



(10) **DE 10 2009 017 020 A1** 2010.10.21

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 017 020.0**

(22) Anmeldetag: **14.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **21.10.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 7/02 (2006.01)**
G01N 29/14 (2006.01)

(71) Anmelder:
Gehrlein, Jan, 76756 Bellheim, DE

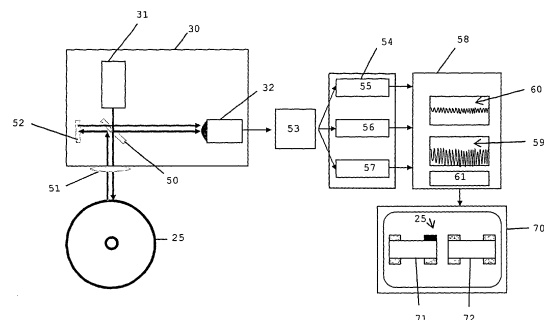
(72) Erfinder:
Schröder, Hehrwart, Dr., 88662 Überlingen, DE

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Eisele, Dr. Otten, Dr. Roth & Dr.
Dobler, 88276 Berg**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren sowie Vorrichtung zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper mittels Körperschall-Analyse, wobei über optische Interferenz-Messung die charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst werden und als solche miteinander im Rahmen einer Auswertung ins Verhältnis gesetzt werden, um strukturelle Veränderungen zu erkennen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper nach dem Anspruch 1 sowie eine nach diesem Verfahren arbeitende Vorrichtung als auch eine Anordnung von entsprechenden nach dem Verfahren arbeitenden Vorrichtungen an einer Maschine, insbesondere einem Fahrzeug.

[0002] Maschinenbestandteile bzw. Bauelemente, welche sich über einen längeren Zeitraum kontinuierlich bewegen müssen, unterliegen einem belastungsbedingtem Verschleiß. Dieser Verschleiß ist neben gegebenen Materialeigenschaften abhängig von der zeitlichen Belastung und insbesondere von der Nutzungsintensität während der Einsatzzeitdauer. Trotz übereinstimmender Herstellung sind oftmals bei baugleichen Bestandteilen stark unterschiedliche Verschleißzeiträume zu beobachten, wodurch Wartungsintervalle stets anhand des kürzesten zu erwartenden Zeitraums der fehlerfreien Funktion bemessen werden müssen. Insbesondere im Bereich von Fahrzeugen, vorzugsweise bei Schienenfahrzeugen entstehen auf diese Weise erhebliche Kosten sowie Nutzungsausfälle, welche oftmals rein präventiv begründet sind und keine tatsächlichen verschleißbedingten relevanten Schäden zur Ursache haben.

[0003] Im technischen Umfeld kontinuierlich bewegter Maschinenteile, beispielsweise bei Achsen von Großmaschinen, Drehvorrichtungen, Generatoren, Fertigungsstraßen oder ähnlichem, aber auch bei Fahrzeugen, beispielsweise Schienenfahrzeugen oder Straßenfahrzeugen, können die entsprechenden Bestandteile nur schwer zugänglich sein, wodurch eine verschleißdiagnostische Untersuchung oftmals zusätzlich erschwert wird.

[0004] Aus dem Stand der Technik ist beispielsweise bei Radreifen von Schienenfahrzeugen bekannt, dass erfahrene Techniker mittels eines manuell ausgeführten Hammerschlags am Klang des Festkörpers hören können, ob der metallische Ton der erzeugten Schwingung einem fehlerfreien Radreifen entspricht oder ob eventuell strukturelle Defekte am Radreifen vorliegen. Eine etablierte und bekannte Methode der Detektion struktureller Defekte, beispielsweise an Eisenbahnradschienen, stellt die Demontage und Untersuchung in entsprechenden Röntgenanlagen dar, welche jedoch äußerst zeit- und kostenintensiv ist und einen langfristigen Stillstand der jeweiligen Maschine bedingt.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es somit ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, welches eine einfache, vorzugsweise kontinuierliche Erfassung des Zustandes eines Festkörpers erlaubt, wobei strukturelle Veränderung in oder an einem Festkörper über entsprechende Analyseschritte kurzfristig feststellbar

sind, so dass entsprechende Reaktionen eingeleitet werden können.

[0006] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Anwendung der Verfahrensschritte nach Anspruch 1 bzw. durch die Nutzung einer Vorrichtung nach Anspruch 11 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sowie zweckmäßige Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen gegeben.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper nutzt die Körperschallanalyse, welche mindestens eine Anwendung folgender Verfahrensschritte umfasst:

- Erfassung eines ersten charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrum des Festkörpers zu einem ersten Zeitpunkt.
- Verarbeitung und Speicherung des ersten Spektrums in einem Datenspeicher.
- Erfassung eines zweiten charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums des Festkörpers zu einem zweiten Zeitpunkt.
- Verarbeitung und Speicherung des zweiten Spektrums in einen Datenspeicher.
- Auswertung der gespeicherten Daten durch Vergleich zwischen dem ersten Grenzflächenschall-Spektrum und dem zweiten Grenzflächenschall-Spektrum zur Erkennung von Veränderungen.

[0008] Schall, welcher sich in einem Werkstück ausbreitet, heißt Körperschall. Dieser umfasst unterschiedlichste Phänomene wie beispielsweise Erschütterungen, welche die Übertragung von Schwingungen in Gebäuden, Fahrzeugen und Maschinen darstellen, als auch durch Reibung erzeugte Vibrationen, welche beispielsweise durch den Lauf bewegter Teile in einem Lager generiert werden. Dieser Schall erstreckt sich in seinem Spektralbereich vom Infraschall über den Ultraschallbereich bis zum Hyperschall zu den Gitterschwingungen und der Quantenakustik.

