

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
30. März 2023 (30.03.2023)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2023/044516 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01M 17/00 (2006.01) G01M 7/00 (2006.01)

184, 8044 Graz (AT). **BANSAL, Hemant**; Innerhoferstra-
ße 6, 8045 Graz (AT).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2022/060310

(22) Internationales Anmeldedatum:

21. September 2022 (21.09.2022)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

A 50754/2021 22. September 2021 (22.09.2021) AT

(71) Anmelder: **AVL LIST GMBH** [AT/AT]; Hans-List Platz
1, 8020 Graz (AT).

(72) Erfinder: **FISCHER, Gregor**; Ulmgasse 19b/70, 8053
Graz (AT). **PUNTIGAM, Andreas**; Mariatroster Straße

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ,
DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH,
GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO,
JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST,
SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: METHOD FOR AUTOMATICALLY MONITORING THE STATE AND DAMAGE OF A COMPONENT OF A VEHICLE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN ZUSTANDSÜBERWACHUNG UND SCHADENSÜBERWACHUNG
VON EINER KOMPONENTE EINES FAHRZEUGS

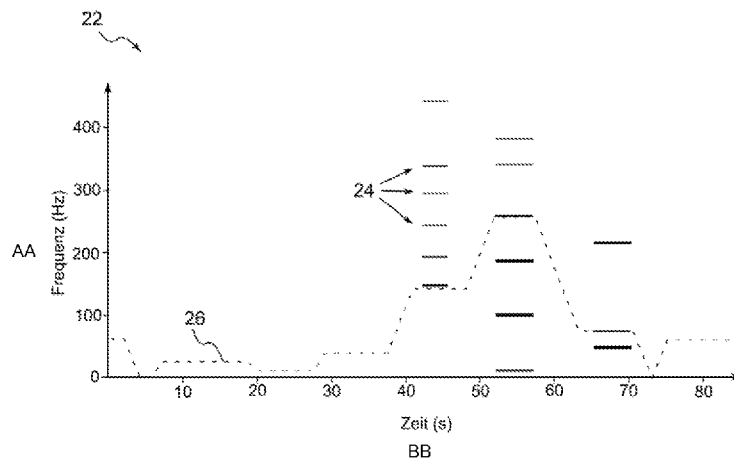


Fig. 3

AA Frequency (Hz)
BB Time (s)

(57) Abstract: The invention relates to a computer-implemented method for automatically monitoring the state and damage of a component of a vehicle during the operation of the vehicle using a monitoring parameter, said method having the steps of: providing a measurement signal of an acceleration sensor, said measurement signal comprising measurement values over the duration of a measurement cycle; determining acceleration amplitudes from a spectral analysis of the measurement signal; assigning the acceleration amplitudes to orders of excitation; ascertaining time-based excitation amplitudes from mean values and standard deviations of the acceleration amplitudes for each order; and calculating the kinetic signal energy as an integral of the time-dependent excitation amplitudes over all of the accelerations for each order.

(57) Zusammenfassung: Computerimplementiertes Verfahren zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente eines Fahrzeugs während einem Betrieb des Fahrzeugs, mittels eines Überwachungsparameters, umfassend die Schritte: Bereitstellen eines Messsignals eines Beschleunigungssensors, wobei das Messsignal Messwerte über die Dauer eines



WO 2023/044516 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)
- in Schwarz-Weiss; die internationale Anmeldung enthielt in ihrer eingereichten Fassung Farbe oder Graustufen und kann von PATENTSCOPE heruntergeladen werden.

Messzyklus umfasst; Bestimmen von Beschleunigungsamplituden aus einer Spektralanalyse des Messsignals; Zuordnen der Beschleunigungsamplituden zu Ordnungen der Anregung; Ermitteln von zeitabhängigen Anregungsamplituden aus Mittelwerten und Standardabweichungen der Beschleunigungsamplituden für jede der Ordnungen; und Berechnen der kinetischen Signalenergie als Integral der zeitabhängigen Anregungsamplituden über alle Beschleunigungen für jede der Ordnungen.

Verfahren zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente eines Fahrzeugs

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente eines Fahrzeugs.

Die vorliegende Erfindung betrifft die Zustandsüberwachung und die Fehlererkennung von Fahrzeugkomponenten. Verfahren zur Zustandsüberwachung sind aus dem Stand der Technik bekannt.

Aus der Offenlegungsschrift DE102016206809 A1 ist beispielsweise ein Verfahren zum automatisierten Erkennen von akustischen Auffälligkeiten im Signal einer rotationssynchronen Geräuschquelle sowie zur Zuordnung möglicher Verursacherquellen bekannt.

Aus der Offenlegungsschrift DE19933105 A1 ist ein Verfahren zum Prüfen und/oder Überwachen von Getrieben zur Schadenserkennung bzw. Früherkennung bekannt, bei dem mittels mindestens eines Sensors getriebespezifische Parameter gemessen und unter Anwendung sowohl einer Ordnungsanalyse als auch einer Frequenzanalyse mit vorbestimmten Referenzwerten verglichen und zu einem prüf- bzw. überwachungsspezifischen Signal verarbeitet werden.

Manche bekannte Verfahren sind jedoch nur auf eine bestimmte Fehlererkennung oder Anwendung spezifiziert. Auch die Einstellung der zu detektierenden Grenzwerte der für die Überwachung verwendeten Sensoren ist meist mit Schwierigkeiten verbunden. Ferner geben verfügbare Systeme keine Auskunft darüber, ob ein Fehler erkannt wurde und was die eigentliche Ursache des Fehlers ist.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Zustands- und Schadensüberwachung von Fahrzeugkomponenten zu ermöglichen.

Die voranstehende Aufgabe wird gelöst, durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11. Weitere

Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch ein computerimplementiertes Verfahren zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente eines Fahrzeugs während einem Betrieb des Fahrzeugs, mittels eines Überwachungsparameters, umfassend die Schritte: Bereitstellen eines Messsignals eines Beschleunigungssensors, wobei das Messsignal Messwerte über die Dauer eines Messzyklus umfasst; Bestimmen von Beschleunigungsamplituden aus einer Spektralanalyse des Messsignals; Zuordnen der Beschleunigungsamplituden zu Ordnungen der Anregung; Ermitteln von zeitabhängigen Anregungsamplituden aus Mittelwerten und Standardabweichungen der Beschleunigungsamplituden für jede der Ordnungen; und Berechnen der kinetischen Signalenergie als Integral der zeitabhängigen Anregungsamplituden über alle Beschleunigungen für jede der Ordnungen.

Der Kerngedanke eines erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass aus der Kombination aus Mittelwert und Standardabweichung eine Berechnung der Signalenergie ermöglicht wird. Die Signalenergie kann entweder direkt oder in abgeleiteter Form zur Zustands- und Schadensüberwachung genutzt werden und ermöglicht zuverlässigere Rückschlüsse auf Zustand und Schaden einer Komponente als im Stand der Technik verwendete Parameter. Zur Zustands- und Schadensüberwachung erfindungsgemäß verwendbare Parameter sind eine kinetische Signalenergie, ein vibrationsinduzierter Schadensindex, eine relative Schädigung der Komponente, ein kumulierter Schadensindex und ein Energiezustand der Komponente. Die Bestimmung dieser Parameter basiert auf derselben erfinderischen Idee. Die Zustandsüberwachung geschieht durch automatisierte Überwachung des Überwachungsparameters. Eine Abweichung des Überwachungsparameters von einem erwarteten Wert kann als Zustandsänderung oder Schadensereignis der Komponente interpretiert werden. Der erwartete Wert kann ein im schadensfreien Zustand gemessener Durchschnittswert sein. Das

Messsignal steht mit der zu überwachenden Komponente in Verbindung. Beispielsweise kann der Beschleunigungssensor an oder in der Nähe der Komponente angeordnet sein. Wird eine Zustandsänderung der überwachten Komponente oder ein Schadensereignis festgestellt, kann ein Warnsignal ausgegeben werden und/oder eine Abschaltung der überwachten Komponente und/oder anderer mit der überwachten Komponente in Zusammenhang stehender Komponenten des Fahrzeugs veranlasst werden.

