



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 49 896 B4** 2007.06.21

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 49 896.2**
(22) Anmeldetag: **25.10.2002**
(43) Offenlegungstag: **19.05.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **21.06.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01L 1/24** (2006.01)
B60L 5/00 (2006.01)

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. 2 Patentkostengesetz).

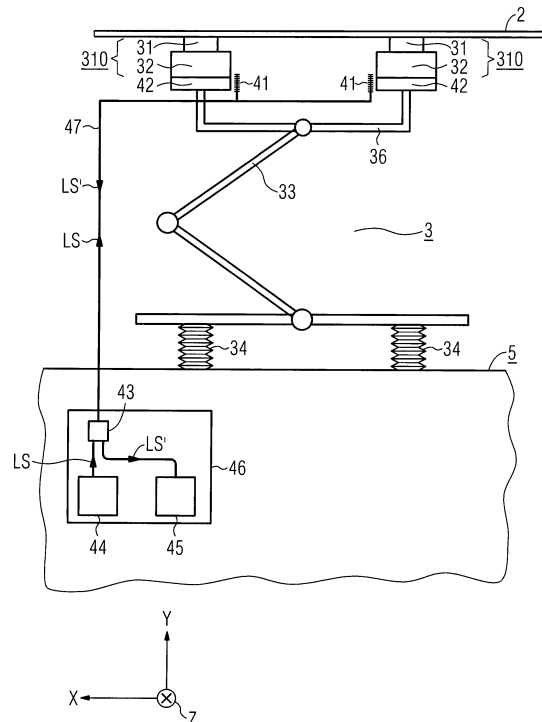
(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Bosselmann, Thomas, Dr., 91080 Marloffstein, DE;
Theune, Nils, 91052 Erlangen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 197 25 906 C1
EP 11 22 528 A2
eb-Elektrische Bahnen 100 (2002) 5, S. 182-188;

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zur Messung der Kontaktkraft eines Stromabnehmers**

(57) Hauptanspruch: Kontaktkraftmessverfahren, bei dem
a) die Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer (3) und einer Stromleitung (2) gemessen wird,
b) mindestens ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) am Stromabnehmer (3) angebracht wird,
c) der Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) unter dem Einfluss der Kontaktkraft mechanisch gedehnt wird,
d) ein in den Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) eingespeistes Lichtsignal (LS) aufgrund der mechanischen Dehnung in zumindest einer Wellenlänge verändert wird, und
e) die kontaktkraftbedingte Wellenlängenänderung ausgewertet wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Messung der Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer und einer Stromleitung

[0002] Ein Schienentriebfahrzeug wird über eine Stromleitung in Form einer Oberleitung mit elektrischer Energie versorgt. Die Zuführung der Energie erfolgt mittels eines Stromabnehmers (= Pantograph). Hierbei ist ein ausreichender Kontakts zwischen der Stromleitung und dem Stromabnehmer von entscheidender Bedeutung für die Funktionsfähigkeit des Schienentriebfahrzeugs. Die tatsächlich vorhandene Kontaktkraft bestimmt aber auch den Verschleiß und möglicherweise auch die Beschädigung der Stromleitung und des Stromabnehmers. Die Kontaktkraft ist die Kraft, mit der eine Schleifleiste des Stromabnehmers gegen die Oberleitung (= Fahrdrat) gedrückt wird. Eine zu hohe Kontaktkraft sorgt für erhöhten Verschleiß am Fahrdrat und Schleifleiste, eine zu niedrige führt zu einem mangelnden elektrischen Kontakt. Letzteres ist die Ursache für eine Lichtbogenbildung und damit wiederum für erhöhten Verschleiß. Eine korrekt eingestellte Kontaktkraft ist folglich auch von erheblicher wirtschaftlicher Bedeutung.

[0003] In dem Fachartikel „Aktiv geregelter, akustisch optimierter Einholmstromabnehmer“ von W. Baldauf et al., eb – Elektrische Bahnen 100 (2002) 5, Seiten 182 bis 188, wird eine aktive Regelung zur Einstellung der Kontaktkraft beschrieben. Für eine derartige Regelung ist auch eine korrekte Erfassung des aktuellen Werts der Kontaktkraft erforderlich.