[0009] Ein elastischer Festkörper kann neben Normalspannungen auch Schubspannungen aufnehmen, wodurch sich im allseitig unbegrenzten Werkstück zwei verschiedene Arten von Körperschallwellen ausbreiten können, einerseits Longitudinalwellen und andererseits Transversalwellen. Derartige Schallwellen erzeugen an den Grenzflächen von Festkörpern entsprechend ihrer Amplitude und Frequenz entstehende oszillierende Bewegungen, welche beispielsweise als hörbarer Schall an die umgebende Luft übertragen werden können. Die physikalischen Eigenschaften der Schallausbreitung, beispielsweise die Schallgeschwindigkeit, wird dabei durch Materialkonstanten wie die Dichte und den Schubmodul beschrieben, und gehorcht bekannten physikalischen Gesetzen.

[0010] Durch die gegebenen geometrischen Begrenzungen existierender Festkörper erfahren existierende Schallwellen in dem Festkörper entsprechende Wechselwirkungen mit den Grenzflächen bildenden Oberflächen, wodurch nach den physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Superposition Schallwellen unterschiedlicher Wellenlängen in unterschiedlicher Intensität vorliegen, bzw. unterschiedliche Amplituden-Zeit-Verläufe zeigen. Das somit für einen existierenden Festkörper charakteristische Schallspektrum, welches nicht zuletzt auch Abhängigkeiten von der Erzeugungsart des betrachteten Schalls beinhaltet, stellt somit eine Art Fingerabdruck des Werkstücks dar, welcher die geometrischen und materialspezifischen Gegebenheiten des Festkörpers widerspiegelt.

[0011] Entstehen nunmehr unregelmäßige Schallanregungen, beispielsweise durch Unebenheiten auf Eisenbahnschienen, oder erfährt der Körper strukturelle Veränderungen, beispielsweise durch das Entstehen von Fehlstellen, Rissbildungen oder internen bzw. oberflächennahen Verformungen, so ändert sich das charakteristische Schallspektrum entsprechend der neu aufgetretenen Struktur, da beispielsweise an entstandenen Fehlstellen wie Rissen, propagierende Schallwellen reflektiert werden können, oder andere Wellenlängen aufgrund des Superpositionsprinzips verstärkt ausgebildet vorliegen.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt die Erfassung eines derartigen Fingerabdrucks an der Grenzfläche in Form eines charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums zur Detektion struktureller Veränderungen.

[0013] Erfindungsgemäß wird ein charakteristisches Grenzflächenschall-Spektrum zu einem ersten Zeitpunkt an einem Festkörper erfasst und gespeichert. Zu einem späteren Zeitpunkt, welcher entweder direkt auf die erste Erfassung folgen, oder zeitlich über einen längeren Zeitraum versetzt liegen kann, folgt eine weitere Erfassung eines charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums des Festkörpers, wobei in einem anschließenden Verfahrensschritt das zuletzt erfasste Spektrum mit einem vorangegangenen erfassten Spektrum verglichen wird, um auf diesem Wege Veränderungen des Fingerabdrucks des untersuchten Festkörpers festzustellen. Hierbei können Referenzbildungen zwischen zwei direkt aufeinander folgend aufgenommenen Spektren erfolgen, es können jedoch auch gespeicherte frühere Spektren in Betracht gezogen werden, um über langfristige Messungen kurzzeitig auftretende Fehler herauszumitteln.

[0014] Die Erfassung der charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren kann mittels einer Laser-Interferenzmessung erfolgen, wobei die Amplitudenmodulation des Referenzsignals Aufschluss über die

Amplitude der Grenzflächenschwingung des Festkörpers gibt. Hierbei ist eventuell eine Rückkopplung der Signalstärke bei den miteinander interferierenden Laserstrahlen über einen Strahlteiler vorzusehen, da die betragsgemäße Intensität der miteinander in Interferenz gebrachten Laserstrahlen in derselben Größenordnung liegen sollte, um eine deutliche Modulation der erhaltenen Interferenz-Amplitude nutzbar zu machen.

[0015] Das auf diese Weise erhaltene charakteristische Grenzflächenschall-Spektrum stellt ein Schwingungsspektrum von Oberflächenschwingungen des betrachteten Festkörpers dar. Vorzugsweise wird das charakteristische Grenzflächenschall-Spektrum als Intensitäts-Zeit-Verlaufsmessung erfasst, so dass ein reproduzierbares Mess-Zeitfenster gewährleistet ist.

[0016] In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Auswertung in einem weiteren Verfahrensschritt einer Integraltransformation unterzogen, vorzugsweise einer Fouriertransformation oder einer Wavelett-Transformation, welche einer spektralen Darstellung der Intensität über der Frequenz des erfassten charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums dient.

[0017] Eine spektrale Darstellung bietet die Möglichkeit, entsprechende Signallinien dahingehend auszuwerten, ob beispielsweise ein dauerhafter Schaden vorliegt, bei welchem sich die Signallinie verbreitert, oder ob eine kurzfristige Störung, beispielsweise durch eine impulsartige Einwirkung auf den Festkörper, Auslöser für eine Veränderung im charakteristischen Schallspektrum war. Über eine langzeitlich angelegte Erfassung derartiger spektraler Darstellungen kann ein Klassifikator für bekannte Schäden aufgestellt werden, welcher sodann nach erfolgter Auswertung Aufschluss über den Grund der strukturellen Veränderung in dem Festkörper zumindest ansatzweise bieten kann.

[0018] In einer vorteilhaften Weiterbildung wird die Auswertung durch Wandlung der gewonnenen Messgrößen in einem analog/digital Wandler und Übertragung an einen Rechner vorgenommen. Auf diese Weise können die Erfassungseinrichtung und die verhältnismäßig aufwendige Auswerteeinrichtung räumlich getrennt vorliegen, wobei zusätzlich auch die digitale Datenspeicherung verbessert ermöglicht wird.