Vorzugsweise umfasst das Verfahren ferner den Schritt: Ermitteln eines vibrationsinduzierten Schadensindex durch Normieren der zeitabhängigen Anregungsamplituden für jede der Ordnungen auf eine Referenzenergie.

Die für jede der Ordnungen durchgeführten Schritte werden insbesondere für jede der Ordnungen separat durchgeführt.

In einer bevorzugten Weiterbildung kann hierbei das Verfahren ferner den Schritt umfassen: Bestimmen einer relativen Schädigung der Komponente über ein Schadensmodell, wobei das Schadensmodell den vibrationsinduzierten Schadensindex zur Bestimmung der relativen Schädigung nutzt.

In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist die Referenzenergie ein Mittelwert von kinetischen Signalenergien aus Messwerten zu Beginn des Messzyklus.

Vorzugsweise kann hierbei vorgesehen sein, dass der Mittelwert auf kinetischen Signalenergien aus wenigstens fünf Messwerten basiert.

In einer weiteren besonderen Ausführungsform umfasst das Verfahren ferner den Schritt: Ermitteln eines kumulierten Schadensindex als Differenz zwischen der Summe von vibrationsinduzierten Schadensindizes des Messzyklus und einem Referenzwert, wobei der Referenzwert ein unverändertes Verhalten der Komponente darstellt

Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Verfahren an einem Fahrzeugprüfstand durchgeführt wird.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass für die Bestimmung der Beschleunigungsamplituden eine Fouriertransformation des Messsignals durchgeführt wird.

Gemäß einer weiteren besonderen Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Signal des Beschleunigungssensors mit einem normierten Signal eines zweiten Sensors verglichen wird und das normierte Signal des zweiten Sensors zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung genutzt wird.

Weiterhin kann vorgesehen sein, dass das erfindungsgemäße Verfahren ferner die Schritte umfasst: Ermitteln des Energiezustands der Komponente durch Summieren aller kinetischen Signalenergien des Messzyklus; und Normieren der Summe aller kinetischen Signalenergien auf eine Referenzenergie, wobei die Referenzenergie ein Mittelwert von kinetischen Signalenergien aus Messwerten zu Beginn des Messzyklus ist.

Ferner liefert die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigen schematisch:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur parallelen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung einer Komponente eines Fahrzeugs gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 2 ein exemplarisches Messsignal eines Beschleunigungssensors gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 3 eine exemplarische schematische Darstellung einer Spektralanalyse eines Messsignals gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung,

- Fig. 4 ein Frequenzspektrum einer statistischen Analyse aller Ordnungslinien eines Messsignals,
- Fig. 5 Ergebnisse einer Ordnungsverfolgung für die ersten drei Ordnungen und dazugehörige Signalenergien gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung,
- Fig. 6 eine Detailansicht von dem Ergebnis der Ordnungsverfolgung für die dritte Ordnung aus Figur 5,
- Fig. 7 die Signalenergie aus Figur 5 für die ersten drei Ordnungen und einen jeweils zugehörigen vibrationsinduzierter Schadensindex in Abhängigkeit der Messzeit,
- Fig. 8 ein Spektrum von frequenzabhängigen vibrationsinduzierten Schadensindex einer exemplarischen Messung,
- Fig. 9 die Beschleunigungsamplitude des Signals dritter Ordnung aus Figur 5, eine zugehörige normierte Signalenergie und einen vibrationsinduzierten Schadensindex des gleichen Signals im Vergleich,
- Fig. 10 Ein Spektrum von kumulierten vibrationsinduzierten Schadensindizes basierend auf dem Spektrum von Figur 8,
- Fig. 11 ein Diagramm von C-VIDI-Signalen unterschiedlicher Frequenzen, und
- Fig. 12 ein Energiezustandsdiagramm von drei verschiedenen Sensoren.

Figur 1 zeigt schematisch eine Vorrichtung 10 zur parallelen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente 14 eines Fahrzeugs. Die Vorrichtung umfasst eine Recheneinheit 12, die mit zwei Beschleunigungssensoren 16 in signaltechnischer Verbindung steht. Die Beschleunigungssensoren 16 sind dazu eingerichtet, Vibrationen 18 der Komponente 14 als Messsignale zu

detektieren. Die Komponente 14 befindet sich in einem Fahrzeug (nicht im Detail dargestellt), das beispielsweise an einem Fahrzeugprüfstand (ebenfalls nicht im Detail dargestellt) betrieben werden kann. Die Recheneinheit 12 befindet sich außerhalb des Fahrzeugs. Die dargestellte Ausführungsform findet an einem Fahrzeugprüfstand statt, kann jedoch auch im Inneren eines Fahrzeugs eingesetzt werden.

Figur 2 zeigt ein exemplarisches Messsignal 20 eines Beschleunigungssensors 16 gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung. Das Messsignal 20 zeigt die von einem Beschleunigungssensor 16 gemessene Amplitude einer Komponente, wobei das Messsignal über die Dauer von 20s aufgenommen wurde. Das Messsignal hat grundsätzlich mindestens eine periodische Komponente und nimmt in diesem Beispiel über die Dauer der Messung ab.

Figur 3 zeigt eine exemplarische schematische Darstellung einer Spektralanalyse 22 eines Messsignals 20 gemäß einer besonderen Ausführungsform der Erfindung. Die Spektralanalyse ist das Ergebnis einer Fouriertransformation von zu unterschiedlichen Zeiträumen aufgenommenen Messsignalen 20. Während der unterschiedlichen Zeiträume der Messung wurde das Fahrzeug in unterschiedlichen Betriebszuständen betrieben. Der gesamte Messzyklus hat in diesem Beispiel eine Länge von 90 s. Die Parameter der Spektralanalyse können grundsätzlich manuell festgelegt werden. Die Spektralanalyse 22 zeigt Beschleunigungsamplituden 24 für die verschiedenen Zeiträume als Linien unterschiedlicher Linienstärke. Die Linienstärke entspricht hierbei der Intensität des zu einer jeweiligen Frequenz gehörigen Messsignals 20. Aufgrund der Darstellung in Schwarz-Weiß sind besonders wenig intensive Beschleunigungsamplituden 24 dieser Wiedergabe einer realen Spektralanalyse 22 nicht im Detail dargestellt. Auch in Zeiträumen zwischen 0 s und 40 s sind Beschleunigungsamplituden 24 gemessen worden, jedoch nur solche, mit geringer Intensität. Die Beschleunigungsamplituden 24 können jeweils einer zugehörigen Ordnung zugeordnet werden. Die als gestrichelte Linie dargestellte Ordnungslinie 26 zeigt die Frequenzen der Beschleunigungsamplituden 24 einer Ordnung zu unterschiedlichen Zeiten an. Jeder Datenpunkt entlang der Ordnungslinie 26 entspricht einer Amplitude bei dieser Frequenz.

