

Beschreibung**SYSTEM UND VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG VON MECHANISCH
GEKOPPELTEN STRUKTUREN**

Die Erfindung betrifft ein System zur Überwachung einer mechanisch gekoppelten
5 Struktur sowie ein derartiges Verfahren.

Es sind Sensoren - beispielsweise auf der Basis des Sagnac-Effekts - bekannt, die
Rotationen absolut bestimmen und sich somit für die Registrierung des dynami-
schen Verhaltens von ausgedehnten mechanisch gekoppelten Strukturen unter
10 dem Einfluss externer Kräfte unabhängig von lokalen Bezugssystemen eignen.
Aufgrund der unvermeidlichen Drift in diesen Sensoren ist der Frequenzbereich
allerdings nach unten hin begrenzt.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung ein System und ein Verfahren zur Überwa-
15 chung von mechanisch gekoppelten Strukturen anzugeben, mit denen die Beobachtungen von zeitlichen Abläufen des Verhaltens von mechanisch gekoppelten
Strukturen möglich sind.

Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung ein System mit den Merkmalen des
20 Patentanspruchs 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 6
zur Verfügung.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Systems bzw. des Verfahrens sind in den Unter-
ansprüchen geschildert.

25 Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems bei Überwa-
30 chung einer mechanisch gekoppelten Struktur gemäß einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 2 eine schematische Darstellung zur Bestimmung der Orientie-
rung des Sensors zur Erdrotationsachse;

35 Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms eines Verfahrens gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels;

- Fig. 4 ein System zur Überwachung gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels;
- 5 Fig. 5 den schematischen Aufbau eines System gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels;
- Fig. 6 den schematischen Aufbau eines Systems gemäß eine weiteren Ausführungsbeispiels;
- 10 Fig. 7 den schematischen Aufbau eines Systems gemäß eines weiteren Ausführungsbeispiels; und
- Fig. 8 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Verfahrens gemäß
15 eines weiteren Ausführungsbeispiels.

In den Figuren sind einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen mit denselben Bezugsziffern gekennzeichnet.

- 20 In Fig. 1 ist ein System 100 zur Überwachung einer mechanisch gekoppelten Struktur 101 dargestellt mit einem ersten Sensor 102, der ausgebildet ist, um seine Orientierung relativ zur Erdrotationsachse zu vorgegebenen Zeitpunkten als ein erstes Messergebnis zu bestimmen, wobei der erste Sensor 102 mit einem ersten Teil der mechanisch gekoppelten Struktur verbindbar ist. Darüber hinaus ist
25 mindestens ein zweiter Sensor 104 vorgesehen, der bei Inbetriebnahme des Systems 100 in einer bekannten ersten Orientierung zum ersten Sensor 102 steht und dazu ausgebildet ist, eine Drehrate und/oder eine Beschleunigung als zweites Messergebnis zu ermitteln. Dabei ist der mindestens eine zweite Sensor 104 mit einem zweiten Teil der mechanisch gekoppelten Struktur verbindbar. Darüber
30 hinaus ist eine Zentraleinheit 106 vorgesehen sowie ein Kommunikationsnetzwerk 108, über das die Zentraleinheit 106 mit dem ersten Sensor 102 und dem zweiten Sensor 104 verbunden ist. Der erste Sensor 102 ist dabei so ausgebildet, dass die ersten Messergebnisse an die Zentraleinheit 106 übertragen werden und der zweite Sensor 104 ist so ausgebildet, dass die zweiten Messergebnisse an die Zentral-
35 einheit 106 übertragen werden. Die Zentraleinheit 106 ist dazu ausgebildet, mit Hilfe der ersten und zweiten Messergebnisse die mechanisch gekoppelte Struktur 101 zu überwachen.

Der erste Sensor 102 kann dabei beispielsweise als Sagnac-Sensor oder als Coriolis-Sensor ausgebildet sein. Beide Sensortypen sind in der Lage, über den Sagnac-Effekt bzw. den Coriolis-Effekt ihre Orientierung relativ zur Erdrotationsachse zu bestimmen.