[0004] Die Kontaktkraft wird bisher mittels Kraftmessdosen ermittelt. Diese sitzen an den Befestigungspunkten zwischen der Schleifleiste und der Stromabnehmerwippe. Üblicherweise ist an jedem Ende der Schleifleiste ein Kraftsensor vorhanden, so dass für eine Wippe mit typischerweise zwei Schleifleisten insgesamt vier Kraftsensoren eingesetzt werden. Die Summe aus den allen vier gemessenen Kräften ergibt die Kontaktkraft.

[0005] Derzeit sind als Kraftsensoren fast ausschließlich elektrische Dehnungsmessstreifen (= DMS) im Einsatz. Die zu messende Kraft wird in einen Verformungskörper eingeleitet, welcher den DMS dehnt. Ungünstig ist allerdings, dass diese Art von Kraftsensor eine elektrische Energieversorgung benötigt. Der gesamte Stromabnehmer inklusive Schleifleiste befindet sich auf Hochspannung, typischerweise zwischen 1,5 kV und 25 kV, bei der Deutschen Bahn insbesondere 15 kV. Das Dehnungsmessstreifen-System ist auf Hochspannungspotential angeordnet und wird beispielsweise mittels Batterie gespeist. Beim Einsatz zweier Motorradbatterien kann man eine Operationsdauer des Systems von

etwa 24 Stunden erreichen. Es gibt auch Versuche, die Energieversorgung direkt aus der Oberleitung zu gewinnen. Diese Lösungen sind jedoch sehr aufwändig und störanfällig.

[0006] Mit der DE 197 25 906 C1 wird eine faseroptische Einrichtung zur Ermittlung der Kontaktkraft offenbart. Diese arbeitet mit einem so genannten Faserführlhebel-Sensor. Die zu messende Kraft wird auf ein Federelement eingeleitet, welches sich verbiegt. Die Biegung wird als Wegänderung gemessen. Um eine ausreichende Auflösung zu erzielen, sind entsprechend große Wegänderungen nötig, dies bedingt bei einem typischen zwischen Schleifleiste und Oberleitung vorhandenen Anpressdruck von zwischen 70 N und 100 N verhältnismäßig große, d.h. voluminöse, Federelemente. Das erforderliche Bauvolumen steht aber im Widerspruch zu den aerodynamischen Anforderungen an einen Stromabnehmer, speziell bei einem Hochgeschwindigkeitszug. Die einschlägige Norm fordert nämlich, dass durch den Einbau von Sensorik der Luftwiderstand um nicht mehr als 5% ansteigen darf.

[0007] In der EP 1 122 528 A1 ist eine Anordnung und ein Verfahren zur Erfassung von Dehnungen und Temperaturen sowie deren Veränderungen einer auf einem Träger applizierten Deckschicht mittels Faser-Bragg-Gitter-Sensoren angegeben. Dabei ist ein mit Faser-Bragg-Gittern versehener Lichtwellenleiter auf einem Träger aufgebracht und vollständig oder teilweise von einer Deckschicht, insbesondere einem Lack, umgeben. Hierbei wird die Strukturdehnung und die Oberflächentemperatur der applizierten Deckschicht bestimmt.

[0008] Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und eine Einrichtung anzugeben, die verglichen mit dem Stand der Technik eine verbesserte Erfassung der Kontaktkraft ermöglichen.

[0009] Zur Lösung der das Verfahren betreffenden Aufgabe wird ein Verfahren entsprechend den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 angegeben.

[0010] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren handelt es sich um ein Verfahren zur Messung der Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer und einer Stromleitung, bei dem

- a) mindestens einen Faser-Bragg-Gitter-Sensor am Stromabnehmer angebracht wird,
- b) der Faser-Bragg-Gitter-Sensor unter dem Einfluss der Kontaktkraft mechanisch gedehnt wird,
- c) ein in den Faser-Bragg-Gitter-Sensor eingespeistes Lichtsignal aufgrund der mechanischen Dehnung in seinem Wellenlängengehalt verändert wird, und
- d) die kontaktkraftbedingte Wellenlängenänderung ausgewertet wird.

[0011] Zur Lösung der die Einrichtung betreffenden Aufgabe wird eine Einrichtung entsprechend den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 9 angegeben.