Figur 4 zeigt ein Frequenzspektrum 28 einer statistischen Analyse aller Ordnungslinien 26 eines Messsignals 20. Für die statistische Analyse der Ordnungslinien 26 wird entlang jeder Ordnungslinie 26 mithilfe einer Spektralanalyse für jeden Zeitschritt vorwärts die Größe der Anregungsamplitude 36 bestimmt. Die Anregungsamplituden 36 umfassen dabei Mittelwerte und Standardabweichungen der Beschleunigungsamplituden 24 für jede der Ordnungen separat. Aus der statistischen Analyse dieses Datensatzes entlang der Ordnungslinien 26 wird anschließend das Frequenzspektrum 28 erstellt, das Mittelwert und Standardabweichung der Anregungsamplituden 36 entlang aller Ordnungslinien wiedergibt. Dieser Prozessschritt wird auch Ordnungsverfolgung genannt. Das Frequenzspektrum 28 zeigt insbesondere ein Signal erster Ordnung 30 bei ca. 143 Hz, ein Signal zweiter Ordnung 32 bei ca. 287 Hz und ein Signal dritter Ordnung 34 bei ca. 430 Hz.

Figur 5 zeigt Anregungsamplituden 36 für Messsignale 20 der ersten drei Ordnungen separat und dazugehörige Signalenergien 38 in Abhängigkeit der Messzeit. Die Anregungsamplituden 36 sind in beliebigen Einheiten des jeweiligen Messsignals über die Zeit aufgetragen.

Anhand der in Figur 4 gezeigten Ergebnisse der statistischen Analyse aller Ordnungslinien der Amplituden, einschließlich der mittleren Amplitude und ihrer Standardabweichung, lässt sich die kinetische Signalenergie 38 berechnen. Die Signalenergie wird für jede neue Messung, also für jeden Zeitschritt, einzeln berechnet. Über die Zuordnung der berechneten kinetischen Signalenergie 38 kann eine zeitliche Entwicklung der Signalenergien 38 bestimmt werden. Die Signalenergie 38 jeder Ordnung setzt sich grundsätzlich aus mehreren Amplituden zusammen, die jeweils eine Verteilung darstellen und in Fig. 5 wiedergegeben sind.

Figur 6 zeigt eine Detailansicht 40 der Anregungsamplitude 36 für Signale der dritten Ordnung aus Figur 5. An dieser Detailansicht 40 wird exemplarisch erläutert, wie die Berechnung der Signalenergie 38 durchgeführt wird. Die Ordnungsverfolgung der Beschleunigungsmessung enthält neben den konkreten Messwerten 42 auch Informationen über den Mittelwert 44 und die Standardabweichung 46 der Beschleunigung zu jedem Zeitpunkt.

Zunächst wird die Annahme getroffen, dass die Verteilung der Beschleunigungssignale für jede Ordnung einer Gaußschen Normalverteilung entspricht.

Die Energieverteilung jeder Ordnung wird anschließend als kinetische Energie berechnet über:

$$dE = m * v * dv = \frac{m}{\omega^2} * a * da$$

Wobei m die Masse, v die Geschwindigkeit, a die Beschleunigung und $\omega=2*\pi*v$ die Kreisfrequenz angibt. Mit der Annahme, dass die Signale der Beschleunigungsamplitude normalverteilt sind, führt das zu

$$dE = \frac{m}{\omega^2} * a * N(\mu, \sigma) * da$$

mit der Verteilung der Messwerte $N(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2*\pi*\sigma^2}} * \exp(-(x - \mu)^2 / 2\sigma^2)$ wobei μ den Mittelwert und σ die Standardabweichung angibt. Für eine gewählte Ordnung ist der erste Faktor konstant, womit die Formel vereinfacht werden kann, zu:

$$dE = a * N(\mu, \sigma) * da$$

Die gesamte kinetische Signalenergie E einer Ordnung ergibt sich anschließend als Integral von 0 bis unendlich über alle Beschleunigungen.

Figur 7 zeigt die Signalenergie 38 aus Figur 5 für die ersten drei Ordnungen und einen jeweils zugehörigen vibrationsinduzierten Schadensindex (VIDI) 48 über die Messdauer. Der vibrationsinduzierte Schadensindex 48 wird durch Normieren der Anregungsamplituden 36 für jede der Ordnungen separat ermittelt.

Zur Berechnung des vibrationsinduzierten Schadensindex 48 wird eine Referenzenergie berechnet. Im gewählten Beispiel wird als Referenzenergie der Mittelwert aus mehreren zu Beginn eines Messzyklus bestimmten kinetischen Signalenergien berechnet. Die Anzahl der zur Berechnung des Mittelwerts genutzten kinetischen Signalenergien sollte nicht zu gering sein, um den Einfluss von stark abweichenden Signalenergien nicht zu groß werden zu lassen, Die Anzahl sollte aber auch nicht zu groß gewählt sein, um eine vom Mittelwert abweichende Entwicklung möglichst frühzeitig erkennen zu können. Im in Fig. 7 gezeigten Beispiel wurden kinetische Signalenergien, die aus den ersten fünf Messungen abgeleitet

wurden, zur Bestimmung der Referenzenergie genutzt. Alle anschließend bestimmten kinetischen Signalenergien werden mit der Referenzenergie verglichen. Die Normierung der Daten erlaubt, unterschiedliche Daten miteinander zu vergleichen und einen relativen Einfluss unterschiedlicher Schadensereignisse auf das Messsignal von einem Sensor zu identifizieren.

In Figur 7 ist zu erkennen, dass der vibrationsinduzierte Schadensindex 48 eines Signals ersten Ordnung im Messzeitraum um die Referenzenergie schwankt. Ein vibrationsinduzierter Schadensindex 48 eines Signals zweiter und dritter Ordnung steigt dagegen insbesondere nach einer Messzeit von etwa 3350 s an. Dieser Anstieg kann auf ein Schadensereignis hindeuten.

Figur 8 zeigt ein VIDI-Spektrum 50 einer exemplarischen Messung. Das VIDI-Spektrum 50 entspricht einer Kombination aus über eine Messdauer aufgetragenen vibrationsinduzierten Schadensindizes 48 für alle Ordnungen. In dem VIDI-Spektrum 50 lassen sich auf einfache Art und Weise kurzfristige Zustandsänderungen als Einzelsignale 52 identifizieren. Signalkombinationen 54 zu einer bestimmten Zeit über eine größere Anzahl von Frequenzen erlauben außerdem die Identifikation eines größeren Schadensereignisses zu diesem Zeitpunkt. Tritt eine Signalkombination bei einer Frequenz über einen längeren Zeitraum auf (nicht im Detail dargestellt), ist eine Nachverfolgung der Entwicklung eines Schadensereignisses über das VIDI-Spektrum 50 auf besonders einfache Weise möglich.

Figur 9 zeigt die Anregungsamplitude 36 des Messsignals dritter Ordnung aus Figur 5, eine zugehörige normierte Signalenergie 60 und einen vibrationsinduzierten Schadensindex 48 des gleichen Signals im Vergleich. Die normierte Signalenergie 60 zeigt eine Verteilung einer Referenzenergie 56 und eine Verteilung einer Messenergie 58, die zu einem festen Zeitpunkt gemessene Messwerte enthält. Die Höhe der Verteilung ist auf die Referenzenergie 56 normiert.

