Datenaufnahme synchron zur Modulation der Lichtquelle (vorzugsweise durch phasenempfindliche Gleichrichtung).

**[0012]** Alternativ kann der Polarisationsfilter und der Detektor oder die gesamte Detektoreinheit (Polarisationsfilter, Detektor, Mikrocontroller) in das Bauteil integriert werden.

**[0013]** Die Information über den Bauteilzustand (siehe Aufgabenstellung) wird entweder aus der Signalintensität oder dem zeitlichen Verlauf der Signalintensität (erste zeitliche Ableitung) gewonnen. Je nach zu analysierender Messgröße (Belastungsart) ist eine Kalibrierung des Messaufbaues notwendig.

**[0014]** In einer Ausführung der Erfindung ist der gesamte Messaufbau in das Bauteil oder den Materialverbund integriert. Das Messsignal wird entweder drahtgebunden oder drahtlos aus dem Bauteil zur externen Auswerteeinheit übertragen. Die Energieversorgung erfolgt extern, über eine interne Batterie oder z. B. über ein Solarmodul mit Stützbatterie.

**[0015]** In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Signalgewinnung über ein oder mehrere Paare von polarisationserhaltenden Lichtleitkabeln welche in das Bauteil an der zu überwachenden Stelle integriert werden (siehe Ausführungsbeispiel 1). Über die Lichtleitkabel wird das Messlicht in das Bauteil eingebracht und das Messsignal abgenommen. Überwacht wird der Bereich zwischen den Enden der beiden Lichtleitkabel im Bauteil

oder Materialverbund. Optional sind die Enden der Lichtleitkabel mit mikrooptischen Bauteilen, wie z. B. Linsen versehen.

#### Ausführungsbeispiele

**[0016]** Die Erfindung kann in unterschiedlichen Varianten realisiert werden. In einer bevorzugten Variante wird das Messlicht über ein oder mehrere im Bauteil integrierte Lichtleitkabel in die zu überwachen Bereiche des Bauteils eingebracht (**Fig. 1**). Eine weitere bevorzugte Variante der Erfindung nutzt eine oder mehrere bauteilinterne Lichtquellen und bauteilinternen Fotodetektoren (**Fig. 2**). Ebenso bevorzugt ist die Kombination beider Varianten (jeweils die Lichtquellen oder die Detektoren sind über polarisationserhaltende Lichtleitkabel angeschlossen).

**[0017]** Die **Fig. 1** zeigt eine Ausführung der Erfindung als fasergekoppelte Variante. Bestehend aus einer fasergekoppelten Lichtquelle (z. B. Laserdiode, Superkontinuumsquelle, LED) [1] welche gegebenenfalls durch einen Polarisator [2] beliebig polarisiert werden kann. Ein Modulator/Multiplexer [3] moduliert das Licht um es gegenüber Störlicht auszuzeichnen und verteilt es auf die Messkanäle. Alternativ kann die Messlichtquelle für jeder Messkanal separat ohne Multiplexer ausgeführt sein. Über die polarisationserhaltenden Koppelfasern [4] wird das Messlicht in das zu überwachende Bauteil [5] eingekoppelt. In den Messstellen [6] wird das Licht im Bauteil geführt. Das durch belastungsabhängige optische Effekte (in der Regel Spannungsdoppelbrechung) wird das Messlicht in den Messstellen in der Intensität und im Polarisationszustand modifiziert. Das modifizierte Messlicht wird über die polarisationserhaltenden Koppelfasern [4] zur mehrkanaligen Detektoreinheit geleitet. Die Detektoreinheit besteht aus dem Demultiplexer [7] einem Polarisationsfilter [8] und einem Fotodetektor [9] (in der Regel APD-Detektor). Alternativ kann die Detektoreinheit für jeden Kanal separat ohne Demultiplexer ausgeführt sein. Das elektronische Messsignal wird in der Detektoreinheit digitalisiert und in einem Mikrocontroller ausgewertet. Ausgewertet wird jeweils das elektronische Messsignal und die erste zeitliche Ableitung des elektronischen Messsignals.

**[0018]** Die **Fig. 2** zeigt eine Ausführung der Erfindung mit integrierter Lichtquelle und integriertem Fotodetektor. In dieser Ausführungsvariante der Erfindung wird eine polarisierte Lichtquelle [2], vorzugsweise eine modulierte Laserdiode oder eine modulierte Lumineszenzdiode (LED) mit Polarisator direkt in das Bauteil [3] integriert. Die Ansteuerung der Lichtquelle erfolgt über ein externes Steuergerät [1]. In einer alternativen Ausführung kann das Steuergerät [1] auch direkt in das Bauteil integriert werden. Das Messlicht wird im Matrixteil des Bauteiles [3] (siehe auch [3a]) geführt und dabei in der Intensität und

im Polarisationszustand verändert. Das veränderte Messlicht wird von einem oder mehreren in das Bauteil integrierten Fotodetektoren [5] mit vorgeschaltetem Polarisationsfilter [4] detektiert. Die extern angeschlossene oder alternativ direkt in das Bauteil integrierte Auswerteeinheit mit Mikrocontroller [6] digitalisiert und differenziert das elektronische Messsignal. Im Falle der direkten Integration der Auswerteeinheit in das Bauteil wird die Messinformation über eine Funkschnittstelle ausgegeben.

