



(10) **AT 516158 B1 2016-03-15**

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50727/2014
(22) Anmeldetag: 10.10.2014
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2016

(51) Int. Cl.: **G01B 11/16** (2006.01)
E21D 5/10 (2006.01)
E21D 11/00 (2006.01)

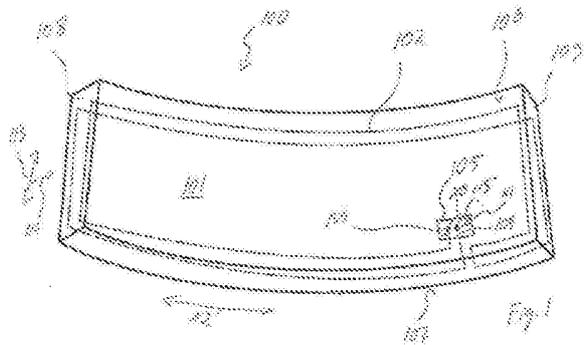
(56) Entgegenhaltungen:
JP 2008175562 A
JP 2003247814 A
KR 100755469 B1
JP 2002062119 A
CN 103604384 A

(73) Patentinhaber:
Technische Universität Graz
8010 Graz (AT)
Montanuniversität Leoben
8700 Leoben (AT)

(72) Erfinder:
Lienhart Werner Dipl.Ing. Dr.techn.
8010 Graz (AT)
Galler Robert Dipl.Ing. Dr.mont.
8700 Leoben (AT)

(54) Tübbingelement mit Dehnungsmessung

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Tübbingelement (100) für eine Tübbinganordnung (600) zur Innenausschalung eines Tunnels. Das Tübbingelement weist einen Tübbingkörper (101) und ein faseroptisches Kabel (102) auf, welches an dem Tübbingkörper (101) derart befestigt ist, dass eine Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) auf das faseroptische Kabel (102) übertragbar ist. Das faseroptische Kabel (102) erstreckt sich entlang einer Messstrecke (401) entlang des Tübbingkörpers (101), wobei das faseroptische Kabel (102) entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper (101) verbunden ist. Das faseroptische Kabel (102) ist an eine optische Messeinrichtung (701) zum optischen Messen einer Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) entlang der gesamten Messstrecke (401) anschließbar, wobei die Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) indikativ für die Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) ist.



Beschreibung

TÜBBINGELEMENT MIT DEHNUNGSMESSUNG

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Tübbingelement für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels. Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Messung einer Dehnungsänderung eines Tübbingelements für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Im Tunnelbau, insbesondere bei Einsatz eines kontinuierlichen Tunnelvortriebs, werden von einer Tunnelbohrmaschine zur Versteifung des Tunnels vorgefertigte Betonsegmente (sog. Tübbinge) verlegt. Mehrere Tübbinge ergeben einen kraftschlüssigen geschlossenen Tübbing-Ring.

[0003] Der gesamte Tunnel setzt sich aus einer Vielzahl von Tübbing-Ringen zusammen, welche die Stabilität des Tunnels garantieren sollen. Zur Beurteilung des Auslastungsgrades, insbesondere in geologischen Störzonen, ist die Erfassung der Verformung der Tübbinge dienlich.

[0004] Beispielsweise können Tübbingdeformationen auf der Oberfläche (punktuell mittels Totalstationen auf Prismen oder flächenhaft mittels Laserscanner) gemessen werden. Allerdings ist eine Messung direkt nach dem Einbau der Tübbinge kaum möglich und es ist nur eine Messung an der sichtbaren Innenseite der Tübbinge möglich. Ferner können Tübbingdeformationen im Inneren der Tübbinge mittels punktuellen Messungen mit z.B. Schwingsaitensensoren oder Faser Bragg Gitter Sensoren ermittelt werden, was jedoch keine vollständige Erfassung von Dehnungen und daher keine Ermittlung von sog. Dehnungs-HotSpots ermöglicht. Die Messergebnisse der genannten Messmethoden erlauben ferner keine Aussage zum Auslastungsgrad eines Tübbingelements, da unklar ist, ob mit der Messung eines singulären Messpunktes defacto die maximal beanspruchten Stellen des Tübbingelements erfasst wurden.

[0005] DE 694 06 447 T2 offenbart einen faseroptische Biege- und Positionierungssensor. Der Sensor besteht aus einer Lichtleitfaser mit wenigstens einer Lichtimmissionsfläche, die sich über ein Teil der Lichtleitfaserlänge in eine bestimmte Richtung erstreckt. Der Sensor weist ferner Mittel zur Messung von Intensitätsdifferenzen des Lichtstrahls zwischen zwei Enden der Lichtleitfaser auf. Mittels der Lichtemissionsfläche wird ermöglicht, dass Lichtstrahlen, welche aus der Lichtemissionsfläche austreten sich von anderen Lichtstrahlen unterscheiden zu einem Kern des Lichtleitfaser brechen, so dass eine durchschnittliche Krümmung über eine Länge der Faser erfasst werden kann.

[0006] DE 10 2011 050 717 A1 offenbart einen faseroptischen Sensor, welcher einen optisch leitenden Faserkern, eine elektrisch leitfähige Schicht, die den optisch leitenden Faserkern in zumindest einem Abschnitt umgibt, und eine auf die elektrisch leitfähige Schicht aufgalvanisierte magnetostriktive Schicht umfasst.

[0007] JP 2003 247 814 A offenbart einen optischen Fasersensor, welche entlang eines Tunnels angeordnet ist. Der Sensor ist an eine Betonwand des Tunnels mit Befestigungselementen an den Positionen befestigt, wo der Sensor Trennfugen des Betons überschreitet. Entsprechend können Trennfugenbewegungen gemessen werden.

[0008] JP 2014-109536 A offenbart eine Vorrichtung zur Verschleißmessung von Betonstrukturen. Ein optischer Fasersensor ist an eine Betonstruktur mittels Befestigungseinheiten an beiden Enden befestigt. Abweichungen der Lage der Befestigungseinheiten des optischen Fasersensors werden gemessen, so dass daraus ein Ermüdungsverhalten der Betonstruktur messbar ist.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0009] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine exakte Verformungsmessung für Tübbingelemente zu schaffen.

[0010] Diese Aufgabe wird mit einem Tübbingelement für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels, durch die Tübbinganordnung und durch ein Verfahren zur Messung einer Dehnungsänderung eines Tübbingelements für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

[0011] Gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Tübbingelement für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels beschrieben. Das Tübbingelement weist einen Tübbingkörper und ein faseroptisches Kabel auf, welches an dem Tübbingkörper derart befestigt ist, dass eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers auf das faseroptische Kabel übertragbar ist. Das faseroptische Kabel erstreckt sich entlang einer Messstrecke entlang des Tübbingkörpers, wobei das faseroptische Kabel entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper befestigt ist. Das faseroptische Kabel ist an eine optische Messeinrichtung zum optischen Messen einer Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels entlang der gesamten Messstrecke anschließbar, wobei die Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels indikativ für die Dehnungsänderung des Tübbingkörpers ist.

[0012] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels beschrieben, welche zumindest ein erstes oben beschriebenes Tübbingelement und ein zweites Tübbingelement mit einem zweiten Tübbingkörper aufweist. Der erste Tübbingkörper ist mit dem zweiten Tübbingkörper befestigt.

[0013] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Messung einer Dehnungsänderung eines oben beschriebenen Tübbingelements für eine Tübbinganordnung zur Innenausschalung eines Tunnels beschrieben. Gemäß dem Verfahren wird eine Dehnungsänderung eines faseroptischen Kabels entlang einer gesamten Messstrecke gemessen, wobei die Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels indikativ für die Dehnungsänderung des Tübbingkörpers ist.

[0014] Im modernen Tunnelbau werden Tunnelbohrmaschinen eingesetzt, welche mittels eines kontinuierlichen Tunnelvortriebs einen zu bildenden Tunnel herstellen. Zur Versteifung des Tunnels werden die oben beschriebenen (vorgefertigten) Tübbingelemente verlegt. Mehrere Tübbingelemente sind entlang einer Umfangsrichtung miteinander befestigt und ergeben somit einen kraftschlüssigen geschlossenen Tübbing-Ring (bzw. die oben beschriebene Tübbinganordnung).

[0015] Der Tübbingkörper des Tübbingelements ist beispielsweise aus Beton bzw. Stahlbeton gefertigt. Ferner kann der Tübbingkörper beispielsweise eine rechteckige Form aufweisen und entlang einer Ebene verlaufen. Alternativ kann, gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform, der Tübbingkörper ein kreissegmentartiges, schalenförmiges Profil ausbilden.

[0016] Das faseroptische Kabel ist beispielsweise ein Lichtleiter und besteht beispielsweise aus einer oder einer Vielzahl von Kunststofffasern bzw. Kunststofflichtwellenleitern. Das faseroptische Kabel enthält Fasern für die Lichtübertragung. Die Fasern können entweder aus Glas (Glasfaserkabel) oder aus Kunststoff (Polymerfaser) hergestellt sein. Derzeit empfiehlt sich für große Installationen Glasfaserkabel zu verwenden, da damit Sensorkabellängen bis zu 100 km gemessen werden können. Das faseroptische Kabel kann einen Mantel aufweisen, sodass keine lateralen bzw. seitlich abstrahlenden Lichtverluste vorkommen. Das Licht wird insbesondere ausschließlich an den Kabelenden des faseroptischen Kabels eingekoppelt oder gemessen.

[0017] Das faseroptische Kabel ist an dem Tübbingkörper entlang der gesamten Messstrecke derart kraftschlüssig fixiert, dass keine relative Verschiebung zwischen dem faseroptischen Kabel und dem Tübbingkörper vorkommt, so dass eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers auf das faseroptische Kabel übertragen wird. Dazu kann das faseroptische Kabel beispielsweise an

einer Oberfläche des Tübbingkörpers fixiert werden, beispielsweise mittels Klebens. Ferner kann das faseroptische Kabel im Inneren des Tübbingkörpers verlaufen. Beispielsweise kann während des Herstellens, beispielsweise während des Betongießens, des Tübbingkörpers das faseroptische Kabel eingebracht werden, so dass nach Aushärtung des Tübbingkörpers das faseroptische Kabel in dem Tübbingkörper fixiert ist. Entsprechend ist gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform das faseroptische Kabel in den Tübbingkörper eingebettet.

[0018] Eine Dehnungsänderung beschreibt im Folgenden eine Dehnung, d.h. eine relative Längenänderung (Verlängerung bzw. Verkürzung) des faseroptischen Kabels bzw. des Tübbingkörpers unter Belastung, beispielsweise durch eine Kraft oder durch eine Temperaturänderung (Wärmeausdehnung), welche auf den Tübbingkörper wirkt. Wenn die Abmessung des Tübbingkörpers oder des faseroptischen Kabels sich vergrößert, spricht man von einer positiven Dehnung (Streckung), andernfalls von einer negativen Dehnung oder Stauchung.

[0019] Das faseroptische Kabel erstreckt sich entlang einer vorbestimmten Messstrecke entlang des Tübbingkörpers. Mittels optischer Messverfahren kann die lokale Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels an einer bestimmten Stelle der Messstrecke bestimmt werden. Im Gegensatz zu punktuellen und quasiverteilten faseroptischen Messungen ermöglichen die erfindungsgemäße kontinuierliche und verteilte faseroptische Messung entlang der gesamten Messstrecke die Erfassung von Dehnungen entlang der gesamten Messstrecke ohne Unterbrechung. Derzeitige Distanzauflösungen (Ortsauflösungen) von gängigen Systemen sind 0.5m für Messlängen bis zu 100km und einige Millimeter bzw. Zentimeter für Messlängen von < 100m. Mit der vorliegenden Erfindung kann kontinuierlich bzw. mit einer hohen Ortsauflösung sozusagen lückenlos ein Dehnungsänderungsverlauf entlang der gesamten Messstrecke bestimmt werden.

[0020] Eine lokale Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels ist indikativ mit einer lokalen Dehnungsänderung an dieser Stelle des Tübbingkörpers. Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform ist das faseroptische Kabel derart an dem Tübbingkörper angeordnet, dass vorbestimmte Kabelabschnitte vorbestimmten Tübbingkörperabschnitten zugeordnet sind. Somit kann entlang der gesamten Messstrecke eine lokale Dehnungsänderung des Tübbingkörpers exakt bestimmt werden.

[0021] Mit der vorliegenden Erfindung wird mit anderen Worten ein Messkonzept zur räumlich hochauflösenden Verformungsmessung im Inneren von Tübbingelementen bereitgestellt. Dies wird bereitgestellt, indem das faseroptische Messkabel in geeigneter Anordnung entlang der Messstrecke im Tübbingelement einer Dehnungsmessung (= Strainmessung) unterzogen wird.

[0022] Hierzu wird an das faseroptische Kabel die Messeinrichtung angeschlossen, mittels welcher die Messung initiiert wird. Zur Dehnungsänderungsmessung wird Licht in das faseroptische Kabel eingekoppelt und das durchgehende bzw. rückgestrahlte Licht ausgewertet. Eine Auswerteinheit der Messeinrichtung analysiert dabei z.B. die Brillouinrückstreuung (BOTDR (Brillouin optical time domain reflectometry), BOTDA (Brillouin optical time domain analysis), BOFDA (Brillouin optical frequency-domain analysis, etc...)) oder Rayleigh Rückstreuung. Als Ergebnis erhält man einen Dehnungsänderungswert für jeden Ort der Faser entlang der Messstrecke.