Der vibrationsinduzierte Schadensindex (*vibration induced damage index*, VIDI) ist ein Wert zur Identifikation von kritischen Schwingungen in Bezug auf die Gesamtenergie des Systems. VIDI-Signale können miteinander verglichen werden, um signifikante Vibrationsveränderungen und deren Auswirkungen zu ermitteln. Ein Wert für den vibrationsinduzierten Schadensindex VIDI berechnet sich nach:

$$Y = \frac{E}{E_{ref}}$$

wobei die Referenzenergie E_{ref} als kinetische Energie eines Referenzsignals und die Messenergie E als kinetische Energie eines Messsignals definiert sind. Wird das Messsignal E aktuell gemessen, lässt sich mittels des VIDI-Index eine aktuell stattfindende Vibrationsänderung ermitteln.

In einer Erweiterung der Erfindung lässt sich aus VIDI ein Schadensmodell generieren. Aus grundlegenden physikalischen Überlegungen ist bekannt, dass eine Beschleunigung a proportional zur beschleunigten Masse M , die Masse M proportional zur für die Beschleunigung aufgewendete Kraft F und die Kraft F proportional zu einer im Bauteil induzierten Spannung σ ist:

$$a \sim M \sim F \sim \sigma.$$

Die kinetische Energie und die potenzielle Energie der Signale sind ebenfalls proportional zueinander. Für eine bestimmte Komponente kann die potenzielle Energie wie folgt geschrieben werden

$$dE_{pot} = \sigma * dV$$

Dies lässt sich mit der Formel zur Berechnung von VIDI kombinieren, wonach folgt:

$$Y = \frac{\sigma}{\sigma_{ref}}$$

Die Referenzspannung σ_{ref} ist ein Mittelwert aller angenommenen Spannungen zu jedem Zeitpunkt der Berechnung der relativen Schädigung. Eine kurze Berechnung führt zu einer aktualisierten Gleichung für die relative Schädigung:

$$\dot{D}_{rel} = \frac{1}{t_{tot}} \sum \frac{n_i(t) \cdot \Delta t_i * Y_i^k}{M_{i,pos}(t)^{-k}}$$

Hierbei ist $n_i(t)$ die Drehzahl für die jeweilige Messung i , $M_{i,pos}(t)$ das Drehmoment und k der Schadensexponent, der abhängig vom Schadensmodell und Schadensmode, die angeregt wird, ist.

Das bedeutet, dass die Kombination aus einer VIDI-Messung aus Beschleunigungsmessung und einem Schadensmodell den aktuellen Zustand neu berechnet und den relativen kumulierten Schadenswert RAD (*relative accumulated damage*) für jede Komponente eines Fahrzeugs anpasst.

Die relative kumulierte Schädigung berechnet sich nach

$$RAD = AF \times t_{Test}/t_{Ref}$$

mit dem Beschleunigungsfaktor (*acceleration factor*)

$$AF = D_{test}/D_{Ref}.$$

Alternativ zu einem aus einem VIDI berechneten Schadensmodell lassen sich über eine Messzeitraum gemessene VIDI Werte summieren, um einen Gesamtschadenseintrag zu berechnen.

Figur 10 zeigt ein C-VIDI-Spektrum 62 von kumulierten vibrationsinduzierten Schadensindizes 48 basierend auf dem VIDI-Spektrum 50 von Figur 8. C-VIDI (*cumulated VIDI*) kumuliert die VIDI-Signale entlang jeder Ordnung. Mit der Auftragung der C-VIDI-Signale in einem Spektrum 62 lassen sich Abweichungen von der Referenz frühzeitig erkennen. Im Gegensatz zu der hier gewählten Skalierung in schwarz/weiß kann bei einem C-VIDI-Spektrum 62 mit Farbskalierung ein C-VIDI-Signal auch in seiner Intensität identifiziert werden. In dem C-VIDI-Spektrum 62 ist zu erkennen, dass sich C-VIDI-Signale 64 einzelner Ordnungen leicht erkennen und verfolgen lassen. Weiterhin zeigt das C-VIDI-Spektrum 62 einen Bereich 66 erhöhter C-VIDI-Signale. Aufgrund der normalisierten Daten ist ein Vergleich der C-VIDI-Signale unterschiedlicher Ordnungen möglich. Ein früher Anstieg von C-VIDI-Signalen deutet auf ein erstes Schadensereignis in einem bestimmten Bereich hin, der auf der Grundlage der Reihenfolge der Signale zugeordnet werden kann. Der Zustand eines Bauteils lässt sich somit direkt aus einem C-VIDI-Signal ablesen.

Der kumulierte VIDI (C-VIDI) ist ein guter Indikator dafür, wann eine Verhaltensänderung jeder einzelnen Ordnung in einer frühen Phase der Messung stattgefunden hat. C-VIDI-Werte sind miteinander vergleichbar, d.h. eine Ordnung mit höheren VIDI-Werten hat auch höhere Verhaltensänderungen als eine Ordnung

mit niedrigerem VIDI-Wert. Die Berechnung von C-VIDI, Γ , basiert auf der Summierung der Differenz zwischen dem aktuellen VIDI-Wert und dem Referenzwert, der ein unverändertes Verhalten der Komponente für alle Zyklen darstellt ($\text{VIDI}_{\text{ref}} = 1,0$):

$$\Gamma = \sum_{\text{cycles}} (\gamma - 1)$$

Figur 11 zeigt ein Diagramm von C-VIDI-Signalen unterschiedlicher Frequenzen. Durch die Auftragung sind Unterschiede zwischen verschiedenen Ordnungen und Anstiege auch in der schwarz-weiß-Auftragung identifizierbar.

Fig. 12 zeigt ein Energiezustandsdiagramm 68 von drei verschiedenen an einer Komponente 14 angebrachten Sensoren. Im Diagramm ist ein Energiezustand eines ersten Sensors 70, ein Energiezustand eines zweiten Sensors 72 und ein Energiezustand eines dritten Sensors 74 aufgetragen. Die Messung des Energiezustands ist über einen längeren Zeitraum von mehreren Wochen aufgetragen.

Der Energiezustand ist eine Alternative zur Berechnung des VIDI. Im Gegensatz zu VIDI wird bei der Berechnung des Energiezustands die kinetische Signalenergie jeder Messung aufsummiert und auf eine Referenzenergie bezogen, die wiederum auf den ersten 5 Messungen basiert. Die Referenzenergie kann als Mittelwert einer kinetischen Energie der fünf Messungen multipliziert mit der Anzahl der Messungen berechnet werden. Mit dem so berechneten Energiezustand kann das gesamte Signalverhalten über die Testzeit verfolgt werden. Der Energiezustand kann dabei auch über einen Wert von 1 ansteigen.

Ein abnehmender Energiezustand bedeutet, dass die tatsächlich gemessene Signalenergie zunimmt. Die Zunahme zeigt sich in einer Abnahme des Energiezustands aufgrund höherer Signalenergie.

Während im in Figur 12 gezeigten Beispiel ein Energiezustand eines ersten Sensors 70 und ein Energiezustand eines zweiten Sensors 72 über den

gesamten Messzeitraum in etwa parallel und abnehmend verlaufen, nimmt ein Energiezustand eines dritten Sensors 74 zunächst zu und steigt über den Wert von 1, während er nach etwa 21 Tagen Messzeit ebenfalls abnimmt. Die unterschiedlichen Verläufe des Energiezustands können in unterschiedlichen Positionen der Sensoren begründet sein. Die Berechnung des Energiezustands ermöglicht ebenfalls eine Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von ein oder mehreren Komponenten 14 eines Fahrzeugs.