**[0019]** Alternative Realisierungsvarianten bestehen aus einer Kombination der Varianten 1 und 2. Dabei können entweder die Lichtquellen oder Detektoren über polarisationserhaltende Lichtleitfasern an das Bauteil angeschlossen werden, während die jeweils andere Einheit (Lichtquelle oder Detektor) direkt in das Bauteil integriert wird.

**[0020]** Die **Fig. 3** zeigt die Realisierung der Erfindung im Fall der Überwachung einer Klebeverbindung. In dieser Ausführungsvariante wird das Messlicht [1] mit optionalem Polarisator [2] über eine polarisationserhaltende Lichtleitfaser [3] direkt in die Klebeschicht [4] eingebracht. An gegebenenfalls mehreren Stellen der Klebeverbindung [4] wird das Messlicht über polarisationserhaltende Lichtleitfasern [3] zur Detektoreinheit [6] mit Polarisationsfilter [5] geführt und vorzugsweise in einer Mikrocontrollereinheit ausgewertet.

**[0021]** In allen Realisierungsvarianten müssen die Anzahl der Lichtquellen und die Anzahl der Detektoreinheiten nicht notwendigerweise übereinstimmen.

#### Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur in-situ Erfassung von Belastungszuständen, insbesondere Spitzenbelastungen oder belastungsbedingten Schädigungen durch die zeitrelative Detektion des Intensitätssignals von vorpolarisiertem Licht, welches im UV-, VIS- und NIR-Bereich vorliegen kann, nach dem Durchlaufen durch ein Bauteil aus mindestens einem spannungsdoppelbrechendem Material, vorzugsweise in Form eines Faserverbundwerkstoffes, einer Klebeverbindung oder einer Beschichtung, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswertung alternativ oder summarisch den zeitlichen Verlauf der Signalintensität und eine oder mehrere zeitliche Ableitungen der Signalintensität umfasst und somit in Abgrenzung zu anderen Verfahren die Änderung des Polarisationszustandes des Lichtes als Änderung des mechanischen Spannungszustandes erfasst und nicht den Betrag der mechanischen Spannung oder Dehnung auf Basis einer spannungsoptischen oder interferometrischen Messung ermittelt.

2. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Bauteil im Speziellen

aus mindestens einem spannungsdoppelbrechenden Material besteht und vorzugsweise in Form eines Faserverbundwerkstoffes, einer Klebeverbindung oder einer Beschichtung vorliegt und als lichtleitendes, im Sinne des Verfahrens sensitives und gleichzeitig als mechanisch belastbares Element fungiert, während alle anderen in das Bauteil möglicherweise eingebrachten Elemente wie Lichtleiter, Lichtquellen, Detektoren, Polarisationsfilter nur ihrem ursprünglich vorgesehenen Zweck dienen und keine Sensitivität im Sinne des Verfahrens nach Anspruch 1 besitzen.

3. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zur Umsetzung nötigen Komponenten wie z. B. Lichtleiter, Lichtquellen, Detektoren, Polarisationsfilter integraler Bestandteil des zu überwachenden Materialverbundes oder des zu überwachenden Bauteiles sind, dabei werden im gesamten Volumen des Materialverbundes oder des Bauteils oder in ausgewählten Bereichen des Bauteilvolumens wie z. B. Grenzflächen insbesondere zeitlich-dynamische, mechanische wie auch thermische Einflussgrößen, wie zum Beispiel Zug-, Druck-, Scher- und Biegekräfte, innere und äußere Verformungen, mechanische Schwingungen erfasst und die Detektion mechanischer Brüche oder unmittelbar bevorstehender mechanischer Brüche, Schädigungen infolge Überbelastung an Grenzflächen, Temperaturgradienten infolge innerer Reibung an Schädigungsstellen und Veränderungen des Materialverhaltens infolge Alterung und daraus resultierender Versprödung erreicht.

4. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung dauerhaft, d. h. über die gesamte Lebensdauer des Materialverbundes oder des Bauteils realisiert wird und der gespeicherte Verlauf der Messgrößen unter Umständen in Verbindung mit anderen Daten eine stetige Bewertung des Istzustandes ermöglicht.

5. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sowohl die Messlichtquellen als auch die Detektoren über eine Multiplexeinheit summarisch angesteuert werden und über eine drahtgebundene oder drahtlose Schnittstelle die Messinformation nach außen weiterleitet wird.