5

Das Kommunikationsnetzwerk 108 kann dabei drahtlos oder drahtgebunden ausgebildet sein. Optische Kommunikation über Lichtleitkabel oder über Freiraumausbreitung ist dabei ebenso möglich wie elektrische oder elektromagnetische Kommunikation. Dabei können beliebige Kommunikationswege zwischen den Sensoren 102, 104 und der Zentraleinheit 106 vorstellbar sein. Beispielsweise könnte als ein besonders einfach zu implementierender Kommunikationsweg nur jeweils eine direkte unidirektionale Kommunikation zwischen den einzelnen Sensoren 102, 104 und der Zentraleinheit 106 möglich sein. Aber auch komplexere Kommunikationswege wie eine bidirektionale Kommunikation zwischen den einzelnen Sensoren 102, 104 sowie jeweils zwischen den Sensoren 102, 104 und der Zentraleinheit 106 sind möglich.

Gegebenenfalls kann das System durch das Vorsehen von nicht dargestellter GNSS (Global Navigation Satellite System)-Sensorik wie beispielsweise GPS (Global Positioning System), Galileo oder Glonass in den Sensoren 102, 104 weiter verbessert werden, da dadurch eine Messung der absoluten Position der Sensoren 102, 104 ermöglicht wird. Außerdem lassen sich bei fester Verbindung von Antennen des GNSS zu den Sensoren 102, 104 durch die Messergebnisse der Sensoren 102, 104 Rückschlüsse auf Rotationen der Antennen (Neigung oder Torsion) des GNSS ziehen, was durch die Satellitennavigation alleine nicht ohne Weiteres möglich wäre. Die Antennen des GNSS können auch zur Bestimmung von Translationen herangezogen werden.

In Fig. 2 ist schematisch dargestellt, wie sich der erste Sensor 102 auf der Erdoberfläche 200 in einem bestimmten Winkel θ zur Erdrotationsachse 202 befindet.

Durch das erfindungsgemäße System sind Langzeitbeobachtungen an mechanisch gekoppelten Strukturen möglich durch Vergleich der Messergebnisse mit dem Betrag der Projektion der bekannten und konstanten Erddrehrate auf die empfindliche Sensorachse eines Sensors 102, 104. Der Bezug zur Erddrehachse 202 liefert gleichzeitig ein Kriterium für die Vermeidung einer Fehlmessung (Fehlalarm), da das Messergebnis immer zur Erddrehrate korreliert ist. Ist das nicht der Fall, liegt in der Regel eine Fehlmessung vor.

Durch die feste Referenz zur Erdrotationsachse 202 der ersten Sensors 102 lässt sich eine Langzeitdrift herausfiltern, womit auch Langzeitmessungen möglich sind, wie beispielsweise zur Detektion von Hangrutschungen, Bausetzungen usw.

Der zweite Sensor 104 kann dabei als Rotationssensor ausgebildet sein, der eine
5 gegenüber dem ersten Sensor 102 geringere Genauigkeit für die Bestimmung der Orientierung zur Erdrotationsachse aufweist, wodurch das System preisgünstig ausgestaltet sein kann. Der erste Sensor 102 kann beispielsweise eine Genauigkeit von $0,01^\circ/\text{Stunde}$ oder besser aufweisen, während der zweite Sensor beispielsweise nur eine Genauigkeit von $1^\circ/\text{Stunde}$ gewährleistet.