Die voranstehenden Erläuterungen zu den Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

Bezugszeichenliste

- 10 Vorrichtung zur parallelen Zustands- und Schadensüberwachung
- 12 Recheneinheit
- 14 Komponente
- 16 Beschleunigungssensor
- 18 Vibration
- 20 Messsignal
- 22 Spektralanalyse
- 24 Beschleunigungsamplituden
- 26 Ordnungslinie
- 28 Frequenzspektrum
- 30 Signal erster Ordnung
- 32 Signal zweiter Ordnung
- 34 Signal dritter Ordnung
- 36 Anregungsamplitude
- 38 Signalenergie
- 40 Detailansicht
- 42 Messwerte
- 44 Mittelwert
- 46 Standardabweichung
- 48 vibrationsinduzierter Schadensindex (VIDI)
- 50 VIDI-Spektrum
- 52 Einzelsignal
- 54 Signalkombination
- 56 Referenzenergie
- 58 Messenergie
- 60 normierte Signalenergie
- 62 C-VIDI-Spektrum
- 64 C-VIDI-Signal einzelner Ordnung
- 66 Bereich erhöhter C-VIDI-Signale
- 68 Energiezustandsdiagramm
- 70 Energiezustand eines ersten Sensors

- 72 Energiezustand eines zweiten Sensors
- 74 Energiezustand eines dritten Sensors

Patentansprüche

1. Computerimplementiertes Verfahren zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung von einer Komponente (14) eines Fahrzeugs während einem Betrieb des Fahrzeugs, mittels eines Überwachungsparameters, umfassend die Schritte:
 - Bereitstellen eines Messsignals (20) eines Beschleunigungssensors, wobei das Messsignal (20) Messwerte über die Dauer eines Messzyklus umfasst;
 - Bestimmen von Beschleunigungsamplituden (24) aus einer Spektralanalyse des Messsignals (20);
 - Zuordnen der Beschleunigungsamplituden (24) zu Ordnungen der Anregung;
 - Ermitteln von zeitabhängigen Anregungsamplituden (36) aus Mittelwerten und Standardabweichungen der Beschleunigungsamplituden (24) für jede der Ordnungen; und
 - Berechnen der kinetischen Signalenergie (38) als Integral der zeitabhängigen Anregungsamplituden (36) über alle Beschleunigungen für jede der Ordnungen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den Schritt umfasst:
 - Ermitteln eines vibrationsinduzierten Schadensindex (48) durch Normieren der Anregungsamplituden (36) für jede der Ordnungen auf eine Referenzenergie.
3. Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend den Schritt:
 - Bestimmen einer relativen Schädigung der Komponente (14) über ein Schadensmodell, wobei das Schadensmodell den vibrationsinduzierten Schadensindex (48) zur Bestimmung der relativen Schädigung nutzt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die Referenzenergie ein Mittelwert von kinetischen Signalenergien (38) aus Messwerten zu Beginn des Messzyklus ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der Mittelwert auf kinetischen Signalenergien (38), aus wenigstens fünf Messwerten, basiert.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend den Schritt:
Ermitteln eines kumulierten Schadensindex als Differenz zwischen der Summe von vibrationsinduzierten Schadensindizes (48) des Messzyklus und einem Referenzwert, wobei der Referenzwert ein unverändertes Verhalten der Komponente (14) darstellt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verfahren an einem Fahrzeugprüfstand durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei für die Bestimmung der Beschleunigungsamplituden (24) eine Fouriertransformation des Messsignals (20) durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Signal des Beschleunigungssensors (16) mit einem normierten Signal eines zweiten Sensors verglichen wird und das normierte Signal des zweiten Sensors zur automatischen Zustandsüberwachung und Schadensüberwachung genutzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend den Schritt:
Ermitteln des Energiezustands der Komponente (14) durch Summieren aller kinetischen Signalenergien (38) des Messzyklus; und
Normieren der Summe aller kinetischen Signalenergien (38) auf eine Referenzenergie, wobei die Referenzenergie ein Mittelwert von kinetischen Signalenergien (38) aus Messwerten zu Beginn des Messzyklus ist.
11. Vorrichtung (10) zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