[0023] Je nach Anordnung des faseroptischen Kabels an dem Tübbingkörper, können Verformungen sowohl auf der Innenseite als auch an der Außenseite des Tübbingkörpers erfasst werden. Mit der vorliegenden Erfindung kann somit eine räumlich hochauflösende Erfassung der Verformung von Tunneltübbingen bzw. Tübbingelementen an nichtzugänglichen Stellen bereitgestellt werden.

[0024] Daher ist beispielsweise eine vollständige Erfassung der Verformung über die gesamte Lebensdauer eines Tunneltübbings bzw. Tübbingelements (Ausschalen, Transport, Einbau, Lastumlagerung, Langzeitverhalten etc.) möglich. Zum Beispiel kann eine Nullmessung bereits nach dem Einlegen des Sensorkabels in einem Armierungskorb bei der Herstellung des Tübbingelements erfolgen. Somit können die Verformungen beim Aushärten, beim Entfernen der

Schalung, beim Transport zum Lagerplatz, während der Lagerung, durch den Transport in den Tunnel und/oder bei der Erstbelastung gemessen werden.

[0025] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das faseroptische Kabel einen Anfangsbereich (bzw. Kabelanfang) und einen gegenüber vom Anfangsbereich liegenden Endbereich (bzw. Kabelende) auf, zwischen welchen sich die Messstrecke ausbildet. Der Anfangsbereich und der Endbereich sind in einem Anschlussbereich des Tübbingkörpers angeordnet, wobei sich das faseroptische Kabel aus dem Anschlussbereich schlaufenartig entlang des Tübbingkörpers erstreckt.

[0026] Der Anschlussbereich des Tübbingkörpers kann beispielsweise aus einer Aussparung (sog. Anschlussbox) bestehen, in welcher der Kabelanfang und das Kabelende des faseroptischen Kabels angeordnet werden. An den Kabelanfang bzw. dem Kabelende kann die Messeinrichtung angeschlossen werden. Ferner kann an dem Kabelanfang bzw. dem Kabelende ein weiteres faseroptisches Kabel angeschlossen werden, welches ebenfalls in demselben Tübbingkörper verläuft oder welches entlang eines benachbarten Tübbingelements verläuft.

[0027] Beispielsweise kann eine angeschlossene Messeinrichtung bzw. Einkoppeleinrichtung an dem Kabelanfang Lichtwellen in das faseroptische Kabel einspeisen und an dem Kabelende das ankommende Licht gemessen werden. Ferner kann das faseroptische Kabel schlaufenförmig verlaufen, was bedeutet, dass das faseroptische Kabel entlang gewünschter Bereiche des Tübbingkörpers verläuft und beide Kabelenden im Anschlussbereich enden.

[0028] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform kann das faseroptische Kabel ebenfalls linear, bogenartig und/oder mäanderförmig entlang vorbestimmter Bereiche des Tübbingkörpers verlaufen. Dabei können beispielsweise der Anfangsbereich und der Endbereich des faseroptischen Kabels an unterschiedlichen lokalen Bereichen des Tübbingkörpers angeordnet sein. So kann beispielsweise der Anfangsbereich des faseroptischen Kabels an einem ersten Endbereich des Tübbingkörpers angeordnet sein und mit einem benachbarten faseroptischen Kabel gekoppelt werden und der Endbereich des faseroptischen Kabels kann an einem gegenüberliegenden Ende des Tübbingkörpers enden und mit einem entsprechend anderen angrenzenden faseroptischen Kabel eines weiteren Tübbingkörpers gekoppelt werden.

[0029] Da entlang der gesamten Messstrecke ein bestimmter Ort bzw. Messpunkt des faseroptischen Kabels einen bestimmten Ort bzw. Messpunkt des Tübbingkörpers zugeordnet ist, kann entlang der gesamten Messstrecke das gewünschte Deformationsverhalten an jedem Ort des Tübbingkörpers gemessen werden.

[0030] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform verläuft das faseroptische Kabel derart entlang des Tübbingkörpers, dass sich zumindest drei Kabelabschnitte des faseroptischen Kabels oder zumindest drei Kabelabschnitte von weiteren faseroptischen Kabeln in einem Kreuzungspunkt kreuzen. Insbesondere besteht in dem Kreuzungspunkt zwischen drei Kabelabschnitten jeweils ein Winkel von ungefähr 60 Grad.

[0031] Die Kabelabschnitte in dem Kreuzungspunkt liegen dabei in Dickenrichtung, d.h. zum Beispiel entlang der Radialrichtung bzw. entlang der Dicke des Tübbingkörpers, übereinander. Die Kabelabschnitte können sich dabei berühren oder beabstandet entlang der Dicke des Tübbingkörpers fixiert sein. Weisen alle drei Kabelabschnitte im Kreuzungspunkt unterschiedliche Richtungen auf, kann man aus den jeweiligen eindimensionalen Messungen der Dehnungsänderung entlang der Faserabschnitte eine flächenhafte Dehnung berechnen. Vorteilhafterweise weisen die jeweiligen Kabelabschnitte untereinander einen Winkel von ungefähr 60 Grad auf.

[0032] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform verläuft das faseroptische Kabel entlang eines ersten Oberflächenbereichs des Tübbingkörpers. Das faseroptische Kabel kann beispielsweise direkt auf der Oberfläche des ersten Oberflächenbereichs fixiert werden, beispielsweise mittels Klebens. Ferner kann der Oberflächenbereich beispielsweise von der Oberfläche ausgehend eine Tiefe von ca. 1 bis ca. 15 Zentimeter in dem Tübbingkörper aufweisen. Entsprechend verläuft beispielsweise das faseroptische Kabel innerhalb dieses Oberflächenbereichs, das heißt in einer entsprechenden Tiefe ausgehend von der gewünschten Oberfläche

von ca. 1 bis ca. 15 Zentimeter. Entsprechend kann die Dehnungsänderung entlang dieses Oberflächenbereichs mittels des faseroptischen Kabels gemessen werden.

[0033] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform verläuft das faseroptische Kabel entlang eines zweiten Oberflächenbereichs des Tübbingkörpers. Der zweite Oberflächenbereich liegt dem ersten Oberflächenbereich des Tübbingkörpers gegenüber. Somit kann beispielsweise ein faseroptisches Kabel entlang mehrerer Oberflächenbereiche verlaufen, so dass entlang aller Oberflächenbereiche des Tübbingkörpers entsprechende Dehnungsänderungen mittels nur eines faseroptischen Kabels gemessen werden können. Somit können Verbindungsstellen zwischen verschiedenen Messdaten reduziert werden, so dass die Fehleranfälligkeit gering ist.

[0034] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist der Tübbingkörper eine Neutralachse auf, welche von einem ersten Oberflächenbereich zu einem gegenüberliegenden zweiten Oberflächenbereich innerhalb des Tübbingkörpers verläuft. Die Neutralachse verläuft derart, dass bei einer Verbiegung des Tübbingkörpers keine Dehnungsänderung der Neutralachse stattfindet, wobei ein Bereich des faseroptischen Kabels entlang der Neutralachse angeordnet ist. Befindet sich der Bereich des faseroptischen Kabels entlang der Neutralachse, so kann dieser Bereich des faseroptischen Kabels als Referenzbereich herangezogen werden. Somit kann die Messgenauigkeit erhöht werden.

[0035] Entsprechend weist, gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform des Betriebsverfahrens, der Schritt des Messens der Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels entlang der Messstrecke ferner

[0036] a) Messen einer ersten Dehnungsänderung des ersten Oberflächenbereichs,

[0037] b) Messung einer zweiten Dehnungsänderung des zweiten Oberflächenbereichs, und

[0038] c) Bestimmung einer Neutralachse mittels Vergleichs der ersten Dehnungsänderung und der zweiten Dehnungsänderung, auf.

[0039] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das faseroptische Kabel einen Kernbereich und einen Schutzmantel, welcher den Kernbereich umhüllt, auf. Der Schutzmantel weist eine strukturierte Oberfläche auf, welche mit dem Tübbingkörper kraftschlüssig gekoppelt ist. In dem Kernbereich verläuft insbesondere die Faser bzw. die Fasern des faseroptischen Kabels. Die strukturierte Oberfläche kann beispielsweise aus verschiedenen Erhebungen und Absenkung, welche ein bestimmtes Muster aufweisen, bestehen. Die strukturierte Oberfläche weist beispielsweise hackenähnliche Erhebungen oder Riffelungen auf, so dass hier eine gute kraftschlüssige Verbindung zu dem umgebenden Tübbingkörper hergestellt werden kann. Dadurch wird verhindert, dass eine relative Verschiebung des faseroptischen Kabels relativ zu dem Tübbingkörper aufgrund einer starken Dehnungsbeanspruchung entsteht.

[0040] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement ferner ein weiteres faseroptisches Kabel auf, welches an dem Tübbingkörper derart befestigt ist, dass eine weitere Dehnungsänderung des Tübbingkörpers auf das weitere faseroptische Kabel übertragbar ist. Das weitere faseroptische Kabel erstreckt sich entlang einer weiteren Messstrecke entlang des Tübbingkörpers. Das weitere faseroptische Kabel ist an die optische Messeinrichtung zum optischen Messen einer weiteren Dehnungsänderung des weiteren faseroptischen Kabels entlang der weiteren Messstrecke anschließbar, wobei die weitere Dehnungsänderung des weiteren faseroptischen Kabels indikativ für die weitere Dehnungsänderung des Tübbingkörpers ist.

[0041] Das weitere faseroptische Kabel kann beispielsweise seriell mit dem faseroptischen Kabel beispielsweise mit einem optischen Stecker verbunden werden. Ferner kann das weitere faseroptische Kabel parallel zu dem faseroptischen Kabel angeordnet werden. Damit wird die Messsicherheit bei Zerstörung eines Messkabelabschnitts, zum Beispiel bei Bruch oder thermischer Zerstörung, erhöht.

[0042] Mit dem oben genannten Ausführungsbeispiel wird verdeutlicht, dass eine Vielzahl von

faseroptischen Kabeln, welche jeweils eine vorbestimmte Messstrecke bilden, entlang eines Tübbingkörpers angeordnet sein können.

[0043] Die faseroptischen Kabel können untereinander optisch gekoppelt werden. Ferner kann ein faseroptisches Kabel oder mehrere faseroptische Kabel mit ihren Endbereichen in dem Anschlussbereich des Tübbingkörpers angeordnet werden und somit an ein und dieselbe Messeinrichtung angeschlossen werden. Entsprechend kann ein gewünschtes dichtes Netz an Messstrecke angeordnet werden, um eine gewünschte hochauflösende Messgenauigkeit des Verformungsverhaltens des Tübbingkörpers zu messen.

[0044] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement die optische Messeinrichtung auf, wobei die optische Messeinrichtung an dem Tübbingkörper angeordnet ist. Die Messeinrichtung kann wie oben beschrieben beispielsweise in dem Anschlussbereich des Tübbingkörpers angeordnet werden.

[0045] Alternativ zu diesem oben genannten Ausführungsbeispiel kann eine zentrale optische Messeinrichtung außerhalb des Tübbingelements angeordnet sein und mittels eines Verbindungskabels an das faseroptische Kabel gekoppelt werden. An die Messeinrichtung können beispielsweise eine Vielzahl von faseroptischen Kabeln von weiteren benachbarten Tübbingelementen gekoppelt werden.

[0046] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement eine Einkoppeleinrichtung auf, welche mit dem faseroptischen Kabel zum Einkoppeln von Licht in das faseroptische Kabel gekoppelt ist. Die Einkoppeleinrichtung kann an einer gewünschten Einspeisestelle, beispielsweise in dem Anschlussbereich des Tübbingkörpers, angeordnet werden und mit einer vorgegebenen Lichtintensität Licht in das faseroptische Kabel einspeisen.

[0047] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement die optische Messeinrichtung auf, wobei das faseroptische Kabel eine Steckerverbindung aufweist, an welcher die optische Messeinrichtung oder ein weiteres faseroptisches Kabel lösbar ansteckbar ist. Die Steckerverbindung ist beispielsweise ein faseroptischer Stecker. Somit kann für Reparatur- und Wartungszwecke zügig das faseroptische Kabel von der Messeinrichtung oder von einem weiteren faseroptischen Kabel gelöst werden.

[0048] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das faseroptische Kabel einen Referenzbereich mit einer Referenzstrecke des faseroptischen Kabels auf. Die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels ist kraftübertragungsfrei an dem Tübbingkörper angeordnet, so dass eine Referenzdehnung des faseroptischen Kabels messbar ist, oder die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels ist mit einer vorbestimmten Dehnung an dem Tübbingkörper angeordnet.

[0049] Bei einer kraftübertragungsfreien Kopplung des faseroptischen Kabels an dem Tübbingkörper wird keine Kraft zwischen diesem Bereich des faseroptischen Kabels und dem Tübbingkörper übertragen. Somit werden ebenfalls keine Dehnungen übertragen. In diesem Referenzbereich des faseroptischen Kabels werden Dehnungsänderung ausschließlich durch äußere Einflüsse, wie beispielsweise durch Temperaturschwankungen, verursacht. Die gemessene Referenzdehnung kann den Messwerten der Dehnungsänderung der angrenzenden Bereiche des faseroptischen Kabels zu Grunde gelegt werden. Mittels des Referenzwerts der Referenzdehnung kann somit ein Messergebnis der angrenzenden Bereiche des faseroptischen Kabels bereinigt werden, so dass eine Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels berechnet werden können, welche ausschließlich durch eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers und nicht durch äußere Einflüsse verursacht wurden. Dadurch wird die Messgenauigkeit erhöht.