[0019] In einem weiteren vorteilhaften Verfahrensschritt wird die Auswertung durch Differenzbildung zur Erkennung von spektralen Veränderung zwischen mindestens dem zuletzt aufgenommenen, charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrum und mindestens einem oder mehreren, vorzugsweise auch gemittelten vorangegangenen aufgenommen und gespeicherten Grenzflächenschall-Spektren vorgenommen. Auf diese Weise können verbesserte Si-

gnalgüten erreicht werden.

[0020] In einer zweckmäßigen Weiterbildung können zusätzlich weitere charakteristische Daten, vorzugsweise Geschwindigkeits- und Drehzahldaten sowie makroskopische Bewegungen beispielsweise über Doppler-Effekt-Messungen erfasst und ebenfalls an die Auswerteeinheit übergeben werden.

[0021] In einer überdies vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens erfolgt die Aufnahme der charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren in einem Punkt auf der Oberfläche des Festkörpers, wobei eine rasterartige Abtastung der Oberfläche ganz oder teilweise mit dem entsprechenden Messpunkt erfolgen kann. Auf diese Weise können zusätzliche Daten gewonnen werden, welche nicht auf den ersten Abnahmepunkt beschränkt sind, sondern weitere aufschlussreiche Informationen über die Gesamtbeschaffenheit des Festkörpers zur Verfügung stellen.

[0022] Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper, wobei die Vorrichtung einen Prüfkopf zur Erfassung von Oberflächenschwingungen eines Festkörpers und einen Auswerterechner, vorzugsweise mit einer Speichereinheit zur Verarbeitung der von mindestens einem Prüfkopf übermittelten Daten umfasst, wobei die Vorrichtung nach einem erfindungsgemäßen vorher beschriebenen Verfahren, arbeitet.

[0023] In einer Ausgestaltung umfasst der Prüfkopf eine monochromatische Lichtquelle, vorzugsweise einen Laser, einen Strahlteiler zur Erzeugung interferierbarer Lichtstrahlen aus der Lichtquelle, einen Intensitätsdetektor, vorzugsweise eine Fozelle oder eine Fozellenanordnung sowie eine analog/digital Wandlungseinheit.

[0024] Das von der monochromatischen Lichtquelle ausgesandte Licht wird über den Strahlteiler zu einem Bestandteil auf den Festkörper geleitet, von diesem reflektiert, und mit dem weiteren Bestandteil, welcher durch den Strahlteiler bereit gestellt wurde, auf dem Fotodetektor, bzw. der Fozelle zur Interferenz gebracht. Hierbei ist es vorteilhaft, darauf zu achten, dass die Intensität der in Interferenz gebrachten Lichtstrahlen in etwa die gleiche Größenordnung aufweist, um der durch die Interferenz entstandenen Amplitudenmodulation des erhaltenen Signals eine gute Detektierbarkeit zu ermöglichen. Bewegungen der Oberfläche des Festkörpers resultieren direkt in einer Veränderung der Weglänge des reflektierten Lichtlaufwegs, welche den Gangunterschied der interferierenden Lichtstrahlen erzeugt.

[0025] In einer Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist vorgesehen, dass der Festkörper ein Metallkörper, vorzugsweise ein Rad eines Schie-

nenfahrzeugs, ist. Erfassung charakteristischer Grenzflächenschall-Schwingungen eines metallischen Festkörpers bieten den Vorteil, dass metallische Oberflächen oftmals unproblematisch als Reflexionsoberflächen für Licht geeignet sind und somit für die erfindungsgemäße Erfassung direkt und einfach zugänglich sind.

[0026] In einer überdies vorteilhaften Ausgestaltung erfolgt die Erfassung der Oberflächenschwingung auf der Lauffläche eines Rades eines Schienenfahrzeugs, da diese in der Regel durch entstandene Reibung mit den Schienen poliert und frei von Verunreinigung ist, was die Lichtreflexion begünstigt.

[0027] In einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weist der Prüfkopf Mittel zur rasterartigen Bewegung eines Messpunktes, vorzugsweise eines Laserpunktes auf, wodurch die Erfassung der Oberflächenschwingung nicht punktuell begrenzt ist, sondern beispielsweise in Form eines linearen oder flächigen Rasters über den Festkörper bewegt werden kann. Auf diese Weise sind, wie voran bereits beschrieben, erweiterte Daten über die strukturellen Eigenschaften des Festkörpers erhaltbar.

[0028] Die Erfindung umfasst weiterhin eine Anordnung von erfindungsgemäßen Vorrichtungen zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem oder mehreren Festkörpern, vorzugsweise an Lauf- rädern von Schienenfahrzeugen, wobei mindestens ein Prüfkopf pro Festkörper mindestens ein Auswerterechner und entsprechende Verbindungsleitungen umfasst sind, und die Erfassung an der Lauffläche der Festkörper, vorzugsweise an der Lauffläche der Laufräder von Schienenfahrzeugen erfolgt. Auf diese Weise können in einem zentralen Auswerterechner Signale mehrerer Prüfköpfe zusammengefasst werden, so dass beispielsweise bei einem Schienenfahrzeug eine Überwachung auf strukturelle Veränderung jedes einzelnen Laufrads erfolgen kann. In einer überdies vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung ist die komplette Anordnung in einem Fahrzeug, vorzugsweise einem Schienenfahrzeug mitbewegt ausgebildet, so dass über den gesamten Arbeitszeitraum eine entsprechende Erfassung möglich ist. Vorteilhafterweise könnte beispielsweise bei einem Zug die Auswerteeinheit im Bereich der Lokomotive vorgesehen sein, und die entsprechenden Radreifen der Lokomotive bzw. der einzelnen bewegten Wagons mit entsprechenden Prüfköpfen versehen werden, welche sodann kaskadiert, vorzugsweise über ein BUS-System, ihre Daten an die Auswerteeinheit dem Zugfahrzeug, übermitteln.