[0012] Bei der erfindungsgemäßen Einrichtung handelt es sich um eine Einrichtung zur Messung der Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer und einer Stromleitung umfassend mindestens

- a) einen als Faser-Bragg-Gitter-Sensor ausgebildeten Kraftsensor, der am Stromabnehmer so angeordnet ist, dass der Faser-Bragg-Gitter-Sensor unter dem Einfluss der Kontaktkraft mechanisch gedehnt wird,
- b) Einspeisemittel zur Einspeisung eines Lichtsignals mit einem vorbestimmten Wellenlängengehalt in den Faser-Bragg-Gitter-Sensor, wobei die mechanische Dehnung eine Änderung des Wellenlängengehalts bewirkt, und
- c) Auswertemittel zur Auswertung der kontaktkraftbedingten Wellenlängenänderung.

[0013] Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, dass ein faseroptischer Sensor in Form eines Faser-Bragg-Gitter-Sensors eine deutlich verbesserte Erfassung der Kontaktkraft ermöglicht. Als optischer Sensor benötigt ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor keine elektrische Energieversorgung auf Hochspannungspotential. Vielmehr können die Energieversorgung und die Signalauslesung im Innern des Schienentriebfahrzeugs und damit auf Erdpotential erfolgen. Da ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor vom Wirkprinzip als optische Dehnungsmessstreifen verstanden werden kann, sind grundsätzlich die gleichen Konstruktionen wie beim Einsatz eines konventionellen elektrischen Dehnungsmessstreifens möglich, allerdings mit dem Vorteil einer intrinsischen Potentialtrennung aufgrund des optischen Wirkprinzips. Der Stromabnehmer, an dem der Faser-Bragg-Gitter-Sensor angeordnet ist, kann also ohne weiteres während des Messvorgangs unter elektrischer (Hoch)Spannung stehen. Andererseits hat ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor aber eine ähnliche hohe Empfindlichkeit wie ein elektrischer Dehnungsmessstreifen und benötigt deshalb im Gegensatz zu dem optischen Faserfühler-Sensor kein großvolumiges Federelement.

[0014] Mittels des Verfahrens und der Einrichtung gemäß der Erfindung lässt sich ein preiswertes On-line-Monitoring-System aufbauen, welches auf jedes Schienentriebfahrzeug montiert werden kann. Einschränkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit durch Aufladung einer Batterie treten bei diesem System dann nicht auf. Somit können die EU-Richtlinien zur Interoperabilität von Bahnsystemen leicht erfüllt werden.

[0015] Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens und der Einrichtung gemäß der Erfindung ergeben sich aus den von Anspruch 1 bzw. Anspruch 9 abhän-

gigen Ansprüchen.

[0016] Bevorzugte, jedoch keinesfalls einschränkende Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Zur Verdeutlichung ist die Zeichnung nicht maßstäblich ausgeführt, und gewisse Merkmale sind schematisiert dargestellt. Im einzelnen zeigen die:

[0017] [Fig. 1](#) eine Einrichtung zur Messung der Kontaktkraft eines Stromabnehmers,

[0018] [Fig. 2](#) einen Stromabnehmer mit zusätzlichem Dehnungselement für einen Faser-Bragg-Gitter-Sensor,

[0019] [Fig. 3](#) eine Schleifleiste eines Stromabnehmers mit direkter Anbringung der Faser-Bragg-Gitter-Sensoren und

[0020] [Fig. 4](#) einen Stromabnehmer mit Federelement für einen Faser-Bragg-Gitter-Sensor.

[0021] Einander entsprechende Teile sind in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 4](#) mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0022] In [Fig. 1](#) ist eine Einrichtung zur Messung der Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer **3** eines Schienentriebfahrzeugs **5** und einer Stromleitung **2** dargestellt. Im Betrieb bewegt sich das Schienentriebfahrzeug **5** in x-Richtung fort. Die hierfür erforderliche Energie wird dem Schienentriebfahrzeug über die Stromleitung **2** zugeführt.

[0023] Der konstruktive Aufbau des an sich bekannten Stromabnehmers **3** umfasst im Wesentlichen eine Schleifleiste **310**, ein Haltegestell **36** für die Schleifleiste **310**, eine Wippe **33** sowie elektrische Isolatoren **34**, die die zuvor genannten Komponenten des Stromabnehmers **3** gegenüber dem Schienentriebfahrzeug **5** elektrisch isolieren. Die Schleifleiste **310** enthält einen Grundkörper **32** und ein Schleifelement **31**.