[0050] Indem die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels mit einer vorbestimmten Dehnung an dem Tübbingkörper angeordnet ist, kann somit ein bestimmtes Tübbingelement identifiziert werden. Beispielsweise können eine Vielzahl von Tübbingelementen hergestellt werden, wobei jedes einzelne eine individuelle vorbestimmte Dehnung des faseroptischen Kabels in dem Referenzbereich aufweist. Somit kann jedes der vielen Tübbingelemente zugeordnet und katalogisiert werden. Ferner weist dieses faseroptische Kabel entlang eines Tübbingkörpers eine

individuelle Signalcharakteristik im Nullzustand auf, so dass diese Signalcharakteristik als Referenz dienen kann, um einzelne Tübbingelemente zu identifizieren.

[0051] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement ferner einen Temperatursensor auf, welcher an dem Tübbingkörper zum Messen einer Temperatur des Tübbingkörpers angeordnet ist. Der Temperatursensor ist an die optische Messeinrichtung anschließbar.

[0052] Bei der Messung der Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels kann mittels Messens der Temperatur der Dehnungsfaktor herausgerechnet werden, welcher ausschließlich durch die Temperatur eingetragen wurde. Somit wird die Messgenauigkeit weiter erhöht.

[0053] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist die optische Messeinrichtung eine Speichervorrichtung auf, wobei die Speichereinrichtung konfiguriert ist, die Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels über ein bestimmtes Zeitintervall zu speichern. Somit können Dehnungsänderungen des Tübbingkörpers über ein bestimmtes Zeitintervall ausgelesen werden und der zeitliche Verlauf der Dehnungsänderung gemessen werden. Dadurch kann beispielsweise ein Ermüdungsverhalten des Tübbingkörpers analysiert werden oder tektonische Veränderungen der Tunnelwände untersucht werden.

[0054] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das Tübbingelement einen Ankoppelstecker, welcher mit dem faseroptischen Kabel gekoppelt ist, wobei der Ankoppelstecker zu Ankopplung einer portablen Messeinrichtung konfiguriert ist. Der Ankoppelstecker befindet sich beispielsweise an einer zugänglichen Stelle am Tübbingkörper, beispielsweise im Anschlussbereich des Tübbingkörpers. Wird ein Tunnel mit einer Vielzahl von Tübbingelementen hergestellt, kann zu Überprüfungs- oder Wartungszwecken jedes Tübbingelement einzeln und individuell gemessen werden, indem an dem Ankoppelstecker die portable Messeinrichtung lösbar angeschlossen wird.

[0055] Wie eingangs beschrieben wird in einer weiteren beispielhaften Ausführungsform eine Tübbinganordnung beschrieben, welche eine Vielzahl an miteinander befestigten Tübbingelementen aufweist. Zumindest ein erstes Tübbingelement der Tübbinganordnung ist gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen bereitgestellt. Die Tübbingelemente der Tübbinganordnung bilden beispielsweise eine Ringform aus.

[0056] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der Tübbinganordnung, ist das erste faseroptische Kabel ferner an dem zweiten Tübbingkörper derart befestigt, dass ferner eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers auf das erste faseroptische Kabel übertragbar ist. Das erste faseroptische Kabel erstreckt sich ferner entlang der ersten Messstrecke entlang des zweiten Tübbingkörpers.

[0057] Mit dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wird verdeutlicht, dass ein faseroptisches Kabel entlang einer Vielzahl von Tübbingelementen verlaufen kann, so dass mittels eines faseroptischen Kabels Dehnungsänderungen mehrerer Tübbingkörper entsprechender Tübbingelemente gemessen werden kann. Mit einem einzigen faseroptischen Kabel können zahlreiche Tübbingelemente gleichzeitig gemessen werden.

[0058] Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform weist das zweite Tübbingelement ein zweites faseroptisches Kabel auf, welches an dem zweiten Tübbingkörper derart befestigt ist, dass eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers auf das zweite faseroptische Kabel übertragbar ist, wobei das zweite faseroptische Kabel sich entlang einer zweiten Messstrecke entlang des zweiten Tübbingkörpers erstreckt. Das zweite faseroptische Kabel an die optische Messeinrichtung oder eine weitere optische Messeinrichtung zum optischen Messen einer zweiten Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels entlang der zweiten Messstrecke anschließbar ist. Die zweite Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels ist indikativ für die zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers.

[0059] Beispielsweise kann das zweite Tübbingelement gemäß den oben beschriebenen Ausführungsformen des Tübbingelements ausgebildet sein.

[0060] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung des oben beschriebenen Tübbingelements für die Tübbinganordnung zur Innenauschalung eines Tunnels beschrieben. Gemäß dem Herstellverfahren wird das faseroptische Kabel an einem Tübbingkörper derart befestigt, dass eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers auf das faseroptische Kabel übertragbar ist.

[0061] Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform des Herstellverfahrens weist der Schritt des Befestigens eines faseroptischen Kabels an dem Tübbingkörper ein Bereitstellen eines Bewehrungsgitters auf. Ferner wird das faseroptische Kabel an dem Bewehrungsgitter befestigt. Anschließend wird der Tübbingkörper gegossen, indem Betonmaterial um das Bewehrungsgitter gegossen wird, so dass das faseroptische Kabel in dem Tübbingkörper eingebettet ist.

[0062] Das Bewehrungsgitter (bzw. Armierungseisen) besteht insbesondere aus Stahl. Beim Herstellen der Tübbingkörper wird eine gewisse Anzahl an Bewehrungsgitter in eine Gussform bzw. in einer Verschalung angeordnet. Auf dem Bewehrungsgitter wird anschließend das faseroptische Kabel in gewünschter Konfiguration befestigt. Dies kann beispielsweise mittels Festbindens oder Klebens durchgeführt werden. Anschließend wird in die Form bzw. in die Verschalung eine gewünschte Menge an Beton gegossen, der flüssige Beton umgibt das Bewehrungsgitter und entsprechend das faseroptische Kabel. Nach dem Aushärten des Betons ist das faseroptische Kabel in dem Tübbingkörper eingebettet, so dass eine kraftschlüssige Verbindung zwischen dem faseroptischen Kabel und dem Tübbingkörper vorliegt.

[0063] Zur zuverlässigen Dehnungsübertragung des Tübbingkörpers auf das faseroptische Kabel entlang der gesamten Messstrecke kann das faseroptische Kabel beispielsweise auf das Bewehrungsgitter bzw. das Armierungseisen aufgeklebt werden oder zum Beispiel in Schlitze des Bewehrungsgitters bzw. des Armierungseisens befestigt werden. Zusätzlich kann, wie oben beschrieben, das faseroptische Kabel einen strukturierten Schutzmantel bzw. Schutzhülle zur besseren Anbindung an den Tübbingkörper aufweisen.

[0064] Mit der oben beschriebenen Erfindung werden die Tübbingelemente bereitgestellt, deren Dehnungsänderung exakt bestimmt werden kann. Die Dehnungsänderung kann beispielsweise aufgrund von tektonischen Veränderungen der Tunnelwände, aufgrund von Ermüdungserscheinungen der Tübbingelemente oder durch Faktoren während des Herstellens und des Einbaus der Tübbingelemente verursacht werden.

[0065] Zusätzlich zu den oben stehenden Verformungsmessungen kann mit dem oben bestimmten optischen Messverfahren die Entwicklung der Festigkeits- und Verformungsparameter des für die Tübbingherstellung verwendeten Materials ermittelt werden. Wichtig ist dabei die Materialparameter zu jenen Zeitpunkten zu ermitteln, zu welchen die oben stehenden Verformungen der Tübbingelemente gemessen werden. Nach Vorliegen der Festigkeits- und Verformungsparameter des Tübbingmaterials der Tübbingelemente kann ein entsprechendes Materialgesetz für die Tübbingelemente ermittelt werden. Unter Zugrundelegung dieses ermittelten Materialgesetzes und den Messergebnissen der Verformungsänderungen können an den Messstellen die mechanisch wirksamen Zug- und Druckspannungen ermittelt werden. Die ermittelten Zug- und Druckspannungen im Tübbingelement werden in weiterer Folge den über geotechnische Laborversuche ermittelten Festigkeitswerten gegenübergestellt. Der Quotient aus den mechanisch wirksamen Zug- und Druckspannungen und den zugehörigen Festigkeitswerten ergibt den Auslastungsgrad des Tübbingelements.

[0066] Es wird darauf hingewiesen, dass die hier beschriebenen Ausführungsformen lediglich eine beschränkte Auswahl an möglichen Ausführungsvarianten der Erfindung darstellen. So ist es möglich, die Merkmale einzelner Ausführungsformen in geeigneter Weise miteinander zu kombinieren, so dass für den Fachmann mit den hier expliziten Ausführungsvarianten eine Vielzahl von verschiedenen Ausführungsformen als offensichtlich offenbart anzusehen sind. Insbesondere sind einige Ausführungsformen der Erfindung mit Vorrichtungsansprüchen und andere Ausführungsformen der Erfindung mit Verfahrensansprüchen beschrieben. Dem Fachmann wird jedoch bei der Lektüre dieser Anmeldung sofort klar werden, dass, sofern nicht

explizit anders angegeben, zusätzlich zu einer Kombination von Merkmalen, die zu einem Typ von Erfindungsgegenstand gehören, auch eine beliebige Kombination von Merkmalen möglich ist, die zu unterschiedlichen Typen von Erfindungsgegenständen gehören.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0067] Im Folgenden werden zur weiteren Erläuterung und zum besseren Verständnis der vorliegenden Erfindung Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigen:

- [0068]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Tübbingelements gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0069]** Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines gebogenen Tübbingelements gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0070]** Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines gestreckten Tübbingelements gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0071]** Fig. 4 zeigt ein Diagramm einer Dehnungsänderung eines Tübbingelements entlang einer bestimmten Messstrecke gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0072]** Fig. 5 zeigt ein Diagramm einer Dehnungsänderung des Tübbingelements aus Fig. 3,
- [0073]** Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Tübbinganordnung gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0074]** Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer Tübbinganordnung und einer weiteren Tübbinganordnung gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0075]** Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung eines verformten Tübbingelements gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0076]** Fig. 9 zeigt ein Diagramm einer Dehnungsänderung entlang einer Messstrecke des Tübbingelements aus Fig. 8,
- [0077]** Fig. 10 zeigt eine schematische Darstellung eines Tübbingelements mit einem Referenzbereich gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0078]** Fig. 11 zeigt eine schematische Darstellung eines faseroptischen Kabels gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,
- [0079]** Fig. 12 zeigt eine schematische Darstellung eines in der Zeichenebene abgerollten Tübbingelements, welches in Messsegmente gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingeteilt ist,
- [0080]** Fig. 13 und Fig. 14 zeigen schematische Darstellungen eines nicht gekrümmten und eines gekrümmten Messsegments aus Fig. 12 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

- [0081]** Fig. 15 zeigt eine schematische Darstellung eines Tübbingkörpers mit einem mäanderförmigen Verlauf des faseroptischen Kabels gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und
- [0082]** Fig. 16 bis Fig. 18 zeigen schematische Darstellungen eines Tübbingkörpers mit einem Verlauf des faseroptischen Kabels, bei welchem sich jeweils drei Abschnitte des faseroptischen Kabels in einem Kreuzungspunkt kreuzen, gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG VON EXEMPLARISCHEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0083] Gleiche oder ähnliche Komponenten in unterschiedlichen Figuren sind mit gleichen Bezugsziffern versehen. Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch.

[0084] Fig. 1 zeigt ein Tübbingelement 100 für eine Tübbinganordnung 600 zur Innenausschaltung eines Tunnels gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Tübbingelement 100 weist einen Tübbingkörper 101 und ein faseroptisches Kabel 102 auf, welches an dem Tübbingkörper 101 derart befestigt ist, dass eine Dehnungsänderung 402 des Tübbingkörpers 101 auf das faseroptische Kabel 102 übertragbar ist. Das faseroptische Kabel 102 erstreckt sich entlang einer Messstrecke 401 (siehe insbesondere Fig. 4) entlang des Tübbingkörpers 101, wobei das faseroptische Kabel 102 entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper 101 befestigt ist. Das faseroptische Kabel 102 ist an eine optische Messeinrichtung 701 zum optischen Messen einer Dehnungsänderung 402 des faseroptischen Kabels 102 entlang der gesamten Messstrecke 401 anschließbar, wobei die Dehnungsänderung 402 des faseroptischen Kabels 102 indikativ für die Dehnungsänderung 402 des Tübbingkörpers 101 ist. Somit kann kontinuierlich bzw. mit einer hohen Ortsauflösung sozusagen lückenlos ein Dehnungsänderungsverlauf entlang der Messstrecke 401 bestimmt werden.