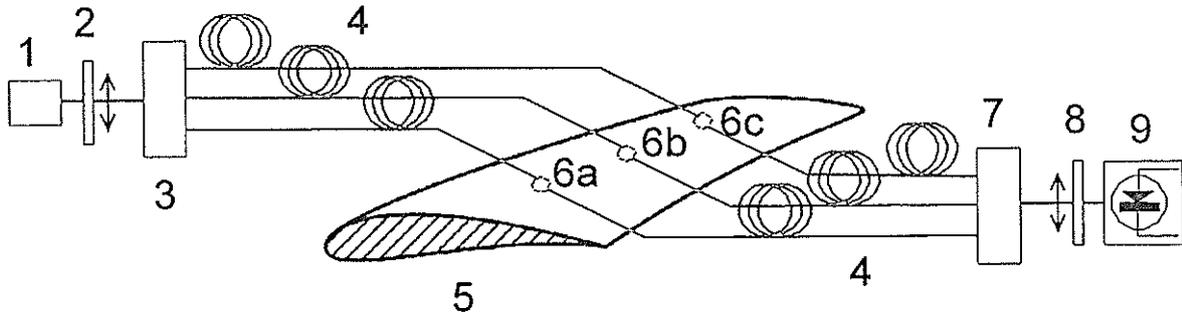
6. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messlichtquellen monochromatisch, polychromatisch oder breitbandig sind und in der Polarisation, der Intensität, der Wellenlänge und der spektralen Bandbreite sowie in der zeitlichen Modulation an das zu untersuchende Material und die jeweilige Messaufgabe angepasst sind.

7. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Messstellen und die Größe des überwachten Materialvolumens oder Bauteilvolumens nicht begrenzt sind.

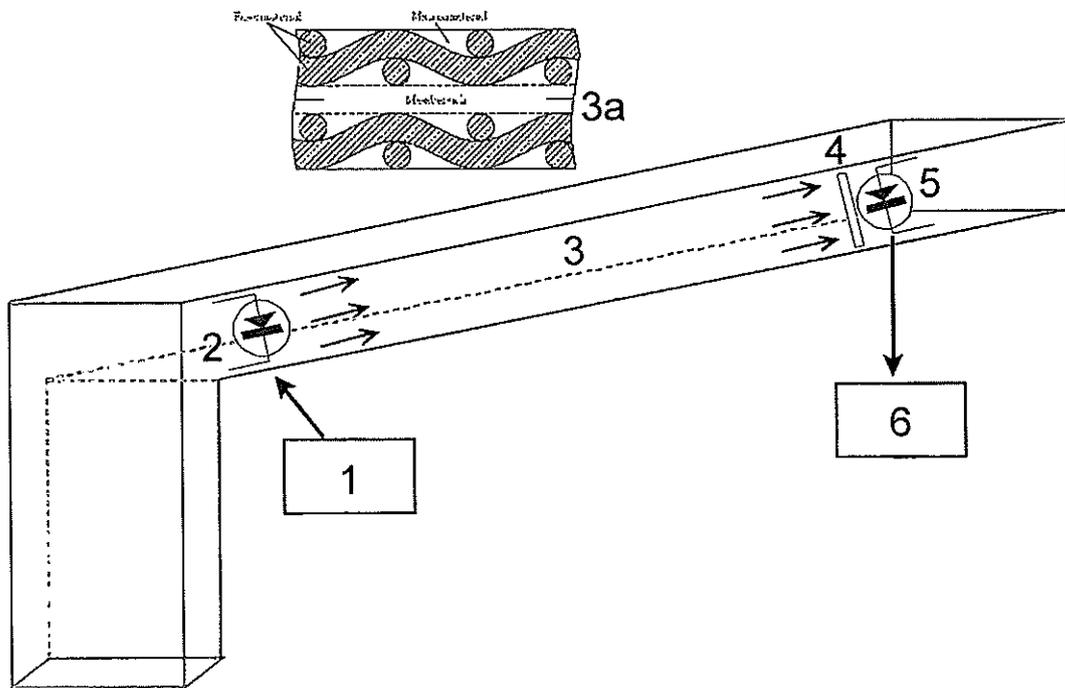
8. Ein Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messlichtquellen und die Detektoren alternativ über polarisationserhaltende Lichtleitkabel oder direkt in das Bauteil oder den Materialverbund eingebunden sind und dass die Enden der polarisationserhaltenden Lichtleitkabel mit mikrooptischen Bauteilen modifiziert sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

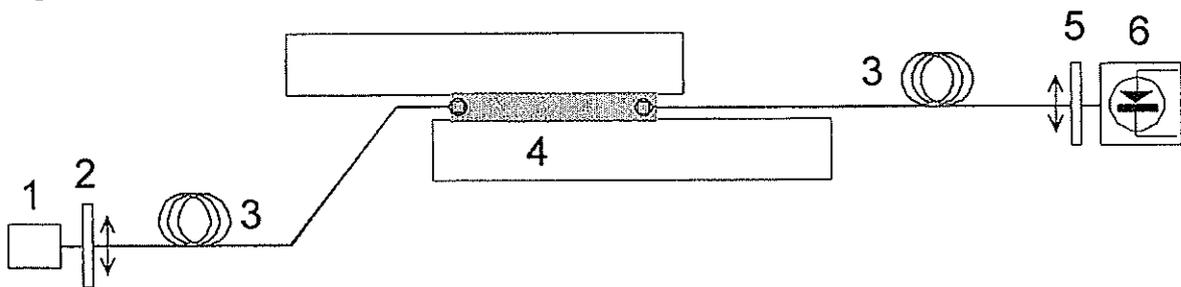
Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2



Figur 3