[0029] In einer verbesserten und weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung ist mindestens eine Kamera und mindestens ein Positionserfassungsmittel, vorzugsweise ein

GPS-Sensor am entsprechenden Schienenfahrzeug bzw. Fahrzeug vorgesehen, wobei eine detektierte strukturelle Veränderung, insbesondere eine kurzzeitige detektierte Veränderung, welche beispielsweise durch eine Unebenheit der Schiene oder ein auf der Schiene liegendes Störmittel erzeugt wird, ein Schaltsignal für eine Aktivierung der Kamera und eine Erfassung der Position ist.

[0030] Auf diese Weise kann erreicht werden, dass kurzzeitig auftretende Veränderungen im charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrum ausgewertet werden, welche eventuell darauf zurückführbar sind, dass keine dauerhafte Veränderung struktureller Art im Festkörper stattgefunden hat, sondern eine externe Einwirkung auf den Festkörper erfolgt ist. Wird so dann beispielsweise eine dem jeweiligen Radreifen nachfolgende Kamera entsprechend der Bewegungsgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs an derselben Stelle ausgelöst, so kann eine optische Erfassung der Störstelle erfolgen, und diese unter Kopplung an entsprechende Positionsdaten direkt an ein Service-Center übermittelt werden, welche so dann die Beseitigung der Störstelle vornehmen.

[0031] Das erfindungsgemäße Verfahren sowie eine erfindungsgemäße Vorrichtung wird im folgenden Ausführungsbeispiel näher erläutert. Die Erfindung ist jedoch nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel beschränkt, sie umfasst vielmehr all diejenigen Realisierungen, welche vom erfindungswesentlichen Gedanken Gebrauch machen.

[0032] Im Ausführungsbeispiel zeigen

[0033] [Fig. 1](#) eine Zusammenstellung exemplarisch übermittelter charakteristischer Grenzflächenschall-Messungen,

[0034] [Fig. 2](#) eine Anordnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung an einem Radreifen eines Schienenfahrzeugs.

[0035] [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0036] Im Einzelnen zeigt die [Fig. 1](#) eine Zusammenstellung von über die Zeit aufgetragenen Amplitudenmodulationen erfindungsgemäßer Erfassungssignale charakteristischer Grenzflächenschall-Spektren. Zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Verfahrens wurden vorliegend an einem Festkörper Referenzmessungen in ungestörtem Zustand vorgenommen, dem Körper sodann eine strukturelle Veränderung zugefügt und weitere Messungen im somit gestörten Zustand erfasst. Die Messungen I sowie II stellen Amplituden-Zeitverläufe einer charakteristischen Grenzflächenschwingung eines ungestörten Festkörpers dar. Der gezeigte Verlauf stellt die aufgrund der Interferenz eines Laserstrahls veränderte

Amplitude dar, wobei der Amplitudenverlauf direkt im Zusammenhang mit der Variation des Lichtlaufwegs aufgrund der Bewegung der Festkörpergrenzfläche, resultierend aus deren Schwingung, entsteht. Etwaige, Signal-Rausch-Verhältnis optimierende Verfahrensschritte, welche dem Fachmann aufgrund seiner messtechnischen Vorerfahrung bekannt sind, werden vorliegend außer Betracht gelassen.

[0037] III sowie IV zeigen Signalverläufe, welche am strukturell veränderten Festkörper, also am gestörten Festkörper vorgenommen wurden. Bereits den gezeigten Signalverläufen ist eine Veränderung des charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums zu entnehmen, wobei die im Ausführungsbeispiel vorgenommene strukturelle Veränderung in einem, den Einsatzalltag des erfindungsgemäßen Verfahrens überschreitenden Ausmaß vorgenommen wurde.

[0038] Der Signalverlauf V wurde als Differenzbildung der Signale I und II erzeugt, um die Reproduzierbarkeit des bezeichneten charakteristischen Spektrums eines Körpers ohne auftretende strukturelle Veränderung darzustellen. Der Signalverlauf VI entspricht der ebenfalls vergleichend gegenübergestellten Differenz der Messungen III und IV, um auch diesbezüglich eine Vergleichbarkeit der aufeinander folgenden Messungen zu gewährleisten.

[0039] Der in VII dargestellte Amplituden-Zeitverlauf entspricht dem Auswertesignal, erhalten aus der Referenzbildung der Signale V und VI. Es wurde zur Auswertung die Differenz zweier normierter Signale vor und nach der Vornahme einer strukturellen Veränderung angegeben, wobei sich das abzeichnende Muster als charakteristisch für die Beschädigung ergibt. Durch eine spektrale Analyse der entsprechenden Signale könnte weiterhin Aufschluss darüber gewonnen werden, in welchen Dimensionen die strukturelle Veränderung vorliegt, da die Schallwellen entsprechend der Größenordnung von Fehlstellen in ihrer Wechselwirkung abhängig von ihrer Wellenlänge mehr oder weniger stark mit den Fehlstellen in Wechselwirkung treten.

[0040] Durch den Einsatz bekannter Methoden der numerischen Mathematik, beispielsweise durch Approximationen der Messdaten zur Überwindung des Zufallsrauschens, und durch Zeitreihenanalysen, welche vom Ausgangszustand ausgehend mehrfache Vergleiche mit zu einem späteren Zeitpunkt aufgenommenen charakteristischen Spektren vornehmen, kann somit eine Vielzahl von Signalen erfasst und gespeichert werden, welche den zeitlichen Verlauf struktureller Veränderungen einzelner Festkörper, vorzugsweise einzelner Radreifen von Schienenfahrzeugen, widerspiegeln. Unter Heranziehung von Integraltransformationen, beispielsweise von Wavelett-Transformationen oder Fourier-Analysen, können die entsprechenden charakteristischen Wel-

lengruppen noch besser beschrieben werden und die einzelnen Unterschiede, resultierend aufgrund struktureller Veränderungen im Festkörper, erfasst werden. Durch die entsprechenden Zeitreihenanalysen der einzelnen Signale lassen sich somit Klassifikatoren für einzelne Schäden erkennen und klassifizieren, so dass zusätzlich zur grundsätzlichen Erkennung struktureller Veränderungen mit der Zeit Aufschlüsse über die jeweilig auftretenden Veränderungen im Detail gewonnen werden können.