[0085] Das Tübbingelement 100 dient zur Versteifung eines Tunnels. Mehrere Tübbingelemente 100 sind entlang einer Umfangsrichtung 112 miteinander befestigt und ergeben somit einen kraftschlüssigen geschlossenen Tübbing-Ring (bzw. Tübbinganordnung 600, siehe Fig. 6). Eine Axialrichtung 113 beschreibt eine Tunnellängsachsenrichtung und eine Radialrichtung 114 beschreibt eine Richtung senkrecht zur Axialrichtung 113 und zur Umfangsrichtung 112.

[0086] Der Tübbingkörper 101 des Tübbingelements 100 ist beispielsweise aus Beton bzw. Stahlbeton gefertigt. Der Tübbingkörper 101 bildet in der beispielhaften Ausführungsform in Fig. 1 ein kreissegmentartiges, schalenförmiges Profil aus.

[0087] Das faseroptische Kabel 102 ist ein Lichtleiter. Das faseroptische Kabel 102 ist an dem Tübbingkörper 101 derart fixiert, dass keine relative Verschiebung zwischen dem faseroptischen Kabel 102 und dem Tübbingkörper 101 vorkommt, so dass eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers 101 auf das faseroptische Kabel 102 übertragen wird. Das faseroptische Kabel 102 verläuft im Inneren des Tübbingkörpers 101. Beispielsweise kann während des Herstellens, beispielsweise während des Betongießens, des Tübbingkörpers 101 das faseroptische Kabel 102 eingebracht werden, so dass nach Aushärtung des Tübbingkörpers 101 das faseroptische Kabel 102 in dem Tübbingkörper 101 fixiert ist.

[0088] Das faseroptische Kabel 102 (in Fig. 1 als gestrichelte Linie dargestellt) erstreckt sich entlang einer vorbestimmten Messstrecke 401 (siehe Diagramm in Fig. 4) entlang des Tübbingkörpers 101. Mittels optischer Messverfahren kann die lokale Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels 102 an einer bestimmten Stelle der Messstrecke 401 bestimmt werden. Diese lokale Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels 102 ist indikativ mit einer lokalen Dehnungsänderung an dieser Stelle des Tübbingkörpers 101.

[0089] Vorbestimmte Kabelabschnitte sind vorbestimmten Tübbingkörperabschnitten zugeordnet. Somit kann entlang der gesamten Messstrecke 401 eine lokale Dehnungsänderung des

Tübbingkörpers 101 exakt bestimmt werden.

[0090] Das faseroptische Kabel 102 ist an der Messeinrichtung 701 (siehe Fig. 7) angeschlossen, mittels welcher die Messung initiiert wird. Zur Dehnungsänderungsmessung wird Licht in das faseroptische Kabel 102 eingekoppelt und das durchgehende bzw. rückgestrahlte Licht ausgewertet. Eine Auswerteinheit der Messeinrichtung 701 analysiert dabei z.B. die Brillouinrückstreuung oder Rayleigh Rückstreuung. Als Ergebnis erhält man einen Dehnungsänderungswert für jeden Ort des faseroptischen Kabels 102 entlang der Messstrecke 401.

[0091] Je nach Anordnung des faseroptischen Kabels 102 an dem Tübbingkörper 101, können Verformungen sowohl auf der Innenseite, d.h. entlang eines ersten Oberflächenbereichs 106, als auch an der Außenseite, d. h., entlang eines zweiten Oberflächenbereichs 107, des Tübbingkörpers 101 erfasst werden. Somit kann eine räumlich hochauflösende Erfassung der Verformung von Tunneltübbingen bzw. Tübbingelementen 100 an nichtzugänglichen Stellen bereitgestellt werden.

[0092] In Fig. 1 verläuft das faseroptische Kabel 102 entlang des ersten Oberflächenbereichs 106 und entlang des zweiten Oberflächenbereichs 107 des Tübbingkörpers 101. Entsprechend kann die Dehnungsänderung entlang der Oberflächenbereiche 106, 107 mittels des faseroptischen Kabels 102 gemessen werden.

[0093] Das faseroptische Kabel 102 kann mit dem Tübbingkörper 101 fixiert werden, indem das faseroptische Kabel 102 beispielsweise punktuell mit Armierungseisen im Tübbingkörper 102 (mit z.B. Kabelbindern) verbunden werden oder indem das faseroptische Kabel 102 linienweise auf bzw. in die Armierungseisen geklebt wird.

[0094] Nach dem Einlegen des faseroptischen Kabels 102 im Tübbingkörper 101 wird die Lage des faseroptischen Kabels 102 im Tübbingkörper 101 kartiert, um eine Zuordnung der Messung (Strain (Dehnung) auf Kabelmeter (Messstrecke) i , siehe Fig. 4) zu einem Ort im Tübbingkörper 101 (Strain auf Position x,y,z) zu ermöglichen. Die Kartierung kann unter Zuhilfenahme von Distanzmarkierungen auf der Faser- bzw. Kabeloberseite erfolgen. Für genaue Ortszuordnungen kann die Lage des faseroptischen Kabels 102 auch mit geodätischen Messmethoden erfasst werden.

[0095] Das faseroptische Kabel 102 in Fig. 1 weist einen Anfangsbereich 103 (bzw. Kabelanfang) und einen gegenüber vom Anfangsbereich 103 liegenden Endbereich 104 (bzw. Kabelende) auf, zwischen welchen sich die Messstrecke 401 ausbildet. Der Anfangsbereich 103 und der Endbereich 104 sind in einem Anschlussbereich 105 des Tübbingkörpers 101 angeordnet, wobei sich das faseroptische Kabel 102 aus dem Anschlussbereich 105 schlaufenartig entlang des Tübbingkörpers 101 erstreckt.

[0096] Der Anschlussbereich 105 des Tübbingkörpers 101 kann beispielsweise aus einer Aussparung bestehen, in welcher der Kabelanfang und das Kabelende des faseroptischen Kabels 102 angeordnet werden. An den Kabelanfang bzw. dem Kabelende kann die Messeinrichtung 701 angeschlossen werden. Ferner kann an dem Kabelanfang bzw. dem Kabelende ein weiteres faseroptisches Kabel angeschlossen werden, welches ebenfalls in demselben Tübbingkörper 101 verläuft oder welches entlang eines benachbarten Tübbingelements verläuft.

[0097] Die optische Messeinrichtung 701 kann beispielsweise in dem Anschlussbereich 105 des Tübbingkörpers 102 angeordnet werden.

[0098] Das Tübbingelement 102 kann ferner einen Temperatursensor 111 aufweisen, welcher an dem Tübbingkörper 101 zum Messen einer Temperatur des Tübbingkörpers 101 angeordnet ist. Der Temperatursensor 111 ist an die optische Messeinrichtung 701 anschließbar. Da die Signale von verteilten faseroptischen Kabeln 102 nicht nur auf Dehnungen sondern auch auf Temperaturänderungen sensitiv sind, kann eine Temperaturkorrektur durchgeführt werden. Bei der Messung der Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels 102 kann mittels Messens der Temperatur der Dehnungsfaktor herausgerechnet werden, welcher ausschließlich durch die Temperatur eingetragen wurde. Somit wird die Messgenauigkeit weiter erhöht.

[00099] Die optische Messeinrichtung 701 weist ferner eine Speichervorrichtung auf, wobei die Speichereinrichtung konfiguriert ist, die Dehnungsänderung des faseroptischen Kabels 102 über ein bestimmtes Zeitintervall zu speichern. Somit können Dehnungsänderungen des Tübbingkörpers 101 über ein bestimmtes Zeitintervall ausgelesen werden und der zeitliche Verlauf der Dehnungsänderung gemessen werden,

[00100] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines gebogenen Tübbingelements 100, während Fig. 3 ein weniger gebogenes Tübbingelement 100 darstellt.

[00101] Durch die Messung von Dehnungen bzw. Dehnungsänderungen entlang des ersten Oberflächenbereichs 106 und des zweiten Oberflächenbereichs 107 (d.h. der Innen- und Außenseite) des Tübbingkörpers 102, kann eine Verbiegung des Tübbingkörpers 102 festgestellt werden. Ferner kann eine Position der neutralen Linie 201 errechnet werden.

[00102] In der Fig.3 dargestellten Verflachung des Tübbingkörpers 101 verlängert sich beispielsweise der Abschnitt (a), Abschnitt (b) und (d) bleiben gleich und Abschnitt (c) verkürzt sich. Entsprechende Dehnungsänderungen wirken auf das faseroptische Kabel 102.

[00103] Die Neutralachse 201 verläuft derart, dass bei einer Verbiegung des Tübbingkörpers 101 keine Dehnungsänderung der Neutralachse stattfindet, wobei ein Bereich des faseroptischen Kabels 102 entlang der Neutralachse 201 angeordnet ist. Befindet sich der Bereich des faseroptischen Kabels 102 entlang der Neutralachse 201, so kann dieser Bereich des faseroptischen Kabels 102 als Referenzbereich herangezogen werden. Somit kann die Messgenauigkeit erhöht werden.

[00104] In Fig. 4 wird ein Diagramm dargestellt, in welchem eine Dehnungsänderung 402 (Strain) entlang der Messstrecke 401 (Länge [m]) dargestellt ist. Ein positives Vorzeichen + der Dehnungsänderung 402 gibt eine Dehnung an einem Bereich der Messstrecke 401 an und ein negatives Vorzeichen - der Dehnungsänderung 402 gibt eine Stauchung an einem Bereich der Messstrecke 401 an.

[00105] In Fig. 5 ist in dem Diagramm die Messstrecke 401 des faseroptischen Kabels 102 aus Fig. 3 beispielhaft dargestellt. Der Abschnitt (a) dehnt sich, Abschnitt (b) und (d) bleiben gleich und Abschnitt (c) verkürzt (staucht) sich. Entsprechende Dehnungsänderungen wirken auf das faseroptische Kabel 102 und sind in dem Diagramm aus Fig. 5 ablesbar.

[00106] Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Tübbinganordnung 600 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Tübbinganordnung 600 weist eine Vielzahl miteinander befestigter erster und zweiter Tübbingelementen 610, 620 auf. Zur besseren Übersichtlichkeit sind nur jeweils eines der ersten Tübbingelemente 610 und eines der zweiten Tübbingelemente 620 mit Bezugszeichen versehen. Zumindest ein erstes Tübbingelement 610 der Tübbinganordnung 600 ist gemäß dem oben beschriebenen Tübbingelement 100 bereitgestellt. Die Tübbingelemente 610, 620 der Tübbinganordnung 600 bilden beispielsweise eine Ringform aus.

[00107] Beim kontinuierlichen Tunnelvortrieb werden von der Tunnelbohrmaschine zur Versteifung und Ausschalung des Tunnels vorgefertigte erste und zweite Tübbingelemente 610, 620 verlegt. Mehrere Tübbingelemente 610, 620 ergeben dabei einen kraftschlüssigen Ring. Der gesamte Tunnel setzt sich aus einer Vielzahl von derartigen Ringanordnungen 600 zusammen, welche die Stabilität des Tunnels garantieren sollen. Zur Beurteilung des Auslastungsgrades, insbesondere in geologischen Störzonen, ist die Erfassung der Verformung von Tübbingelementen 610, 620 hilfreich.

[00108] Jedes der Tübbingelemente 610, 620 kann ein entsprechendes faseroptisches Kabel 102 aufweisen. An den Schnittstellen zwischen den Tübbingelementen 610, 620 können entsprechende optische Stecker angeordnet sein, welche bei korrekter Positionierung der jeweiligen Tübbingelemente 610, 620 zueinander automatisch eine optische Kopplung zwischen den entsprechenden faseroptischen Kabeln 102 der Tübbingelemente 610, 620 ausbilden. Beispielsweise kann hierzu an den Schnittstellen der Tübbingelemente 610, 620 Positionsmarken,

beispielsweise in das Betonmaterial der entsprechenden Tübbingelemente 610, 620, angeordnet bzw. eingegossen werden, um eine exakte Positionierung der entsprechenden Tübbingelemente 610, 620 zueinander sicherzustellen. Somit kann eine effektive Anordnung mehrerer Tübbingelemente 610, 620 geschaffen werden, so dass automatisch optische Kopplungen zwischen den Tübbingelementen 610, 620 ohne aufwändige Justageschritte gebildet werden können.

[00109] Fig. 7 zeigt eine schematische Darstellung einer Tübbinganordnung 600 und einer weiteren Tübbinganordnung 700 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Die Tübbinganordnungen 600, 700 werden entlang der Axialrichtung 113 des Tunnels hintereinander befestigt und schalen den Tunnel somit aus.

[00110] Das erste faseroptische Kabel 102 bzw. 712 verläuft beispielsweise entlang dem ersten Tübbingkörper 711 und ist ferner an dem zweiten Tübbingkörper 721 derart befestigt, dass ferner eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers 721 auf das erste faseroptische Kabel 712 übertragbar ist. Das erste faseroptische Kabel 712 erstreckt sich z.B. ferner entlang der Messstrecke 401 entlang des zweiten Tübbingkörpers 721. Das erste faseroptische Kabel 712 kann entsprechend entlang einer Vielzahl von Tübbingelementen 610, 620 verlaufen, so dass mittels eines ersten faseroptischen Kabels 712 Dehnungsänderungen mehrerer Tübbingkörper 711, 721 entsprechender Tübbingelemente 610, 620 gemessen werden kann.