10

Eine mechanisch gekoppelte Struktur 101, die mit dem erfindungsgemäßen System beziehungsweise dem erfindungsgemäßen Verfahren überwacht wird, kann dabei eine Struktur sein, bei der es wichtig ist herauszufinden, ob sich die Orientierung von einzelnen Teilen zueinander ändert, beispielsweise ein Gebäude, eine
15 Brücke, ein Schiff, ein Flugzeug oder eine Maschine. Während es bei den genannten Strukturen darauf ankommt, jegliche Bewegung zueinander verlässlich zu detektieren, um Schäden – beispielsweise nach Erdbeben - zu ermitteln, sind auch mechanisch gekoppelte Strukturen bekannt, bei denen sich Teile in bestimmten erlaubten Richtungen zueinander bewegen dürfen. Beispielsweise darf sich bei
20 einer Windkraftanlage der Rotor in Beziehung zum Stator eine Rotationsbewegung ausführen. Eine Unwucht des Rotors, die sich in einer zusätzlichen linearen Bewegungskomponente des Rotors auswirkt, sollte allerdings detektiert werden, damit die Windkraftanlage ggf. repariert werden kann. Auch Teile der Erdoberfläche (beispielsweise Berghänge, aber auch zusammenhängende Teile der Erdkruste)
25 können als mechanisch gekoppelte Struktur aufgefasst werden.

In Fig. 3 ist schematisch der Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens skizziert. Dabei wird in einem ersten Schritt S300 die Orientierung des ersten Sensors 102 relativ zur Erdrotationsachse 202 bestimmt.

30

Anschließend wird die Orientierung an die Zentraleinheit 106 in einem Schritt S302 übertragen. Mit Hilfe des zweiten Sensors 104 wird in einem Schritt S304 die Drehrate oder Beschleunigung des zweiten Sensors 104 ermittelt, wobei bei Inbetriebnahme des Systems 100 der mindestens eine zweite Sensor 104 in einer
35 bekannten ersten Orientierung zum ersten Sensor 102 steht. Anschließend wird in einem Schritt S306 die gemessene Drehrate oder Beschleunigung vom mindestens einen zweiten Sensor 104 an die Zentraleinheit 106 übermittelt. In einem Schritt S308 wird nachfolgend ein Überwachungswert aus der übermittelten Orientierung des ersten Sensors 102 sowie der Drehrate oder Beschleunigung des

mindestens einen zweiten Sensors 104 generiert, der benutzt wird, um die mechanisch gekoppelte Struktur 101 zu überwachen.

In einem Hybridsensorsystem 400, wie es in Fig. 4 dargestellt ist, können zwei
5 oder mehrere Drehratensensoren 102, 402 auf der Basis des Sagnac-Effekts, des Coriolis-Effekts und des Trägheitseffekts mit unterschiedlichem Auflösungsvermögen und deren relativen Bezug zueinander Zustandsänderungen (z.B. Deformationen) einer mechanischen Gesamtstruktur 403 oder von Teilen der mechanisch gekoppelten Struktur relativ zueinander erfassen. Dabei stellt der hoch auflösende
10 erste Sensor 102, auch Zentralsensor oder Master genannt, den externen Bezug zum Erdrotationsvektor 202 der Erde 200 als feste Referenz her, während einfachere (niedergenaue) Sensoren 402 oder Slaves nur den lokalen Bezug zum Master 102 als Funktion der Zeit erfassen. Dabei wird die ausreichende Empfindlichkeit der Slaves für Rotationsmessungen ausgenutzt. Die schlechtere Empfindlichkeit
15 für die Orientierung der Slaves relativ zur Lage der Erdrotationsachse 202 spielt dann keine Rolle mehr. Damit werden die unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Sensoren aufeinander übertragbar (z.B. die absolute Referenz des Sagnac-Effekts auf Coriolis-Effektsensor bzw. Trägheitseffektsensor). Die Zentraleinheit 106 ist nicht dargestellt, sie könnte mit den gezeigten Sensoren 102, 402
20 zur Übertragung der Messergebnisse verbunden sein, oder beispielsweise auch mit dem ersten Sensor 102 (oder einem der zweiten Sensoren 402) in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sein.