[0041] [Fig. 2](#) zeigt die schematische Darstellung eines Schienenfahrzeugs **20** im Schnitt, wobei der Fahrzeugkörper **21** an seinem unteren Ende eine Aufhängung **23** für eine Achse **24** aufweist. An einem Ende der Achse **24** befindet sich ein Rad **25**, welche mit seiner Lauffläche **26** im unteren Kontaktbereich **27** auf einer Schiene **28** läuft. Die durch die Bewegung resultierende Rollreibung des Rades **25** auf der Schiene **28** regt im Rad **25** eine entsprechend den vorherrschenden Gegebenheiten auftretende Schall-schwingung an, welche üblicherweise als Bewegungsgeräusch des Schienenfahrzeugs wahrgenommen wird. Ein Prüfkopf **30**, welcher im vorliegenden Fall oberhalb der Lauffläche **26** am Fahrzeugkörper **21** befestigt ist, umfasst einen Laser **31** sowie einen Detektor **32**. Im Inneren des Prüfkopfs **30** ist vorzugsweise ein Strahlteiler vorgesehen, welcher Teile des vom Laser emittierten Lichts direkt zum Detektor umleitet und somit für die spätere Interferenz mit einem Messsignal zur Verfügung steht (hier nicht gezeigt). Der Laser **31** emittiert Licht in Form eines Einfallssignals **33**, welches auf einen Messpunkt **34** auf der Lauffläche **26** des Radreifens **25** gerichtet ist. Von der Lauffläche **26**, insbesondere von dem Messpunkt **34** wird ein reflektiertes Signal **35** zurück zum Prüfkopf **30** entsandt, welches vom Detektor **32** aufgenommen wird. Am Detektor **32** wird die Reflexion **35** mit dem, vorab durch den Strahlteiler bereitgestellten Bestandteil des Laserlichts in Interferenz gebracht, wobei eine Signalintensitäts-Rückregelung dahingehend vorgesehen ist, dass das bereitgestellte Signal vom Strahlteiler und die Intensität des reflektierten Signals **35** eine ähnliche Amplituden-Größenordnung ausweist, um die bestmögliche Interferenz-Amplitude zur Verfügung zu stellen.

[0042] Alternativ oder ergänzend zum Prüfkopf **30** könnte ein Prüfkopf **40** in einem hinter dem Radreifen angeordneten Bereich vorgesehen sein, welcher im Wesentlichen identisch zum Prinzip des Prüfkopfs **30** funktioniert. Exemplarisch ist am Prüfkopf **40** gezeigt, dass der Messpunkt auch entlang eines Rasters **41** verschiebbar ausgebildet sein kann, wobei hierzu entsprechende optische Ablenkungsmittel oder eine komplette Bewegung des Prüfkopfs vorgesehen sein kann. Problematisch an einer alleinigen Anordnung des Prüfkopfs **40** hinter dem Rad **25** könnte eine zunehmende Verschmutzung der Analysefläche sein, welche keine zuverlässige Reflexion des Laser-

strahls gewährleistet, und somit kein reproduzierbar auswertbares Messsignal bereitstellt. Dies kann jedoch durch entsprechende Wahl der Analysewellenlängen in der Größenordnung der Verschmutzung oder durch Reinigungsvorrichtungen vermieden werden.

[0043] Der Prüfkopf **30** sowie der Prüfkopf **40** könnten mit entsprechenden Verstellmitteln ausgerüstet sein, welche eine Veränderung der Position des erfassten Messpunkts **34** ermöglichen, und somit eine Variation des Erfassungspunktes des charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums ermöglichen. Die in [Fig. 2](#) nicht dargestellte erfindungsgemäße Anordnung weiterer Erfassungsvorrichtungen entsprechender Parameter, wie beispielsweise Dopplereffektmessungen oder Geschwindigkeitssensoren, wie auch die optische Bilderfassungsvorrichtung in Form einer Kamera bzw. die Positionserfassung in Form eines GPS-Sensors können bei dem in [Fig. 2](#) dargestellten Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet werden.

[0044] [Fig. 3](#) zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung einzelner Bestandteile zur Bereitstellung einer Vorrichtung zur Detektion struktureller Veränderungen an oder in einem Festkörper, vorliegend am Beispiel eines Laufrades eines Schienenfahrzeugs. Der Prüfkopf **30** umfasst dabei den Laser **31**, welcher einen Strahlteiler **50** Laserlicht einerseits über eine Linse **51** auf die Lauffläche **26** eines Rads **25** aussendet, andererseits über den Strahlteiler **50** einen Bestandteil des Lichts über einen Spiegel **52** ohne Reflexion an einem Rad **25** auf einen Detektor **32** geführt wird. Die Oberflächenschwingung des Rads **25** führt zu einer Veränderung der optisch relevanten Weglänge der einzelnen Laserstrahlverläufe, wodurch auf dem Detektor **32** zwischen den einzelnen Strahlen ein zeitabhängiges Interferenzmuster entsteht. Der aus der Interferenz resultierende Verlauf der Signalamplitude über die Zeit wird über einen Analog-/Digitalwandler **53** in Signale umgewandelt, welche in einem Speicher **54** abgelegt werden. Der Speicher, hier exemplarisch als Speicherung einer Referenz 1 **55** einer Referenz 2 **56** sowie eines aktuellen Messsignals **57** dargestellt, kann seine Daten an eine Signalverarbeitungsvorrichtung **58**, vorzugsweise einen Computer übergeben, welcher das erfindungsgemäße Verfahren im Bezug auf die Analyse ausführt. Hierbei wird ermittelt, ob an dem Festkörper, vorliegend an dem Rad, ein Schaden vorliegt, welcher in einer Signalveränderung **59** im Vergleich zu einem schadensfreien Signal **60** detektierbar ist. Zusätzlich wird die Signalverarbeitungseinheit **48** über entsprechende Mittel **61** mit einer zeitlichen Referenz sowie einer Positionsangabe versorgt, so dass entstandene strukturelle Veränderungen zeitlich und räumlich zugeordnet werden können. Durch das Vorhandensein mehrerer Prüfköpfe **30** kann an ei-