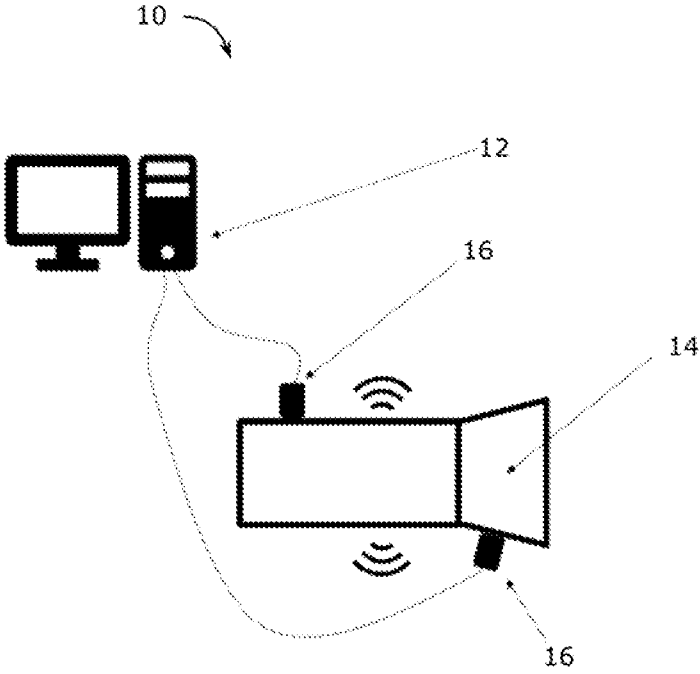


Fig. 1

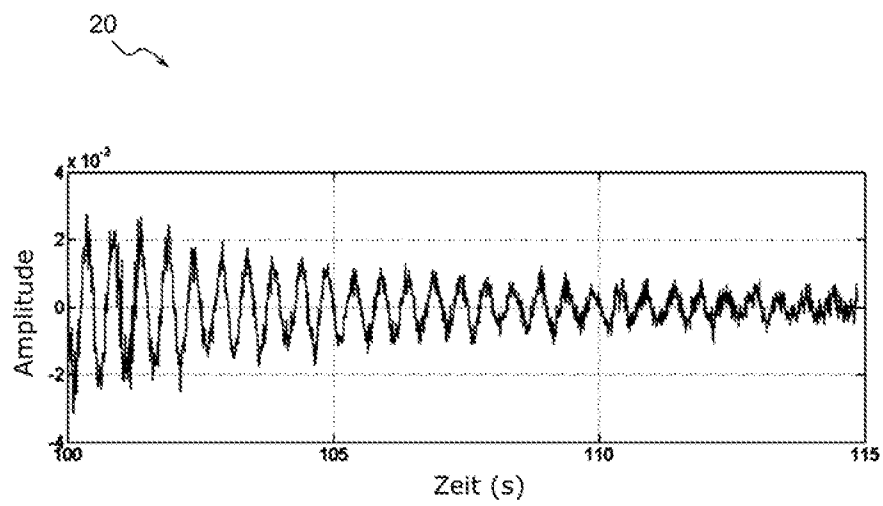


Fig. 2

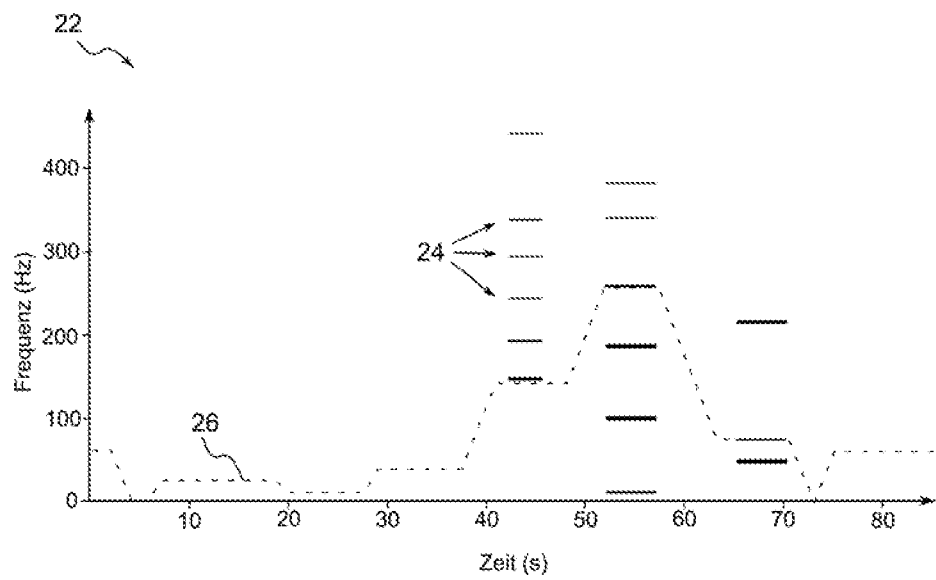


Fig. 3

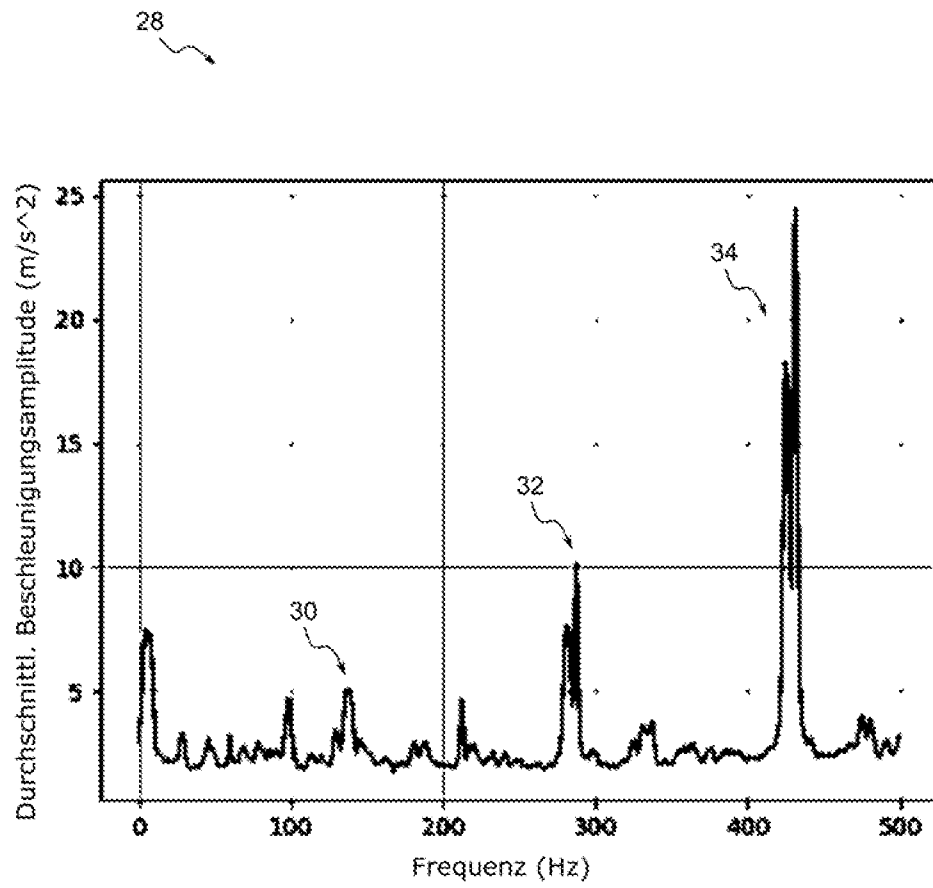


Fig. 4

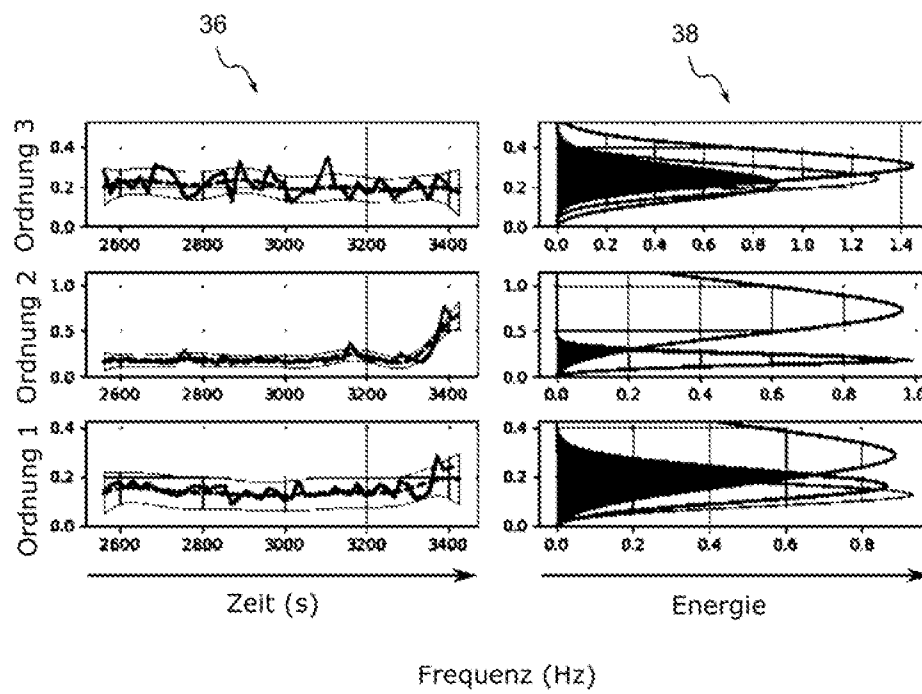


Fig. 5

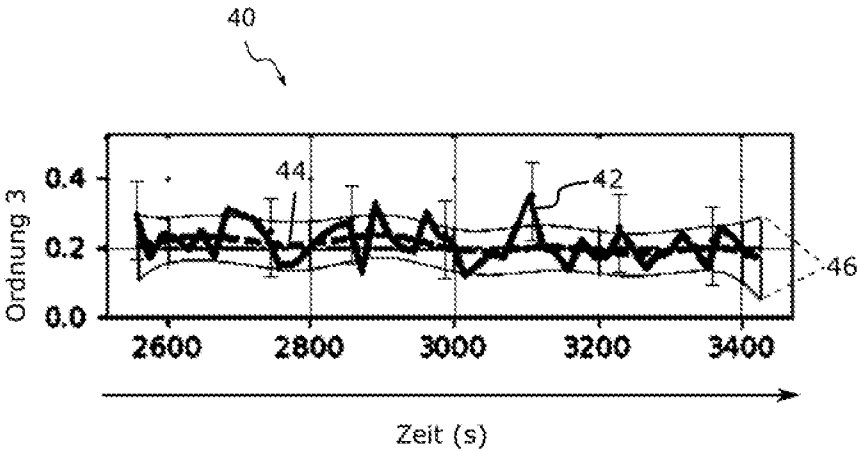


Fig. 6

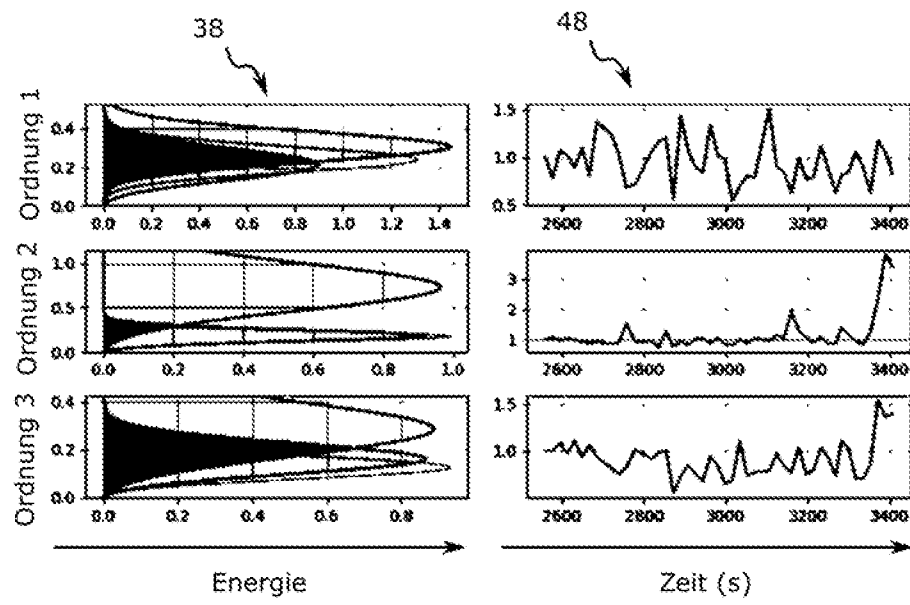


Fig. 7

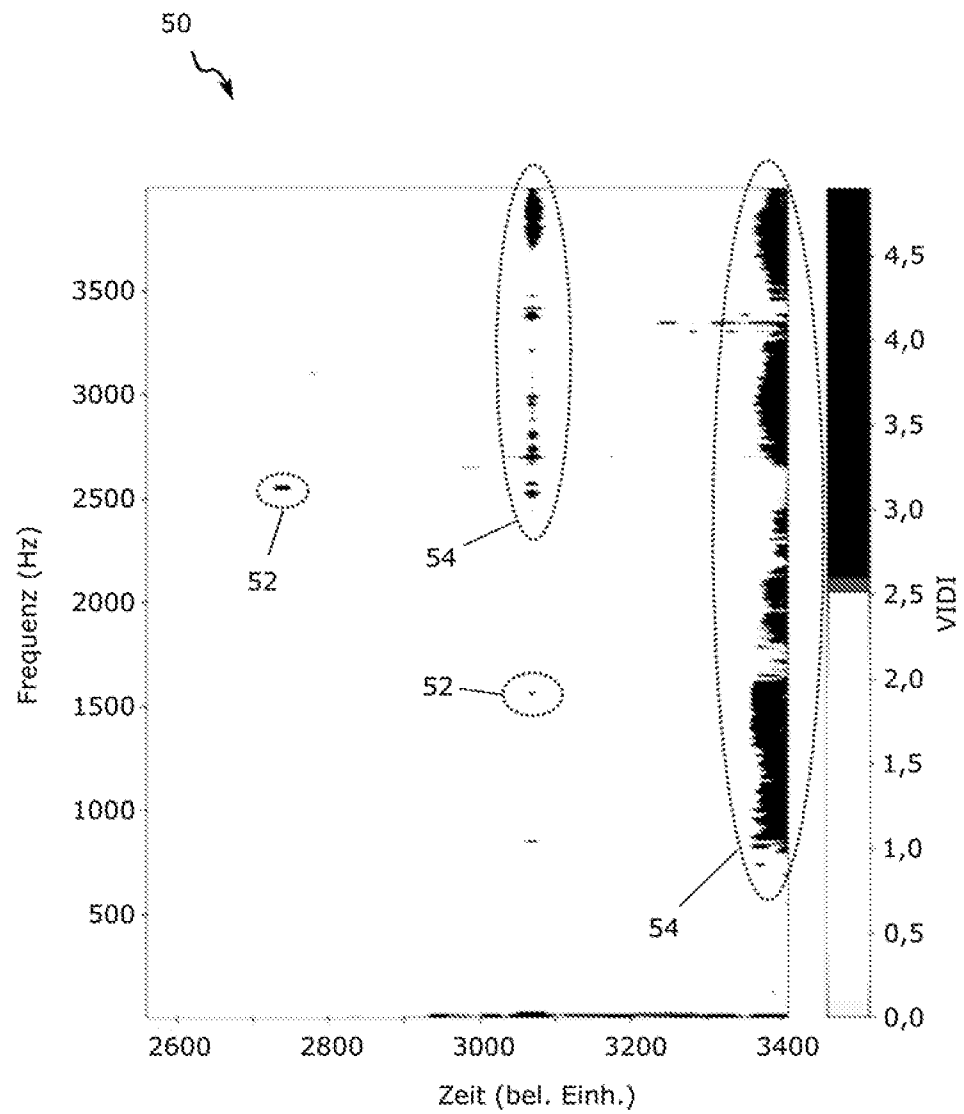


Fig. 8

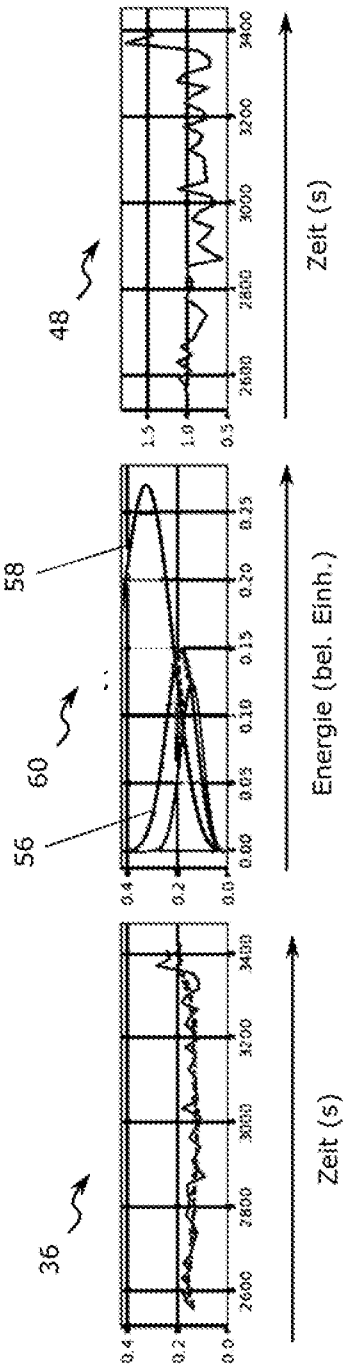


Fig. 9

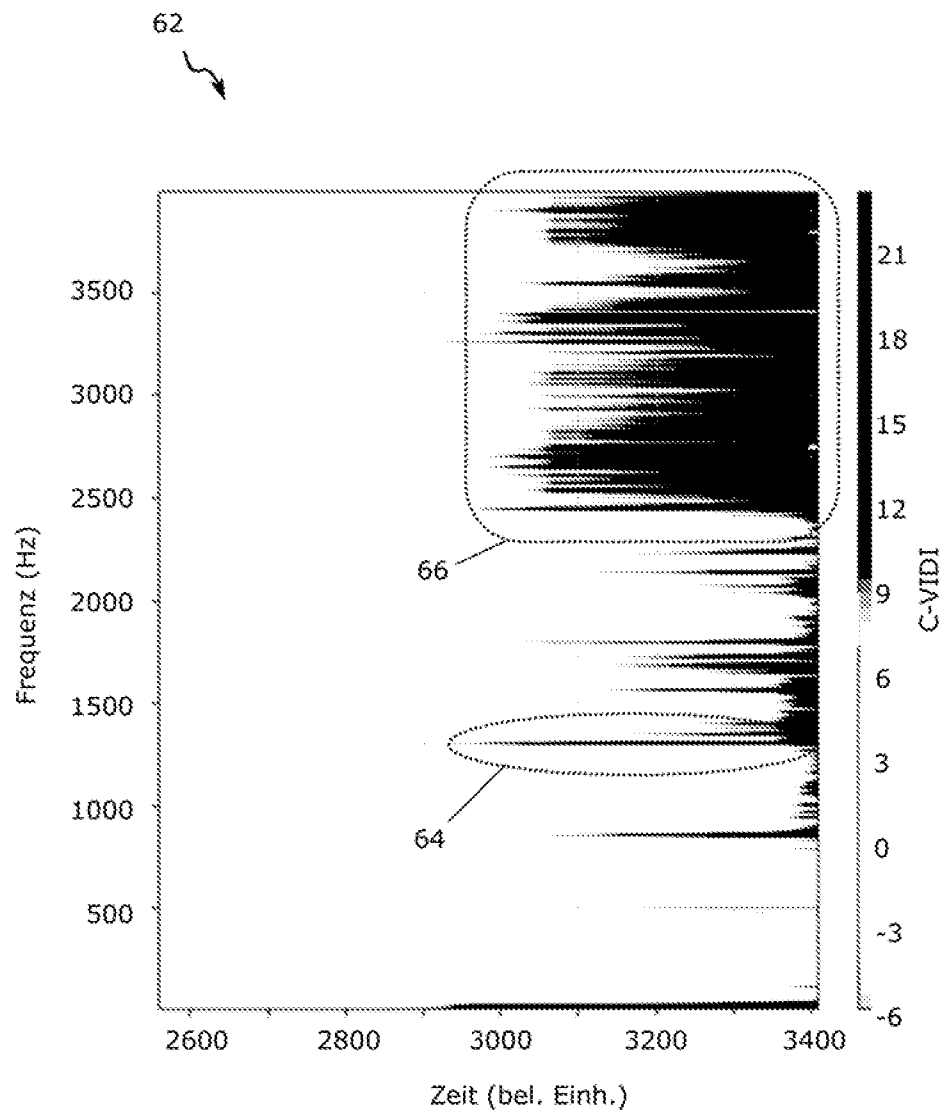


Fig. 10

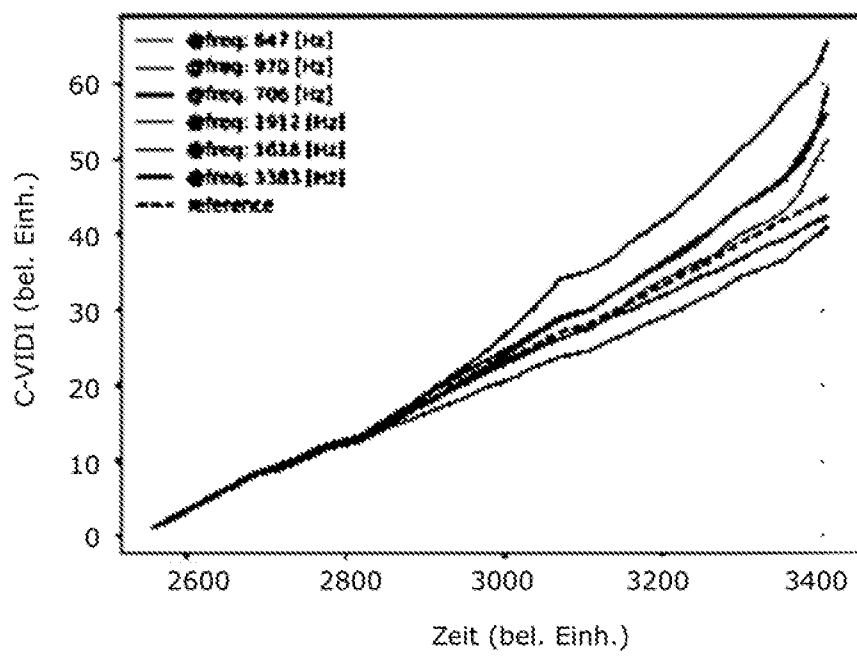


Fig. 11

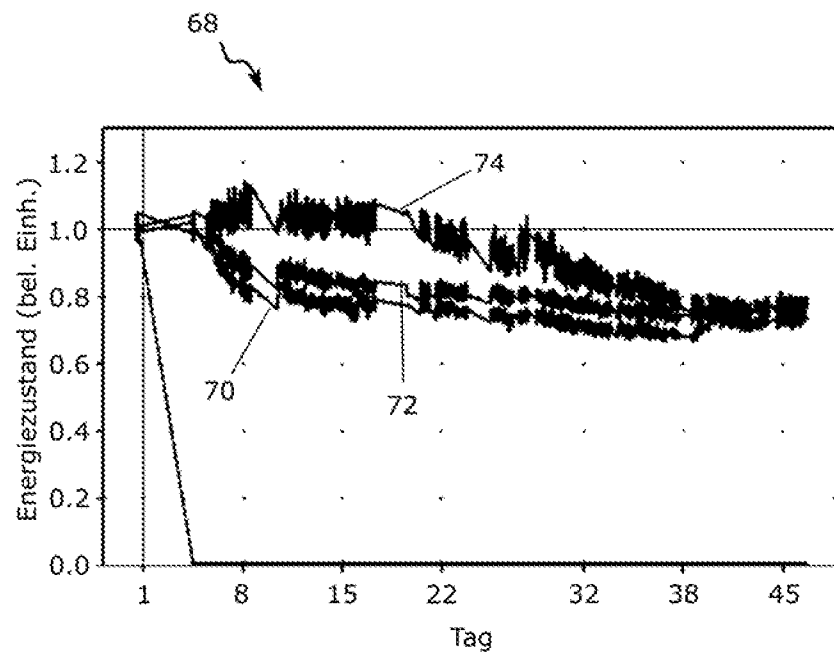


Fig. 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/AT2022/060310

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01M 17/00**(2006.01)i; **G01M 7/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2005102116 A1 (BAI MING-SIAN [TW] ET AL) 12 May 2005 (2005-05-12) paragraphs [0009], [0014], [0015]; figure 1	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 December 2022

Date of mailing of the international search report

09 December 2022

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Kaiser, Jean-Luc

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/AT2022/060310

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2005102116	A1	12 May 2005	TW	I264663	B	21 October 2006
				US	2005102116	A1	12 May 2005

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. G01M17/00 G01M7/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01M		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2005/102116 A1 (BAI MING-SIAN [TW] ET AL) 12. Mai 2005 (2005-05-12) Absätze [0009], [0014], [0015]; Abbildung 1 -----	1-11
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
1. Dezember 2022		09/12/2022
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Kaiser, Jean-Luc

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/AT2022/060310

Formblatt PCT/ISA/210 (Anhang Patentfamilie) (April 2005)