Mit einem solchen System lassen sich beispielsweise Gebäudebelastungen oder
25 Gebäudeschäden über Deformationen ermitteln, die beispielsweise von Erdbeben verursacht wurden. Eine Deformation der Struktur liefert ein primäres Messsignal, geht einer Schädigung voraus und kann zur quantitativen ad hoc Beurteilung des Schädigungspotentials einer Belastung herangezogen werden. In diesem Konzept werden der erste Sensor 102 und die mehreren zweiten Sensoren 402 mit der
30 Bausubstanz 403 fest verbunden. Da der erste Sensor 102 auf der Basis des Sagnac-Effekts Rotationen absolut erfassen kann, wird die Orientierung des Gebäudes relativ zur Rotationsachse 202 der Erde 200 automatisch ermittelt, vor, während und nach einem Erdbeben in Echtzeit. Dies erlaubt die Bestimmung der Orientierungsänderung eines Gebäudes, ohne auf lokale Referenzen angewiesen
35 zu sein, die sich durch Einwirkung einer Kraft, beispielsweise eines Erdbebens oder ähnliches verändert haben könnten.

Gemäß Fig. 5 lässt sich ein weiteres Hybridsensorsystem 500 aufbauen, welches aus zwei oder mehreren Drehratensensoren 102, 402, 504 auf der Basis des

Sagnac-Effekts, des Coriolis-Effekts und des Trägheitseffekts mit unterschiedlichem Auflösungsvermögen und deren relativem Bezug zueinander aufgebaut ist. Dabei werden Veränderungen in der Anordnung von Teilen einer ganz oder teilweise beweglichen mechanischen Gesamtstruktur oder von Teilen 502, 506 einer ganz oder teilweise beweglichen mechanisch gekoppelten Struktur relativ zueinander erfasst. Dabei stellt der hoch auflösende Zentralsensor 102 (Master) den externen Bezug zur Erdrotationsachse 202 der Erde 200 als feste Referenz her, während die einfacheren Sensoren 402, 504 den lokalen Bezug zum Master 102 dynamisch als Funktion der Zeit erfassen. Damit ist das Messverfahren als Inertialmessverfahren für die Relativbewegung von unterschiedlichen mechanisch gekoppelten Strukturen 502, 506 (z.B. Maschinenteile) mit beweglichen Komponenten relativ zueinander anwendbar, auch wenn keine optische, elektrische oder starre mechanische Verbindung zwischen diesen Teilen herstellbar ist. Damit werden die unterschiedlichen Eigenschaften der einzelnen Sensoren 102, 402, 504 auf einander übertragbar (z.B. absolute Referenz des Sagnac-Effekts auf Coriolis-Effektsensor und Trägheitseffekt-Sensor). Damit ist das System anwendbar für die Untersuchung von nicht-erlaubten Bewegungen in einem System, bei dem sich Teile einer mechanischen Struktur zueinander in einem vorgegebenen Rahmen zueinander bewegen dürfen (erlaubte Bewegung).

Gemäß Fig. 6 lässt sich ein weiteres Hybridsensorsystem 600 angeben, welches mindestens einen Drehratensensor 102 auf der Basis des Sagnac-Effekts, des Coriolis-Effekts und des Trägheitseffekts und mindestens einen Beschleunigungsmesser 604 (in Fig. 6 sind drei solche Beschleunigungsmesser 604 dargestellt) umfasst, wobei die Sensoren 102, 604 gemeinsam an einer mechanisch gekoppelten Struktur oder auf der Erdoberfläche 602 befestigt sind und damit Boden- bzw. Struktureigenschaften (Tomographie, Exploration) ermittelt werden können. Dabei wird die Beziehung ausgenutzt, dass die gemessene Drehrate $\dot{\Omega}$ und die transversale Beschleunigung a eines Anregungssignals (z.B. einer Erdbebenwelle) in einem homogenen Medium gleichphasig ist und die Proportionalität dieser voneinander unabhängig erfassten Signale der Phasengeschwindigkeit c entspricht wie in Gleichung (1) gezeigt:

$$\dot{\Omega}(x,t) = -\frac{a(x,t)}{2c} \quad (1)$$

Die Phasengeschwindigkeit c (eine scheinbare Phasengeschwindigkeit in einem heterogenen Medium als Verhältnis der Drehrate $\dot{\Omega}$ und der Beschleunigung a) ändert sich signifikant mit der Bodenbeschaffenheit (beispielsweise weist Granit eine spezifische Phasengeschwindigkeit auf), so dass mithilfe dieses Systems eine

Exploration erfolgen kann. Somit kann mit einer tragbaren Vorrichtung nach Lagerstätten gesucht werden bzw. kann durch ein fest installiertes Netz an Sensoren eine Auswertung der Zeitabhängigkeit erfolgen.