nem Monitor **70** bezugnehmend auf das jeweilige Rad eines entsprechenden Wagens **71** bzw. **72** dargestellt werden, an welchem Rad **25** die strukturelle Veränderung vorliegt. Auf diese Weise kann beispielsweise dem Führer eines Schienenfahrzeugs oder dem Servicepersonal signalisiert werden, an welcher Stelle Handlungsbedarf besteht.

Bezugszeichenliste

20	Schienenfahrzeug
21	Fahrzeugkörper
22	
23	Aufhängung
24	Achse
25	Rad
26	Lauffläche
27	Kontaktbereich
28	Schiene
29	
30	Prüfkopf
31	Laser
32	Detektor
33	Einfallssignal
34	Messpunkt
35	Reflexion
40	Prüfkopf
41	Raster
48	Signalverarbeitungseinheit
50	Strahlenteiler
51	Linse
52	Spiegel
53	Analog/Digital Wandler
54	Referenz 1
55	Referenz 1
56	Referenz 2
57	Aktuell
58	Signalverarbeitung
59	Schaden
60	Kein Schaden
61	Datum, Ort
70	Monitor
71	Wagen 2
72	Wagen 3

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper mittels Körperschallanalyse, umfassend mindestens eine Anwendung folgender Verfahrensschritte:
 – Erfassung eines ersten charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums des Festkörpers zu einem ersten Zeitpunkt
 – Verarbeitung und Speicherung des ersten Spektrums in einem Datenspeicher
 – Erfassung eines zweiten charakteristischen Grenzflächenschall-Spektrums des Festkörpers zu einem zweiten Zeitpunkt
 – Verarbeitung und Speicherung des zweiten Spek-

trums in einem Datenspeicher

– Auswertung der gespeicherten Daten durch Vergleich zwischen dem ersten Grenzflächenschall-Spektrum und dem zweiten Grenzflächenschall-Spektrums zur Erkennung von Veränderungen

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung der charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren und die Auswertung kontinuierlich im Wechsel erfolgt, wobei die Auswertung mehrere Schallspektren früherer Zeitpunkte umfassen kann.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung der charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren mittels einer Laser Interferenz Messung über eine Amplitudenmodulation vorzugsweise in mindestens einem Messpunkt auf der Festkörperoberfläche erfolgt.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das erfasste charakteristische Grenzflächenschall-Spektrum ein Schwingungsspektrum von Oberflächenschwingungen des Festkörpers ist.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die charakteristischen Grenzflächenschall-Spektren als Intensitäts-Zeit-Verlaufsmessung erfasst werden.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung in einem weiteren Verfahrensschritt einer Integraltransformation unterzogen wird, vorzugsweise einer Fouriertransformation oder eine Wavelett Transformation zur Erzielung einer Spektralen-Darstellung.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung durch Wandlung der gewonnenen Messgrößen in einem Analog/Digital-Wandler und Übertragung an einen Rechner erfolgt.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertung durch Differenzbildung zur Erkennung von spektralen Veränderungen zwischen mindestens dem zuletzt aufgenommenen charakteristischen Schallspektrum und mindestens einem oder mehreren, vorzugsweise gemittelten vorangegangenen aufgenommenen und gespeicherten Schallspektren erfolgt.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass weitere charakteristische Daten, vorzugsweise Geschwindigkeits- und Drehzahldaten sowie makro-

skopische Bewegungen über Dopplereffektmessungen erfasst werden, und der Auswerteeinheit übergebbar sind.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufnahme der charakteristischen Schallspektren in einem Punkt auf der Oberfläche des Festkörpers erfolgt, wobei eine rasterartige Abtastung der Oberfläche ganz oder teilweise erfolgen kann.

11. Vorrichtung zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem Festkörper, umfassend
– einen Prüfkopf zur Erfassung von Oberflächenschwingungen eines Festkörpers,
– einen Auswerterechner, vorzugsweise mit einer Speichereinheit, zur Verarbeitung der von mindestens einem Prüfkopf übermittelten Daten, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung nach einem Verfahren der Ansprüche 1–10 arbeitet.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Prüfkopf eine monochromatische Lichtquelle, vorzugsweise einen Laser, einen Strahlteiler zur Erzeugung interferierbarer Lichtstrahlen aus der Lichtquelle, einen Intensitätsdetektor, vorzugsweise eine Photozelle oder eine Photozellenanordnung sowie eine Analog/Digital-Wandlungseinheit umfasst.

13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörper ein Metallkörper, vorzugsweise ein Rad eines Schienenfahrzeugs ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung der Oberflächenschwingung auf der Lauffläche des Rads erfolgt.

15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Prüfkopf Mittel zur rasterartigen Bewegung eines Messpunkts zur Erfassung der Oberflächenschwingungen aufweist.

16. Anordnung von Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 11 bis 15 zur Detektion struktureller Veränderungen in oder an einem oder mehreren Festkörpern, vorzugsweise an Laufrädern von Schienenfahrzeugen, umfassend mindestens einen Prüfkopf pro Festkörper und mindestens einen Auswerterechner, dadurch gekennzeichnet, dass die Erfassung an der Lauffläche der Festkörper, vorzugsweise der Laufräder von Schienenfahrzeugen erfolgt.