[00111] Ferner weist, wie in Fig. 7 dargestellt, das zweite Tübbingelement 620 ein zweites faseroptisches Kabel 722 auf, welches an dem zweiten Tübbingkörper 721 derart befestigt ist, dass eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers 721 auf das zweite faseroptische Kabel 722 übertragbar ist, wobei das zweite faseroptische Kabel 722 sich entlang einer zweiten Messstrecke entlang des zweiten Tübbingkörpers 620 erstreckt. Das zweite faseroptische Kabel 722 ist an die optische Messeinrichtung 701 oder eine weitere optische Messeinrichtung zum optischen Messen einer zweiten Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels 722 entlang der zweiten Messstrecke anschließbar. Die zweite Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels 722 ist indikativ für die zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers 620.

[00112] Wie in Fig. 7 dargestellt, kann eine zentrale optische Messeinrichtung 701 außerhalb der Tübbingelemente 610, 620 angeordnet sein und mittels entsprechender Verbindungskabel 702, 703 an die faseroptische Kabel 712, 722 gekoppelt werden. An die Messeinrichtung 701 können beispielsweise eine Vielzahl von faseroptischen Kabeln 712, 722 von weiteren benachbarten Tübbingelementen 610, 620 gekoppelt werden. An entsprechenden Anschlussbereichen 715, 725 der Tübbingelemente 610, 620 können die faseroptischen Kabel 712, 722 an die Messeinrichtung 701 gekoppelt werden.

[00113] Zur besseren Übersichtlichkeit sind nur zwei der in Fig. 7 dargestellten Tübbingelemente und deren Komponenten mit Bezugszeichen versehen.

[00114] Die faseroptischen Kabel 712, 722 können mittels optischer Steckerverbindung lösbar miteinander oder an eine Messeinrichtung 701 koppelbar sein ansteckbar ist.

[00115] Ferner kann beispielsweise in einem Anschlussbereich 715, 725 eines Tübbingelements 610, 620 ein Ankoppelstecker angeordnet werden, welcher mit dem faseroptischen Kabel 712, 722 gekoppelt ist, wobei der Ankoppelstecker zu Ankopplung einer portablen Messeinrichtung konfiguriert ist. Wird ein Tunnel mit einer Vielzahl von Tübbingelementen hergestellt, kann zu Überprüfungs- oder Wartungszwecken jedes Tübbingelement 610, 620 einzeln und individuell gemessen werden, indem an dem Ankoppelstecker die portable Messeinrichtung lösbar angeschlossen wird.

[00116] Ferner kann eine Einkoppeleinrichtung in einem Anschlussbereich 715, 725 eines Tübbingelements 610, 620 angeordnet oder temporär angeschlossen werden, wobei die Einkoppeleinrichtung mit dem faseroptischen 712, 722 Kabel zum Einkoppeln von Licht in das faseroptische Kabel 712, 722 gekoppelt ist. Die Einkoppeleinrichtung kann dadurch mit einer

vorgegebenen Lichtintensität Licht in das faseroptische Kabel 712, 722 einspeisen.

[00117] Ferner kann ein faseroptische Kabel 712, 722 entlang der Axialrichtung 113 des Tunnels über eine Vielzahl von hintereinander angeordneter Tübbinganordnung 600, 700 verlaufen. So kann beispielsweise am Tunnelanfang an einer ersten Tübbinganordnung 600 eine Einkoppeleinrichtung angeschlossen werden, welche das Licht in das entsprechende faseroptische Kabel 712, 722 einspeist. Am Tunnelende kann beispielsweise an der letzten Tübbinganordnung 700 die Messeinrichtung 701 angeschlossen werden.

[00118] Ferner das entsprechende faseroptische Kabel 712, 722 entlang einer ersten Richtung entlang der Tübbinganordnungen 600, 700 von einem Tunnelanfang bis zu einem Tunnelende entlang der Axialrichtung 113 verlaufen. Am Tunnelende kann eine Schleife des entsprechende faseroptische Kabel 712, 722 ausgebildet werden, so dass das entsprechende faseroptische Kabel 712, 722 entlang einer zweiten Richtung entlang der Tübbinganordnungen 600, 700 von dem Tunnelende bis zu dem Tunnelanfang entlang der Axialrichtung 113 verlaufen. So kann am Tunnelanfang in einem Tübbingelement 710, 720 die Einkoppeleinrichtung und die Messeinrichtung 701 angeordnet werden und somit von einer Stelle die gesamte Dehnungsmessung für den gesamten Tunnel durchgeführt werden. Das entsprechende faseroptische Kabel 712, 722 kann zwischen den Tübbinganordnungen 600, 700 unterbrochen sein und mittel optischen Steckverbindungen optisch gekoppelt werden.

[00119] Zudem kann beispielsweise in der Tunnelmitte an einer Tübbinganordnung 600, 700 eine portable Messeinrichtung an das faseroptische Kabel 712, 722 angeschlossen werden. Bei einer Zerstörung des faseroptischen Kabels 712, 722 in der Tunnelmitte kann beispielsweise der jeweilige Bereich von der Zerstörungsstelle bis zu dem Tunnelende dennoch gemessen werden.

[00120] Ferner kann ein Signalsplitter angeordnet werden, welche einen Teil des Lichts weiterleitet und einen anderen Teil reflektiert. Somit kann an der Einspeisestelle ebenfalls eine Messeinrichtung angeordnet werden, um das reflektierte Licht zu messen. Zudem ist es möglich entlang eines längeren Tunnels Lichtverstärker anzuordnen, um die Signalintensität zu erhöhen.

[00121] Fig. 8 zeigt eine schematische Darstellung eines verformten Tübbingelements 100 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das Tübbingelement 100 wird eine einer bestimmten Stelle entlang des ersten Oberflächenbereich 106 Lokal belastet und überdehnt (siehe Stelle c').

[00122] Fig. 9 zeigt ein Diagramm einer Dehnungsänderung entlang einer Messstrecke 401 des Tübbingelements 100 aus Fig. 8. in dem Diagramm wird exakt die lokal belastete Stelle c' ersichtlich. Es ist somit mit der vorliegenden Erfindung möglich, lokal anderes Dehnungsverhalten zu erkennen.

[00123] Fig. 10 zeigt ein Tübbingelement 100 mit einem Referenzbereich 1001 bzw. einer Referenzstrecke des faseroptischen Kabels 102 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Referenzbereich 1001 ist kraftübertragungsfrei an dem Tübbingkörper 101 angeordnet, so dass eine Referenzdehnung des faseroptischen Kabels 102 messbar ist. Dies kann z.B. realisiert werden, indem das faseroptische Kabel 102 in einem Abschnitt im Tübbingkörper 101 lose in einem Leerrohr 1002 geführt ist.

[00124] Bei einer kraftübertragungsfreien Kopplung des faseroptischen Kabels 102 an dem Tübbingkörper 101 wird keine Kraft zwischen diesem Bereich des faseroptischen Kabels 102 und dem Tübbingkörper 101 übertragen. Somit werden ebenfalls keine Dehnungen übertragen. In diesem Referenzbereich 1001 des faseroptischen Kabels werden Dehnungsänderung ausschließlich durch äußere Einflüsse, wie beispielsweise durch Temperaturschwankungen, verursacht. Die gemessene Referenzdehnung kann den Messwerten der Dehnungsänderung der angrenzenden Bereiche des faseroptischen Kabels 102 zu Grunde gelegt werden. Mittels des Referenzwerts der Referenzdehnung kann somit ein Messergebnis der angrenzenden Bereiche des faseroptischen Kabels 102 bereinigt werden, so dass eine Dehnungsänderung des faseroptischen

tische Kabels 102 berechnet werden können, welche ausschließlich durch eine Dehnungsänderung des Tübbingkörpers 101 und nicht durch äußere Einflüsse verursacht wurden.

[00125] Der Referenzbereich 1001 bzw. die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels 102 kann ferner mit einer vorbestimmten Dehnung an dem Tübbingkörper 101 angeordnet sein. Indem die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels 102 mit einer vorbestimmten Dehnung an dem Tübbingkörper 101 angeordnet ist, kann somit ein bestimmtes Tübbingelement 100 identifiziert werden. Beispielsweise können eine Vielzahl von Tübbingelementen 100 hergestellt werden, wobei jedes einzelne eine individuelle vorbestimmte Dehnung des faseroptischen Kabels 102 in dem Referenzbereich 1001 bzw. der Referenzstrecke aufweist. Somit kann jedes der vielen Tübbingelemente 100 zugeordnet und katalogisiert werden.

[00126] Fig. 11 zeigt eine schematische Darstellung eines faseroptischen Kabels 102 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform. Das faseroptische Kabel 102 weist einen Kernbereich 1100 und einen Schutzmantel 1101, welcher den Kernbereich 1100 umhüllt, auf. Der Schutzmantel 1101 weist eine strukturierte Oberfläche auf, welche mit dem Tübbingkörper 101 kraftschlüssig gekoppelt ist. In dem Kernbereich 1100 verläuft bzw. verlaufen insbesondere im Kern 1004 die Faser bzw. die Fasern des faseroptischen Kabels 102. In dem Kernbereich 1100 kann um den Kern 1004 ein Mantel 1104 angeordnet sein, welcher wiederum von einer Beschichtung 1102 umhüllt sein kann.

[00127] Fig. 12 zeigt ein in der Zeichenebene abgerolltes Tübbingelement 100, welches in Messsegmente 1201 gemäß eingeteilt ist.

[00128] Das faseroptische Kabel 102 verläuft entlang des ersten Oberflächenbereichs 106 und des zweiten Oberflächenbereichs 107 in einer Schlaufe, wobei Enden des faseroptischen Kabels 102 in dem Anschlussbereich 105 münden.

[00129] Alternativ können zwei getrennte faseroptische Kabel eingesetzt werden, wobei eines entlang des ersten Oberflächenbereichs 106 und das andere entlang des zweiten Oberflächenbereichs 107 verlaufen. Mit der Einteilung des Tübbingkörpers 101 in eine Vielzahl von Messsegmenten 1201, kann eine Diskretisierung des kontinuierlichen Dehnungsverlaufs analog zur numerischen Diskretisierung mittels Finiter Elemente durchgeführt werden. Die Feinheit der Diskretisierung ist dabei von der Ortsauflösung des Messsystems abhängig. Mit den erhaltenen Messdaten kann die Lage der Neutralen Dehnungsachse bzw. Neutralachse 201 bestimmt werden.

[00130] Fig. 13 und Fig. 14 zeigen schematische Darstellungen eines nicht gekrümmten und eines gekrümmten Messsegments 1201 aus Fig. 12.

[00131] Die Krümmung k bzw. der Krümmungsradius r eines Messsegments 1201 kann dabei aus den Dehnungsmessungen der Abschnitte des faseroptischen Kabels 102 in den jeweiligen Oberflächenbereichen 106, 107 (bzw. s_1 , s_2) ermittelt werden:

$$K = \frac{1}{r} = \frac{\epsilon_{s1} - \epsilon_{s2}}{d}$$

[00132] Dadurch kann ferner die Lage der Neutralachse 201 bestimmt werden. Durch numerische Integration der Dehnungswerte bzw. der Dehnungsänderung kann auf die Biegeverformung des gesamten Tübbingelements 100 rückgeschlossen werden.

[00133] Fig. 15 zeigt einen Tübbingkörper 101 mit einem mäanderförmigen Verlauf des faseroptischen Kabels 102 gemäß einer beispielhaften Ausführungsform. Mit einem mäanderförmigen Verlauf des faseroptischen Kabels 102 kann eine engmaschige Abdeckung mit dem faseroptischen Kabel 102 entlang des Tübbingkörpers 101 erreicht werden, ohne dass Überschneidungen oder Quetschstellen des faseroptischen Kabels 102 notwendig sind.

[00134] Fig. 16 bis Fig. 18 zeigen schematische Darstellungen eines Tübbingkörpers 101 mit einem Verlauf des faseroptischen Kabels 102, bei welchem sich jeweils drei Abschnitte I, II, III des faseroptischen Kabels 102 oder verschiedener faseroptischer Kabel in einem Kreuzungs-

punkt 1601 kreuzen. Insbesondere besteht in einem Kreuzungspunkt 1601 zwischen den Kabelabschnitten I, II, III jeweils ein Winkel von ungefähr $\alpha=60$ Grad. In den Fig. 16 bis Fig. 18 sind mehrere Kreuzungspunkte 1601 dargestellt, wobei zur besseren Übersicht lediglich zwei Kreuzungspunkte 1601 mit Bezugszeichen versehen sind.

[00135] Die Kabelabschnitte I, II, III in dem Kreuzungspunkten 1601 liegen dabei in Dickenrichtung, d.h. zum Beispiel entlang der Radialrichtung 114 bzw. entlang der Dicke des Tübbingkörpers 102, übereinander. Die Kabelabschnitte I, II, III können sich dabei berühren oder beabstandet sein. Weisen alle drei Kabelabschnitte I, II, III im Kreuzungspunkt unterschiedliche Richtungen auf, kann man aus den jeweiligen eindimensionalen Messungen der Dehnungsänderung entlang der Faserabschnitte I, II, III eine flächenhafte Dehnung berechnen.

[00136] Mit dem Verlegungsmuster des faseroptischen Kabels 102 in Fig. 16 können mit einem einzigen faseroptischen Kabels 102 alle erforderlichen Messdaten erfasst werden können.