[0024] Zur Erfassung der Kontaktkraft zwischen dem Stromabnehmer **3** und der Stromleitung **2** sind optisch abfragbare Faser-Bragg-Gitter-Sensoren **41** vorgesehen. Sie sind an einem zusätzlichen zwischen der Schleifleiste **310** und dem Haltegestell **36** platzierten Dehnungselement **42** so angebracht, dass auch sie die zur Kontaktkraft proportionale Dehnung des Dehnungselements **42** erfahren. Die mechanische Dehnung bewirkt eine Verschiebung der Bragg-Wellenlänge des zugehörigen Faser-Bragg-Gitter-Sensors **41**. Dies bedeutet, dass ein Lichtsignal LS, das einen vorbestimmten Wellenlängengehalt aufweist und dem Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** über einen Lichtwellenleiter **47** zugeführt wird, bei Vorliegen einer entsprechenden Ände-

zung der Kontaktkraft in seinem Wellenlängengehalt verändert wird. Das im Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** in seinem Wellenlängengehalt veränderte Lichtsignal wird mit LS' bezeichnet. Die Wellenlängenänderung ist ein Maß für die Messinformation, also die Kontaktkraft. Das im Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** beeinflusste Lichtsignal LS' läuft im Lichtwellenleiter **47** zurück zu einer Sende/Empfangseinheit **46** und wird dort mittels einer Auswerteeinheit **45** detektiert. In der Auswerteeinheit **45** kommt ein in der Faser-Bragg-Sensorik üblicher Detektor zum Einsatz, vorzugsweise ein Polychromator mit CCD- oder Photodioden-Zeile. Aus dem detektierten Signal wird in der Auswerteeinheit **45** ein Messwert für die gesuchte Kontaktkraft bestimmt.

[0025] Die Sende/Empfangseinheit **46** enthält ferner eine Lichtquelle **44**, die das zur Abfrage benötigte Lichtsignal **42** mit dem vorbestimmten Wellenlängengehalt erzeugt. Ein Koppler **43** trennt ein- und ausgehende Lichtsignale LS bzw. LS' voneinander. Alle Komponenten der Sende/Empfangseinheit **46** befinden sich auf dem Potential des Schienentriebfahrzeugs **5**, also auf Erdpotential. Demgegenüber sind die Faser-Bragg-Gitter-Sensoren **41** auf Hochspannungspotential, nämlich im Wesentlichen dem Potential der Stromleitung **2**, angeordnet. Die erforderliche Potentialüberbrückung ist jedoch mittels der optischen Übertragungsstrecke über den Lichtwellenleiter **47** problemlos zu bewerkstelligen.

[0026] Im Beispiel von [Fig. 1](#) ist ein reflektiver Aufbau gezeigt. Ein anderer optischer Aufbau, beispielsweise ein transmissiver, ist grundsätzlich ebenfalls möglich.

[0027] Ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** ist sehr kompakt. Er hat typischerweise einen Durchmesser von ca. 200 µm und eine Länge von ca. 10 mm. Er kann damit an fast jedem Ort angebracht werden.

[0028] Beim Ausführungsbeispiel von [Fig. 1](#) ist ein zusätzliches Dehnungselement **42** (oder auch Deformationselement) zwischen der Schleifleiste **310** und der Wippe **33** angeordnet. Dieses Dehnungselement **42** ist so elastisch, dass eine Kontaktkraft von etwa 100 N eine Dehnung von vorzugsweise einigen 100 µstrain erzeugen kann. Damit lässt sich diese Dehnung durch einen beispielsweise einfach aufgeklebten Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** in Dehnungsmessstreifen-Form leicht messen.

[0029] Ein solcher Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** hat eine Vorzugsrichtung, d.h. er ist hauptsächlich auf eine Dehnung in eine bestimmte Wirkungsrichtung empfindlich. Je nach Orientierung kann man folglich eine andere Richtungskomponente der Kontaktkraft erfassen. Durch Anbringen je eines Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** mit Wirkungsrichtung in y-Richtung (d.h. hier quer (horizontal) zur Fahrtrichtung), in

z-Richtung (d.h. hier quer (vertikal) zur Fahrtrichtung) und in x-Richtung (d.h. in Fahrtrichtung) lassen sich verschiedene Kräfte ermitteln. Erfasst werden können dann neben der Kontaktkraft beispielsweise auch Quer- und Reibungskräfte. Außerdem ist eine beliebige Krafrichtung detektierbar.