17. Anordnung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung mit einem Fahrzeug, vorzugsweise einem Schienenfahrzeug mitbewegt wird, vorzugsweise darin integriert ausgebildet

ist.

18. Anordnung nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Kamera und mindestens ein Positionserfassungsmittel, vorzugsweise ein GPS Sensor vorgesehen ist, wobei eine detektierte strukturelle Veränderungen, insbesondere eine kurzzeitige detektierte Veränderungen, ein Schaltsignal für eine Aktivierung der Kamera und eine Erfassung der Position ist.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

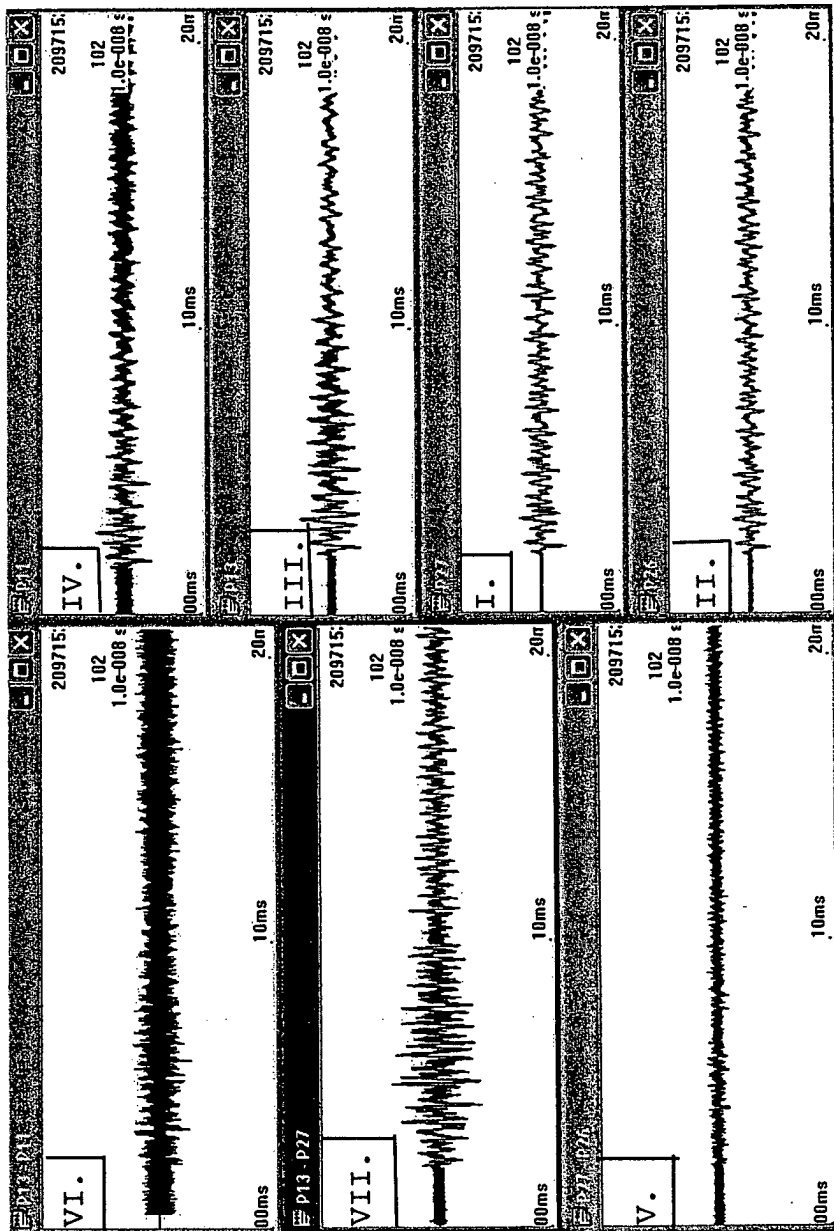


Fig. 1

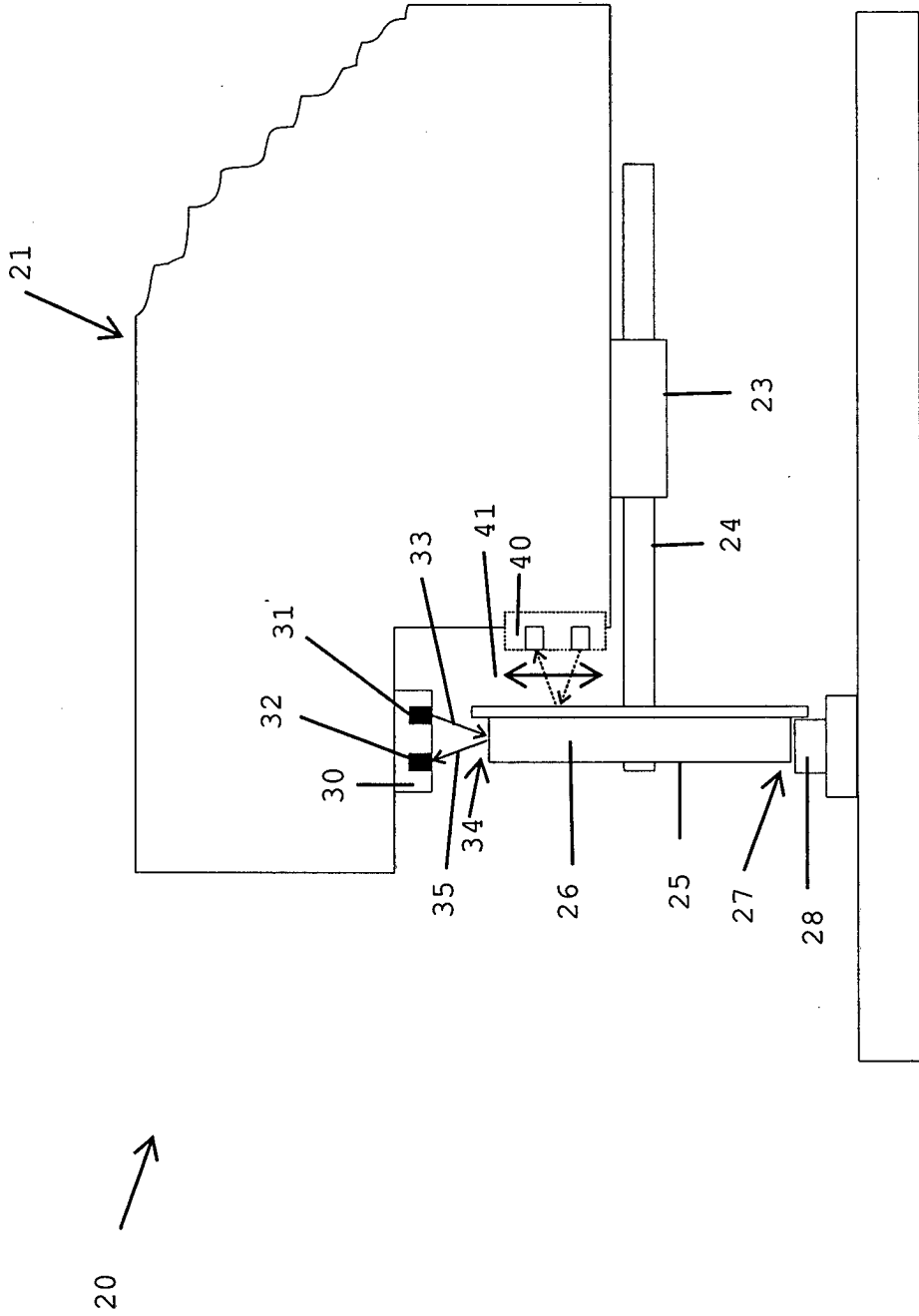


Fig. 2

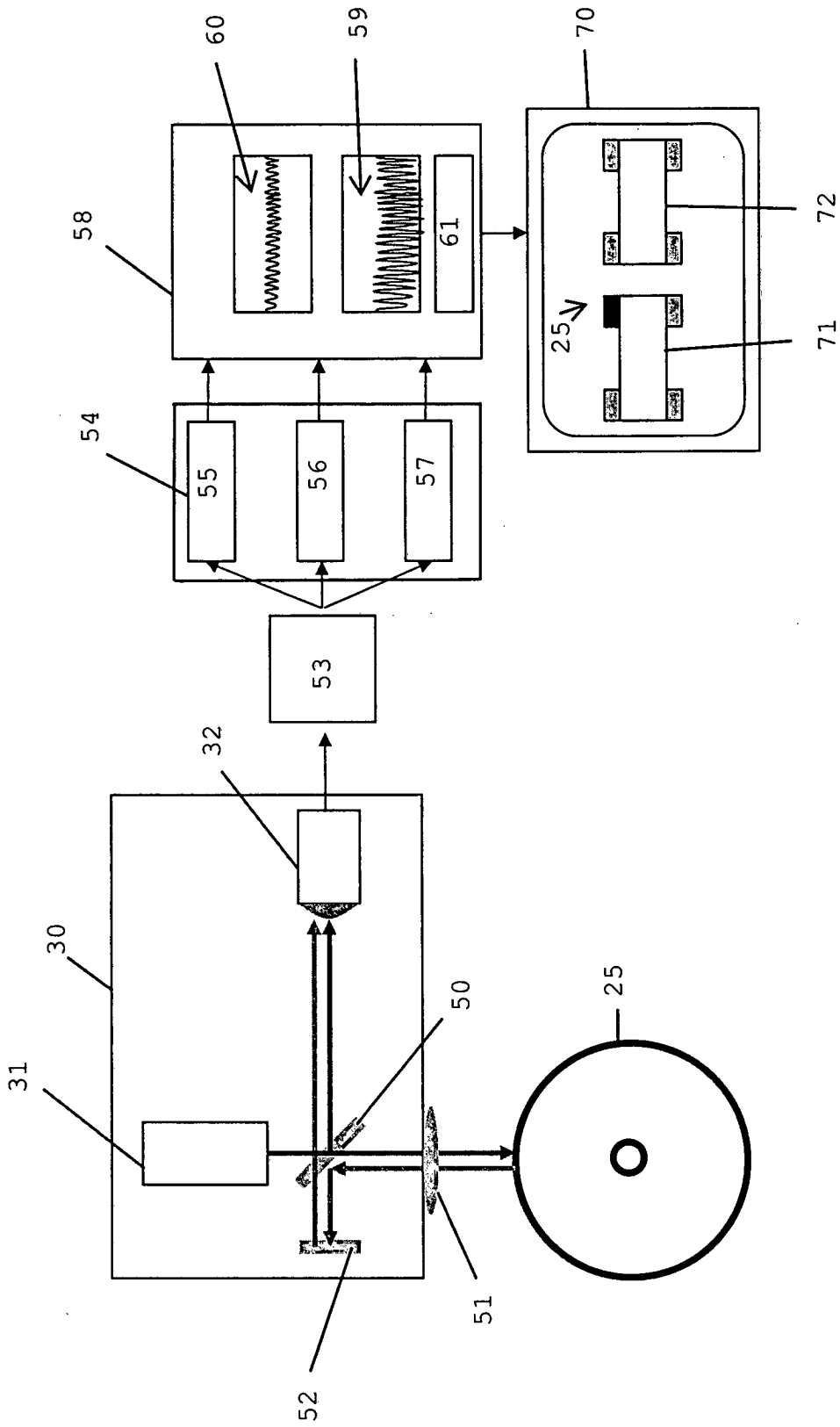


Fig. 3