[00137] In Fig. 17 und Fig. 18 werden um die Kreuzungspunkte 1601 ferner Dehnungsellipsen 1701 dargestellt. Im Nullzustand, d.h. in einem dehnungsfreien Zustand des Tübbingkörpers 101, können die Dehnungsellipsen 1701 als Kreise dargestellt werden (Fig. 17). Durch die Messung der Dehnungen entlang der drei Kreuzungsrichtungen (Längsrichtungen am Kreuzungspunkt 1601) der drei Kabelabschnitte I, II, III können die Hauptdehnungen sowie deren Orientierung berechnet werden. Bei einem Winkel von $\alpha=60^\circ$ zwischen den Dehnungsmessungen bzw. Kabelabschnitten I, II, III ergeben sich die Hauptdehnungen und die Orientierung der Dehnungsellipsen 1701.

[00138] In Fig. 18 werden die Dehnungsellipsen 1701 in einem Tübbingkörper 101 in einem Verformungszustand, das heißt unter Einwirkung einer Dehnungsänderung dargestellt. Die Dehnungsellipsen 1701 werden abgeleitet aus den eindimensionalen faseroptischen Dehnungsmessungen entlang der Längsrichtung der entsprechenden drei Kabelabschnitte I, II, III.

[00139] Mit der Verwendung des faseroptischen Kabels 102 gemäß der vorliegenden Erfindung können insbesondere lokalen Verformungsspitzen bestimmt werden. Insbesondere kann mit dem Verlegungsmuster des faseroptischen Kabels 102 insbesondere aus Fig. 16 bis Fig. 18 und der Auswertung der Dehnungswerte flächenhafte Dehnungen und die Biegeverformung des Tübbingkörpers 102 bestimmt werden.

[00140] Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass "umfassend" keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und "eine" oder "ein" keine Vielzahl ausschließt, Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden ist, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

BEZUGSZEICHENLISTE:

100	Tübbingelement	700	weitere Tübbinganordnung
101	Tübbingkörper	701	Messeinrichtung
102	faseroptisches Kabel	702	Verbindungskabel
103	Anfangsbereich	703	weiteres Verbindungskabel
104	Endbereich		
105	Anschlussbereich	711	erster Tübbingkörper
106	erster Oberflächenbereich	712	erstes faseroptisches Kabel
107	zweiter Oberflächenbereich	715	erster Anschlussbereich
108	erster Randbereich		
109	zweiter Randbereich	721	zweiter Tübbingkörper
110	Steckerverbindung	722	zweites faseroptisches Kabel
111	Temperatursensor	725	zweiter Anschlussbereich
112	Umfangsrichtung		
113	Axialrichtung	801	lokaler Dehnungsbereich
114	Radialrichtung		
115	Einkoppeleinrichtung	1001	Referenzbereich
		1002	Leerrohr
201	Neutralachse		
		1100	Kernbereich
401	Messstrecke	1101	Schutzmantel
402	Dehnungsänderung	1102	Beschichtung
		1103	Mantel
600	Tübbinganordnung	1104	Kern
610	erstes Tübbingelement	1201	Messegment
620	zweites Tübbingelement	1601	Kreuzungspunkt
		1701	Dehnungsellipse

Patentansprüche

1. Tübbingelement (100) für eine Tübbinganordnung (600) zur Innenausschalung eines Tunnels, wobei das Tübbingelement (100) aufweist:
einen Tübbingkörper (101),
ein faseroptisches Kabel (102), welches an dem Tübbingkörper (101) derart befestigt ist, dass eine Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) auf das faseroptische Kabel (102) übertragbar ist, wobei das faseroptische Kabel (102) sich entlang einer Messstrecke (401) entlang des Tübbingkörpers (101) erstreckt,
wobei das faseroptische Kabel (102) entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper (101) befestigt ist, wobei das faseroptische Kabel (102) an eine optische Messeinrichtung (701) zum optischen Messen einer Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) entlang der gesamten Messstrecke (401) anschließbar ist, und wobei die Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) indikativ für die Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) ist.
2. Tübbingelement (100) gemäß Anspruch 1,
wobei das faseroptische Kabel (102) derart an dem Tübbingkörper (101) angeordnet ist, dass vorbestimmte Kabelabschnitte vorbestimmten Tübbingkörperabschnitten zugeordnet sind.
3. Tübbingelement (100) gemäß Anspruch 1 oder 2,
wobei das faseroptische Kabel (102) einen Anfangsbereich (103) und einen gegenüber vom Anfangsbereich (103) liegenden Endbereich (104) aufweist, zwischen welchen sich die Messstrecke (401) ausbildet, wobei der Anfangsbereich (103) und der Endbereich (104) in einem Anschlussbereich (105) des Tübbingkörpers (101) angeordnet sind, wobei sich das faseroptische Kabel (102) aus dem Anschlussbereich (105) schlaufenartig entlang des Tübbingkörpers (101) erstreckt.
4. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das faseroptische Kabel (102) mäanderförmig entlang des Tübbingkörpers (101) verläuft.
5. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das faseroptische Kabel (102) derart entlang des Tübbingkörpers (101) verläuft, dass sich zumindest drei Kabelabschnitte des faseroptischen Kabels (102) in einem Kreuzungspunkt (1701) kreuzen.
6. Tübbingelement (100) gemäß Anspruch 5,
wobei in dem Kreuzungspunkt (1701) zwischen den Kabelabschnitten jeweils ein Winkel von 60 Grad besteht.
7. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6,
wobei das faseroptische Kabel (102) entlang eines ersten Oberflächenbereichs (106) des Tübbingkörpers (101) verläuft.
8. Tübbingelement (100) gemäß Anspruch 7,
wobei das faseroptische Kabel (102) entlang eines zweiten Oberflächenbereichs (107) des Tübbingkörpers (101) verläuft, wobei der zweite Oberflächenbereich (107) dem ersten Oberflächenbereich (106) des Tübbingkörpers (101) gegenüberliegt.
9. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8,
wobei der Tübbingkörper (101) eine Neutralachse (201) aufweist, welche von einem ersten Randbereich (108) zu einem gegenüberliegenden zweiten Randbereich (109) innerhalb des Tübbingkörpers (101) verläuft,
wobei die Neutralachse (201) derart verläuft, dass bei einer Verbiegung des Tübbingkörpers (101) keine Dehnungsänderung (402) der Neutralachse (201) stattfindet,
wobei insbesondere ein Bereich des faseroptischen Kabels (102) entlang der Neutralachse (201) angeordnet ist.

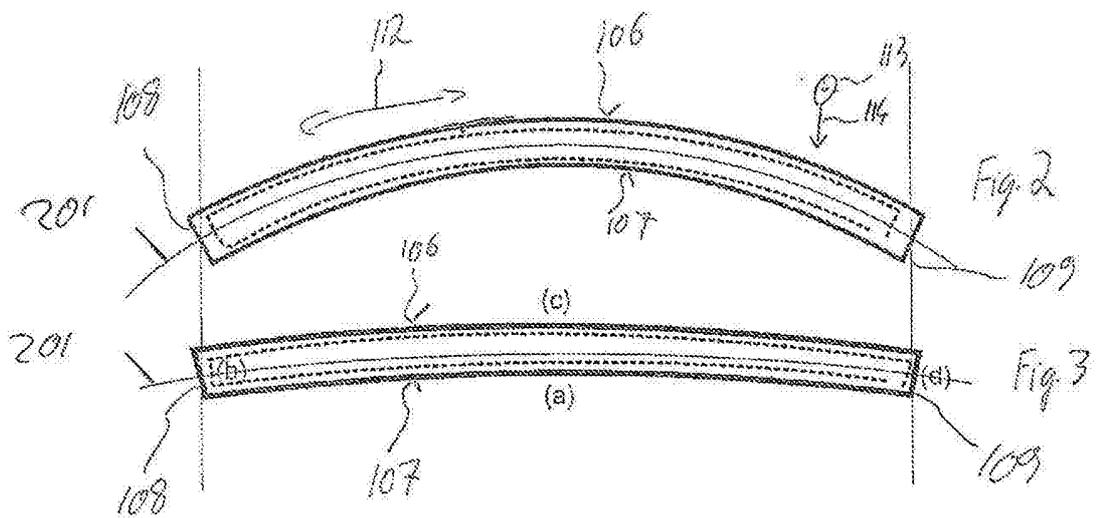
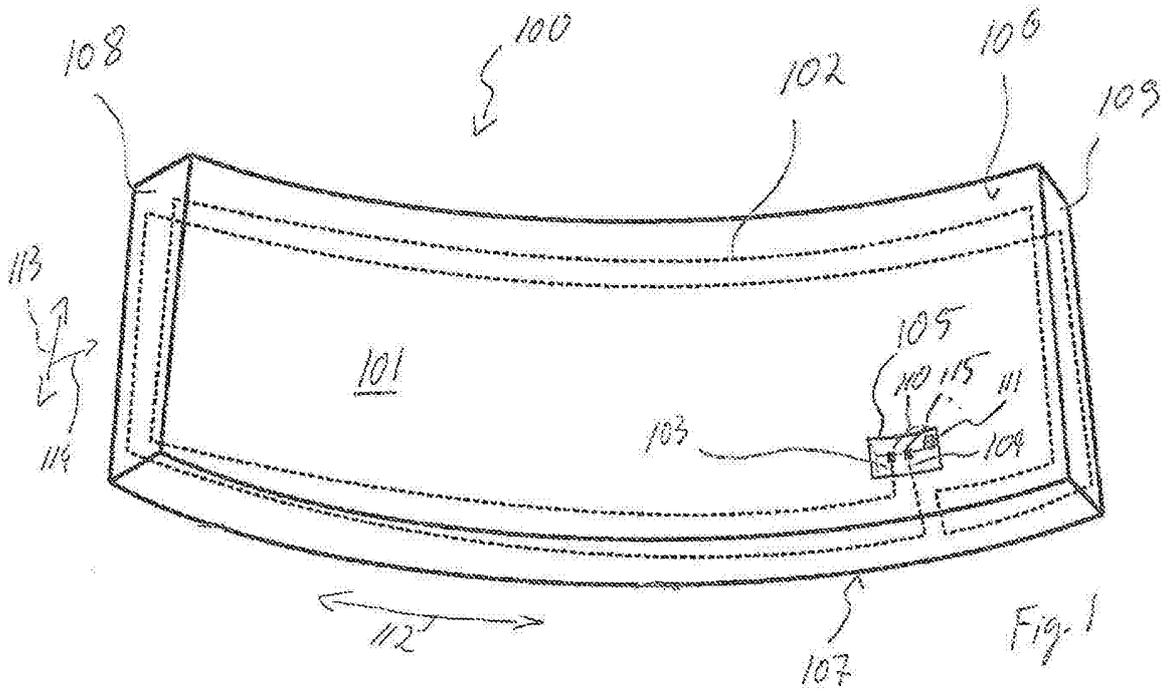
10. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das faseroptische Kabel (102) in den Tübbingkörper (101) eingebettet ist.
11. Tübbingelement (100) gemäß Anspruch 10, wobei das faseroptische Kabel (102) einen Kernbereich (1100) und einen Schutzmantel (1101), welcher den Kernbereich (1100) umhüllt, aufweist, wobei der Schutzmantel (1101) eine strukturierte Oberfläche aufweist, welche mit dem Tübbingkörper (101) kraftschlüssig gekoppelt ist.
12. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, ferner aufweisend ein weiteres faseroptisches Kabel, welches an dem Tübbingkörper (101) derart befestigt ist, dass eine weitere Dehnungsänderung des Tübbingkörpers (101) auf das weitere faseroptische Kabel übertragbar ist, wobei das weitere faseroptische Kabel sich entlang einer weiteren Messstrecke (401) entlang des Tübbingkörpers (101) erstreckt, wobei das weitere faseroptische Kabel an die optische Messeinrichtung (701) zum optischen Messen einer weiteren Dehnungsänderung des weiteren faseroptischen Kabels entlang der weiteren Messstrecke (401) anschließbar ist, und wobei die weitere Dehnungsänderung des weiteren faseroptischen Kabels indikativ für die weitere Dehnungsänderung des Tübbingkörpers (101) ist.
13. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Tübbingkörper (101) ein kreissegmentartiges, schalenförmiges Profil ausbildet.
14. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13, ferner aufweisend die optische Messeinrichtung (701), wobei die optische Messeinrichtung (701) an dem Tübbingkörper (101) angeordnet ist.
15. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14, ferner aufweisend eine Einkoppeleinrichtung, welche mit dem faseroptischen Kabel (102) zum Einkoppeln von Licht in das faseroptische Kabel (102) gekoppelt ist.
16. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das faseroptische Kabel (102) eine Steckerverbindung (110) aufweist, an welcher die optische Messeinrichtung (701) oder ein weiteres faseroptisches Kabel lösbar ansteckbar ist,
17. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei das faseroptische Kabel (102) einen Referenzbereich (1001) mit einer Referenzstrecke des faseroptischen Kabels aufweist, wobei die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels kraftübertragungsfrei an dem Tübbingkörper (101) angeordnet ist, so dass eine Referenzdehnung des faseroptischen Kabels (102) messbar ist, oder wobei die Referenzstrecke des faseroptischen Kabels mit einer vorbestimmten Dehnung an dem Tübbingkörper (101) angeordnet ist.
18. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17, ferner aufweisend einen Temperatursensor (111), welcher an dem Tübbingkörper (101) zum Messen einer Temperatur des Tübbingkörpers (101) angeordnet ist, wobei der Temperatursensor (111) an die optische Messeinrichtung (701) anschließbar ist.
19. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 18, wobei die optische Messeinrichtung (701) eine Speichervorrichtung aufweist, und wobei die Speichereinrichtung konfiguriert ist, die Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) über ein bestimmtes Zeitintervall zu speichern.
20. Tübbingelement (100) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 19, ferner aufweisend einen Ankoppelstecker, welcher mit dem faseroptischen Kabel (102) gekoppelt ist, wobei der Ankoppelstecker zur Ankopplung einer portablen Messeinrichtung konfiguriert ist.