[0030] In [Fig. 2](#) ist der Anbringungsort eines Verformungskörpers **42**, der mit einem nicht näher dargestellten Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** in Form eines „optischen Dehnungsmessstreifens“ bestückt ist, dargestellt.

[0031] Im Ausführungsbeispiel von [Fig. 3](#) ist kein Dehnungselement **42** vorgesehen. Die Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** sind vielmehr unmittelbar an der Schleifleiste **310** angeordnet, deren Verformung/Dehnung als Maß für die Kontaktkraft erfasst wird. Im Beispiel sind die Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** am hier als Aluminiumprofil ausgebildeten Grundkörper **32** der Schleifleiste **310** angeordnet. Auf diesem Aluminiumprofil befindet sich das eigentliche Schleifelement **31**, das hier eine Carbonleiste ist. In [Fig. 2](#) ist der Querschnitt einer solchen Schleifleiste **310** gezeigt. Die eingezeichneten Stege des Aluminiumprofil sind geeignet, Dehnungen/Kräfte in y- und gekoppelt in y- und in x-Richtung zu messen. Hierzu sind die schematisch angedeuteten vier Faser-Bragg-Gitter-Sensoren **41** vorgesehen. Typische Werte für die Abmessungen in y-Richtung liegen bei etwa 22 mm für die Carbonleiste **31** und bei etwa 17 mm für das Aluminiumprofil **32**.

[0032] In [Fig. 4](#) ist ein Ausführungsbeispiel eines Stromabnehmers **3** dargestellt, der eine gefederte Halterung der Schleifleiste **310** aufweist. Insbesondere ist ein Federelement **35** in Form einer Blattfeder vorgesehen. Der in [Fig. 4](#) nicht näher gezeigte Faser-Bragg-Gitter-Sensor **41** kann direkt auf diese Blattfeder **35** geklebt werden. Damit entfällt die Notwendigkeit eines zusätzlichen Dehnungselement **42**. Trotzdem kann für die Messung der Kontaktkraft auf eine relativ große Dehnung/Auslenkung des Federelements **35** zurückgegriffen werden. Besonders eignet sich dieser Aufbau zur Erfassung einer Kontaktkraft in vertikaler Richtung.

[0033] Optional kann außer den zur Kraftmessung bestimmten Faser-Bragg-Gitter-Sensoren **41** in örtlicher Nachbarschaft ein insbesondere optischer Temperatursensor angeordnet sein. Anhand der so am Ort der Kraftmessung ebenfalls erfassten Temperatur kann eine Temperaturkompensation bei der Auswertung vorgenommen werden, so dass sich die gesuchte Kontaktkraft genauer ermitteln lässt. Vorzugsweise sind auch die eingesetzten Temperatursensoren als Faser-Bragg-Gitter-Sensoren ausgebildet.

Patentansprüche

1. Kontaktkraftmessverfahren, bei dem
 a) die Kontaktkraft zwischen einem Stromabnehmer (3) und einer Stromleitung (2) gemessen wird,
 b) mindestens ein Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) am Stromabnehmer (3) angebracht wird,
 c) der Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) unter dem Einfluss der Kontaktkraft mechanisch gedehnt wird,
 d) ein in den Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) eingespeistes Lichtsignal (LS) aufgrund der mechanischen Dehnung in zumindest einer Wellenlänge verändert wird, und
 e) die kontaktkraftbedingte Wellenlängenänderung ausgewertet wird.

2. Kontaktkraftmessverfahren nach Anspruch 1, bei dem zusätzlich die Temperatur, insbesondere in der Umgebung des Messorts der Kontaktkraft, erfasst wird.

3. Kontaktkraftmessverfahren nach Anspruch 2, bei dem die Temperatur optisch, insbesondere mittels eines weiteren Faser-Bragg-Gitter-Sensors erfasst wird.

4. Kontaktkraftmessverfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei dem die kontaktkraftbedingte Wellenlängenänderung unter Berücksichtigung der erfassten Temperatur ausgewertet wird.

5. Kontaktkraftmessverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mittels des Faser-Bragg-Gitter-Sensors (41) eine mechanische Dehnung eines eigentlichen Konstruktionselements (32) des Stromabnehmers (3) erfasst wird.

6. Kontaktkraftmessverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mittels des Faser-Bragg-Gitter-Sensors (41) eine mechanische Dehnung eines am Stromabnehmer (3) angeordneten zusätzlichen Dehnungselements (42) erfasst wird.

7. Kontaktkraftmessverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem mehrere Faser-Bragg-Gitter-Sensoren (41) zur Kontaktkraftmessung am angebracht werden.

8. Kontaktkraftmessverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kontaktkraft in mindestens zwei voneinander verschiedene Wirkungsrichtungen erfasst wird.

9. Kontaktkraftmesseinrichtung an einem Stromabnehmer (3) umfassend mindestens
 a) einen als Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) ausgebildeten Kraftsensor, der am Stromabnehmer (3) so angeordnet ist, dass der Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) unter dem Einfluss der Kontaktkraft, die zwi-

schen dem Stromabnehmer (3) und einer Stromleitung (2) auftritt, mechanisch gedehnt wird,
 b) Einspeisemittel (44, 43, 47) zur Einspeisung eines Lichtsignals (LS) mit einem vorbestimmten Wellenlängengehalt in den Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41), wobei die mechanische Dehnung eine Änderung zumindest einer Wellenlänge bewirkt, und
 c) Auswertemittel (45) zur Auswertung der kontaktkraftbedingten Wellenlängenänderung.

10. Kontaktkraftmesseinrichtung nach Anspruch 9, bei der ein zusätzlicher Temperatursensor, insbesondere in der Umgebung des Messorts der Kontaktkraft, vorgesehen ist.

11. Kontaktkraftmesseinrichtung nach Anspruch 10, bei der der Temperatursensor als optischer Sensor, insbesondere als weiterer Faser-Bragg-Gitter-Sensor, ausgebildet ist.

12. Kontaktkraftmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei der der als Kraftsensor ausgebildete Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) unmittelbar an einem eigentlichen Konstruktionselement (32) des Stromabnehmers (3) angeordnet ist.

13. Kontaktkraftmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei der ein zusätzliches Dehnungselement (42) vorgesehen ist.

14. Kontaktkraftmesseinrichtung nach Anspruch 13, bei der der als Kraftsensor ausgebildete Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) an dem zusätzlichen Dehnungselement (42) angeordnet ist.

15. Kontaktkraftmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, bei der mehrere Kraftsensoren, insbesondere jeweils in Form eines Faser-Bragg-Gitter-Sensors (41), vorgesehen sind.

16. Kontaktkraftmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, bei der mindestens zwei als Kraftsensor ausgebildete Faser-Bragg-Gitter-Sensoren (41) mit voneinander verschiedener Wirkungsrichtung vorgesehen sind.

17. Kontaktkraftmesseinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei der die Einspeisemittel mindestens eine zur Erzeugung des Lichtsignals (LS) bestimmte Lichtquelle (44) und einen zur optischen Übertragung des Lichtsignals (LS) von der Lichtquelle (44) zum Faser-Bragg-Gitter-Sensor (41) bestimmten Lichtwellenleiter (47) umfassen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 2