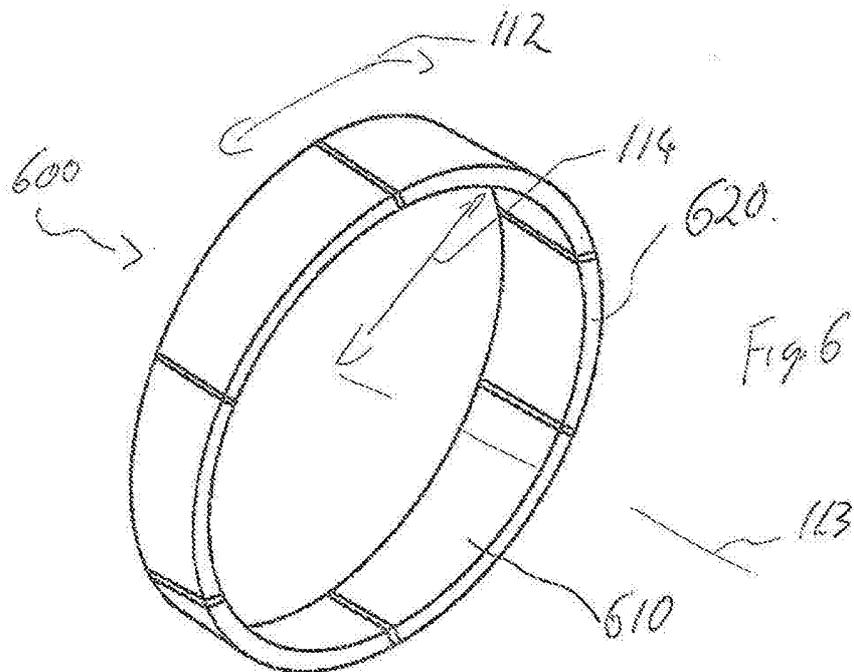
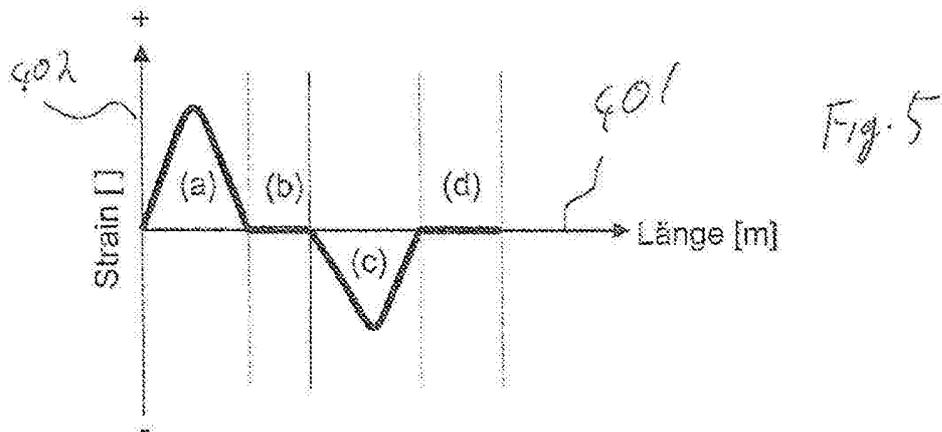
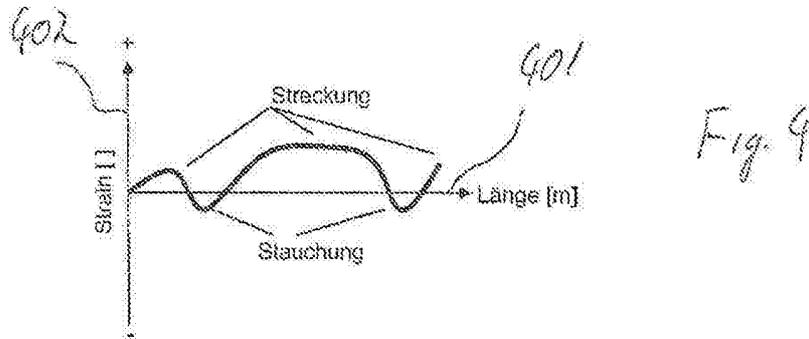
21. Tübbinganordnung (600) zur Innenausschalung eines Tunnels, die Tübbinganordnung (600) aufweisend ein erstes Tübbingelement (610) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, mit einem ersten Tübbingkörper (711), und ein zweites Tübbingelement (620) mit einem zweiten Tübbingkörper (721), wobei der erste Tübbingkörper (711) an dem zweiten Tübbingkörper (721) befestigt ist.
22. Tübbinganordnung (600) gemäß Anspruch 21, wobei ein erstes faseroptisches Kabel (712) an dem zweiten Tübbingkörper (721) derart befestigt ist, dass eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers (721) auf das erste faseroptische Kabel (712) übertragbar ist, wobei das erste faseroptische Kabel (712) sich ferner entlang der Messstrecke (401) entlang des zweiten Tübbingkörpers (721) erstreckt.
23. Tübbinganordnung (600) gemäß Anspruch 21 oder 22, wobei das zweite Tübbingelement (620) ein zweites faseroptisches Kabel (722) aufweist, welches an dem zweiten Tübbingkörper (721) derart befestigt ist, dass eine zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers (721) auf das zweite faseroptische Kabel (722) übertragbar ist, wobei das zweite faseroptische Kabel (722) sich entlang einer zweiten Messstrecke (401) entlang des zweiten Tübbingkörpers (721) erstreckt, wobei das zweite faseroptische Kabel (722) an die optische Messeinrichtung (701) oder eine weitere optische Messeinrichtung zum optischen Messen einer zweiten Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels (722) entlang der zweiten Messstrecke (401) anschließbar ist, und wobei die zweite Dehnungsänderung des zweiten faseroptischen Kabels (722) indikativ für die zweite Dehnungsänderung des zweiten Tübbingkörpers (721) ist.
24. Tübbinganordnung (600) gemäß einem der Ansprüche 21 bis 23, wobei das zweite Tübbingelement (620) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 ausgebildet ist.
25. Verfahren zur Messung einer Dehnungsänderung (402) eines Tübbingelements (100) für eine Tübbinganordnung (600) zur Innenausschalung eines Tunnels, wobei das Verfahren aufweist:
Messen einer Dehnungsänderung (402) eines faseroptischen Kabels (101) entlang einer gesamten Messstrecke (401), wobei das faseroptische Kabel (102) an einem Tübbingkörper (101) des Tübbingelements (100) derart befestigt ist, dass eine Dehnungsänderung (401) des Tübbingkörpers (101) auf das faseroptische Kabel (102) übertragbar ist, wobei das faseroptische Kabel (102) sich entlang der Messstrecke (401) entlang des Tübbingkörpers (101) erstreckt, wobei das faseroptische Kabel (102) entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper (101) befestigt ist, wobei das faseroptische Kabel (102) an eine Messeinrichtung (701) zum optischen Messen der Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (101) entlang der Messstrecke (401) anschließbar ist, und wobei die Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) indikativ für die Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) ist.
26. Verfahren gemäß Anspruch 25, wobei das faseroptische Kabel (102) entlang eines ersten Oberflächenbereichs (106) des Tübbingkörpers (101) und entlang eines zweiten Oberflächenbereichs (107) des Tübbingkörpers (101) verläuft, wobei der zweite Oberflächenbereich (107) dem ersten Oberflächenbereich (106) des Tübbingkörpers (101) gegenüberliegt, wobei der Schritt des Messens der Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) entlang der Messstrecke (401) ferner aufweist:
Messen einer ersten Dehnungsänderung des ersten Oberflächenbereichs (106),
Messung einer zweiten Dehnungsänderung des zweiten Oberflächenbereichs (107),

Bestimmung einer Neutralachse (201) mittels Vergleichs der ersten Dehnungsänderung und der zweiten Dehnungsänderung, wobei die Neutralachse (201) zwischen einem ersten Randbereich (108) und einem gegenüberliegenden zweiten Randbereich (109) innerhalb des Tübbingkörpers (101) verläuft,
wobei die Neutralachse (201) derart verläuft, dass bei einer Verbiegung des Tübbingkörpers (101) keine Dehnungsänderung (402) der Neutralachse (201) stattfindet.

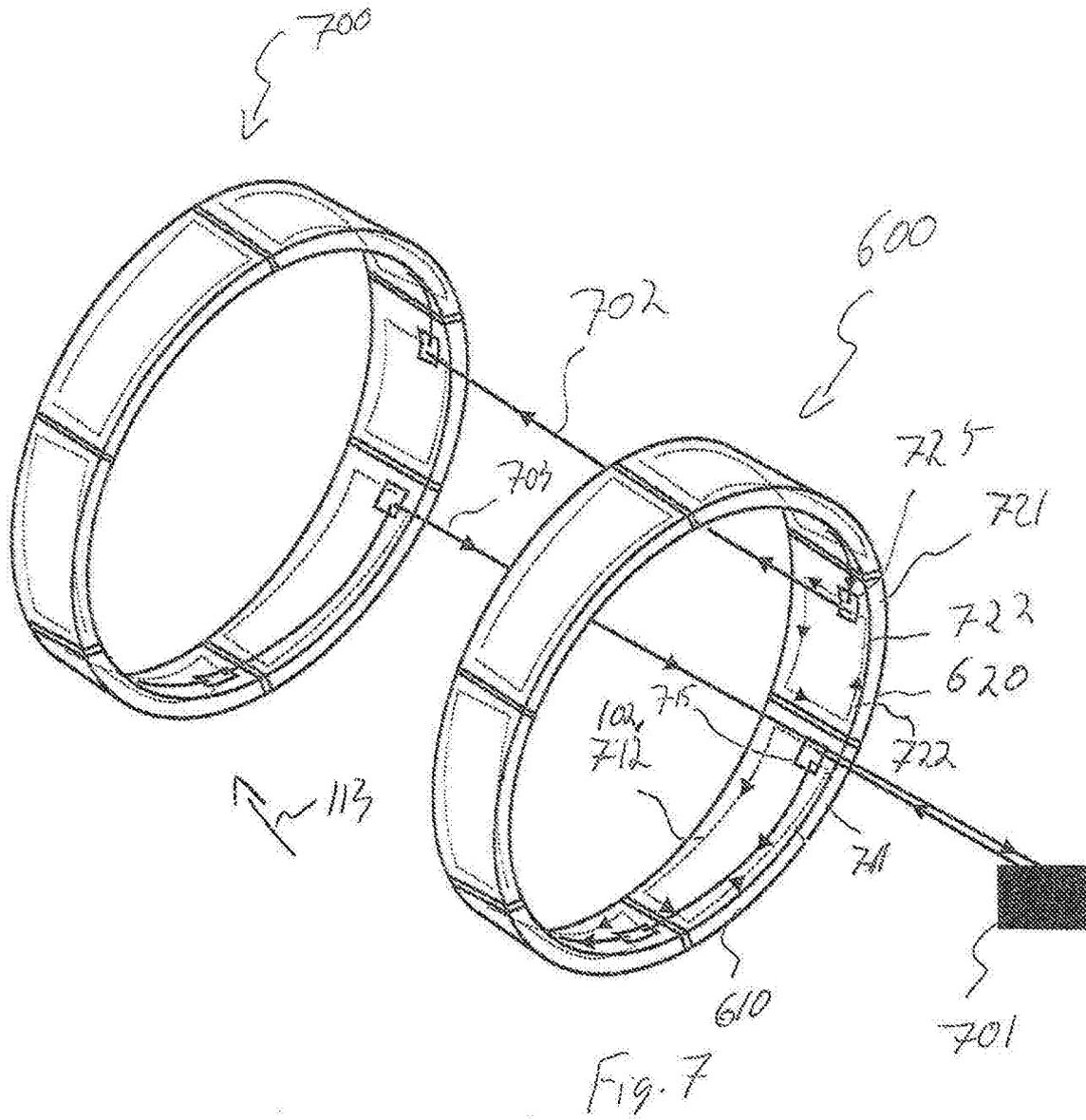
27. Verfahren zur Herstellung eines Tübbingelements (100) für eine Tübbinganordnung (600) zur Innenausschalung eines Tunnels, wobei das Verfahren aufweist:
Befestigen eines faseroptischen Kabels (102) an einem Tübbingkörper (101) des Tübbingelements (100) derart, dass eine Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) auf das faseroptische Kabel (102) übertragbar ist, wobei das faseroptische Kabel (102) sich entlang einer Messstrecke (401) entlang des Tübbingkörpers (101) erstreckt,
wobei das faseroptische Kabel (102) entlang der gesamten Messstrecke kraftschlüssig mit dem Tübbingkörper (101) befestigt ist, wobei das faseroptische Kabel (102) an eine optische Messeinrichtung (701) zum optischen Messen einer Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) entlang der gesamten Messstrecke (401) anschließbar ist, und wobei die Dehnungsänderung (402) des faseroptischen Kabels (102) indikativ für die Dehnungsänderung (402) des Tübbingkörpers (101) ist.
28. Verfahren nach Anspruch 27,
wobei der Schritt des Befestigens eines faseroptischen Kabels (102) an dem Tübbingkörper (101) aufweist:
Bereitstellen eines Bewehrungsgitters,
Befestigen des faseroptischen Kabels (102) an dem Bewehrungsgitter,
und
Gießen des Tübbingkörpers (101), indem Betonmaterial um das Bewehrungsgitter gegossen wird, so dass das faseroptische Kabel (102) in dem Tübbingkörper (101) eingebettet wird.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