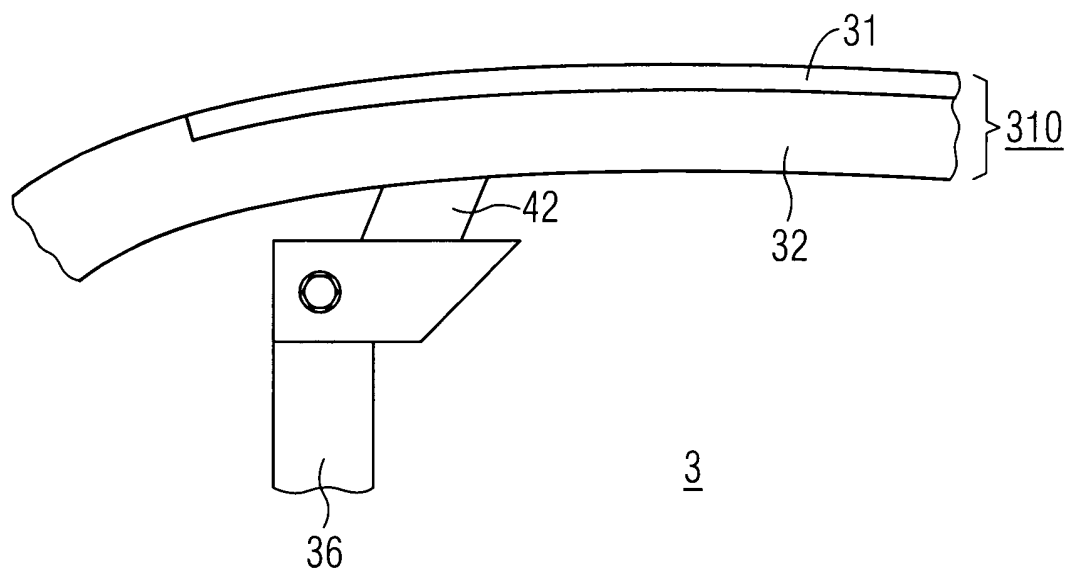


FIG 3

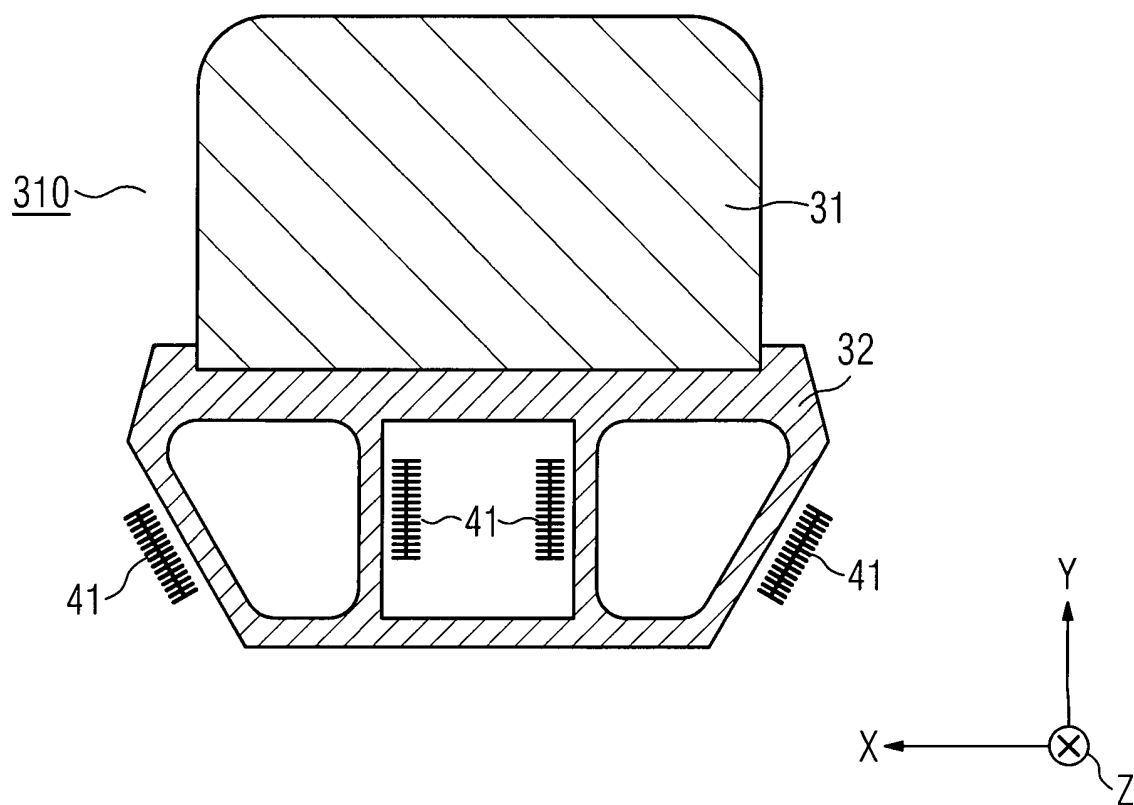


FIG 4