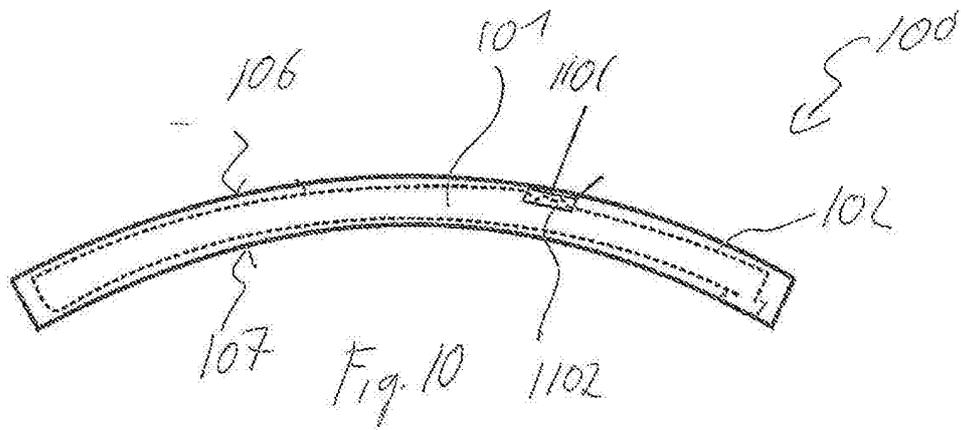
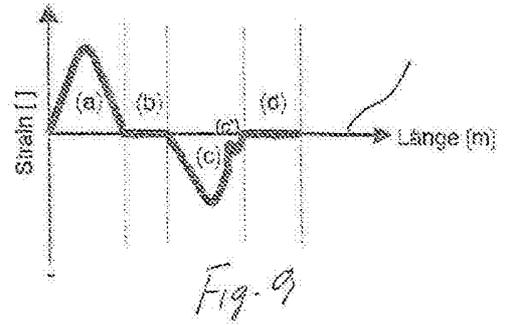
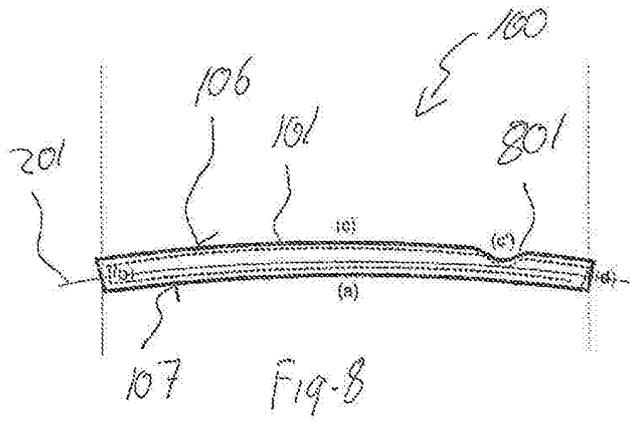




3/7



4/7



5/7

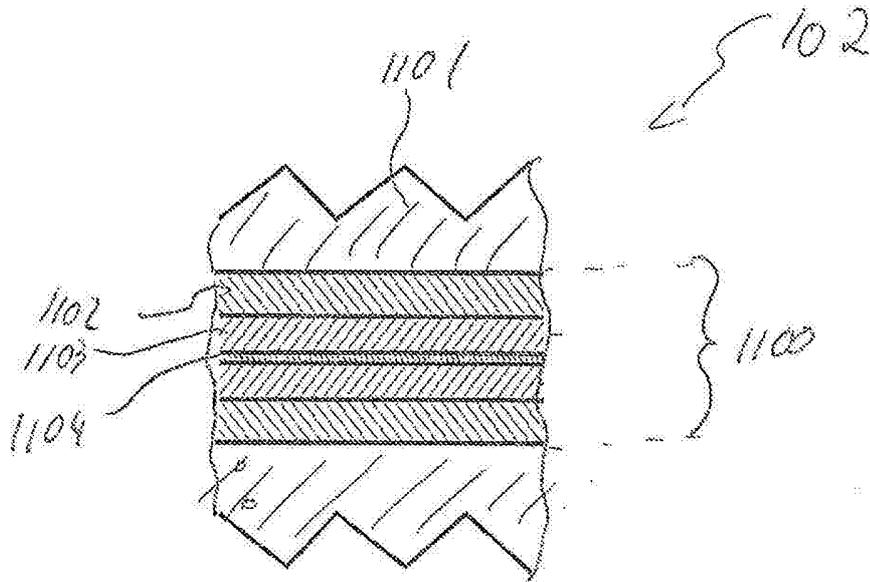


Fig. 11

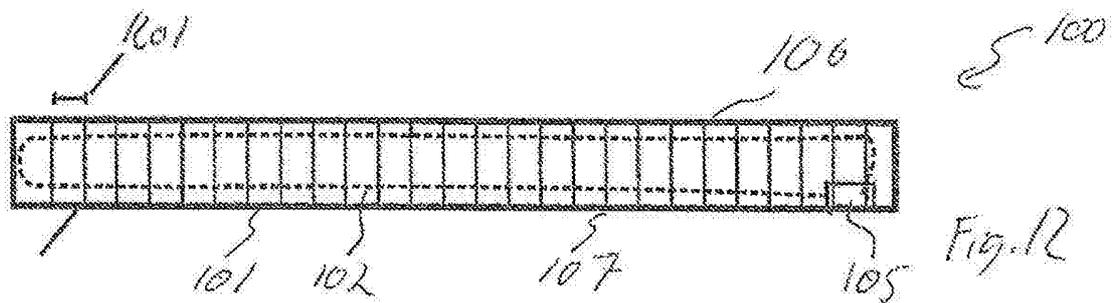


Fig. 12

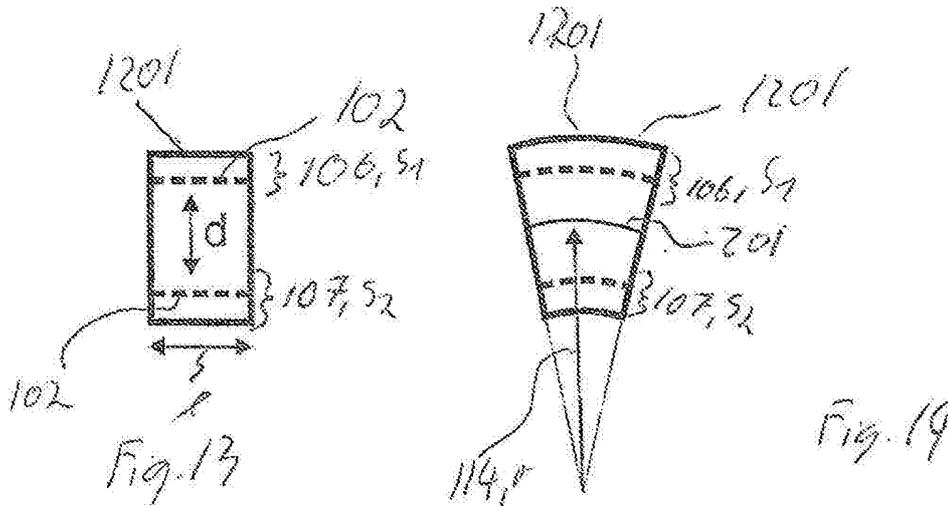
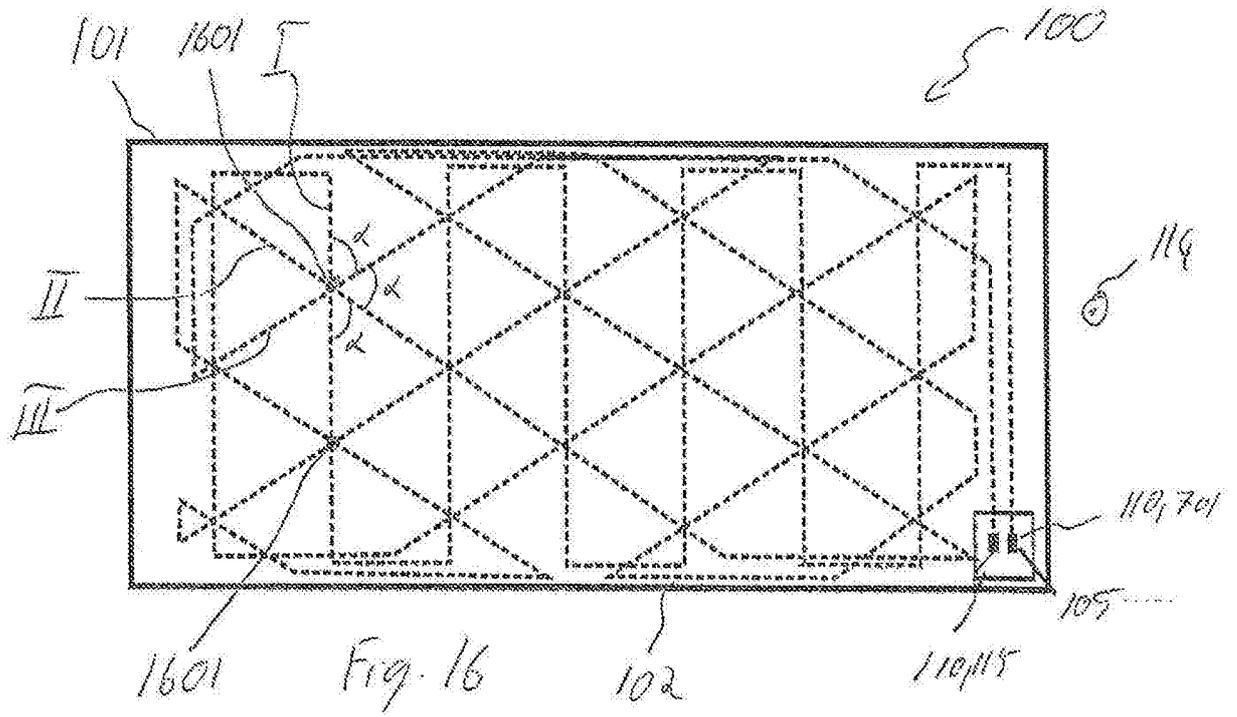
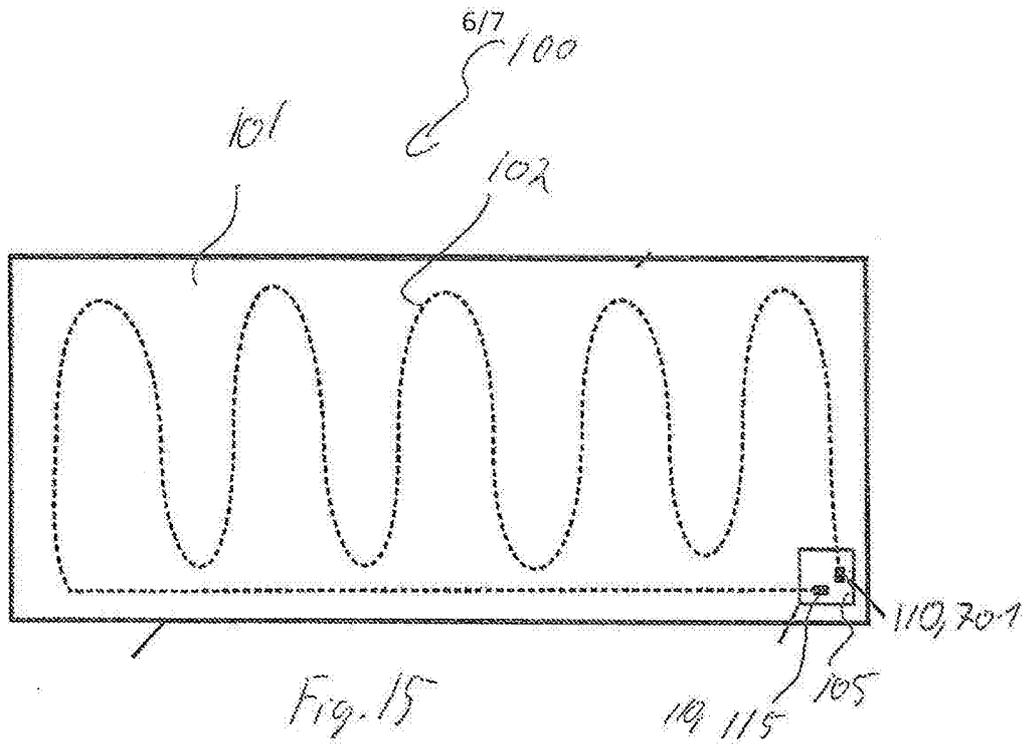


Fig. 13

Fig. 14



717