5 Gemäß der in Fig. 7 dargestellten Ausführungsform des Systems 700 sind der erste Sensor oder Mastersensor 102 und die zweiten bzw. Sekundärsensoren 104 bidirektional auf der Basis eines selbst organisierten Netzes miteinander verbunden und kommunizieren darüber. Dies reduziert die erforderliche Sendeleistung pro Sensor und erleichtert die Vergrößerung/Verkleinerung des Netzes, da keine Nutzerintervention notwendig ist. Der erste Sensor 102 ist dabei mit der Zentraleinheit 106 verbunden. Diese sorgt für die Datennutzung und Interpretation wichtigen Funktionen wie den Empfang der Sensordaten, eine Ermittlung der Zeit ("time stamping") (GPS, Funkuhr oder ähnliches), Steuerung der Sensoren (z.B. Ein-/Ausschalten, Bereichsumschaltung), eine Auswertung (z.B. finite Differenzen, 15 Phasenbeziehung, Richtungsbestimmung, Schwellwert-Detektion, Rauschbefreiung, Sensorintegritätsüberprüfung, Driftkorrektur) und gegebenenfalls eine Alarmierung bei Grenzwertüberschreitung in Frühwarnanwendungen. Bei einer von den Sensoren 102, 104 gemessenen und in der Zentraleinheit 106 erkannten Deformation der mechanisch gekoppelten Struktur 101 kann durch eine finite Differenzbildung die Integrität der Sensoren 102, 104 sichergestellt und der Grad der 20 Deformation ermittelt werden.

Sofern sich die Slave-Sensoren tatsächlich nicht aus ihrer ursprünglichen Lage/Ausrichtung bewegt haben, lassen sich deren inertielle Messdaten, die mit 25 der Zeit immer ungenauer werden, rekalisieren.

Dies kann erfolgen einerseits durch exakte Einmessung der Lage/Ausrichtung und ggf. Position der Sensoren relativ zur Erddrehachse zu Beginn der Inbetriebnahme und Abspeicherung der gemittelten, dann aktuell angezeigten 30 Einzelmesswerte zum Zeitpunkt t_0 , andererseits durch Abgleich der Messwerte nach einer fortgeschrittenen Zeit t_1 (beispielsweise nach einem vorgegebenen Zeitintervall nach Inbetriebnahme des Systems, gegebenenfalls nach bestimmten Zeitintervallen wiederholend) mit den Messwerten des Master-Sensors, der aufgrund seiner höheren Genauigkeit kleinere Messfehler über die Zeit erzeugt. 35 Das erste Verfahren kann eingesetzt werden für alle Arten von Rotationssensoren, also auch solchen, die wegen ihrer begrenzten Genauigkeit nicht selbst in der Lage sind, die Erddrehrate als Referenzmesswertsignal aufzulösen. Das zweite Verfahren erhöht in diesem Fall die Integrität der Selbstkalibrierungsmethode erheblich, da ein Plausibilitätscheck mit den tatsächlichen Gegebenheiten in der

räumlichen Nähe des Einzelslave-Sensors über aktuelle Messdaten des Master-Sensors erfolgt.

Es ist zu berücksichtigen, dass für eine erfolgreiche Selbstkalibration kein Ereignis eingetreten sein sollte, dass den Slave-Sensor aus seiner ursprünglichen Ausrichtung/Lage verändert hat. Diese Information kann in realistischen Fällen (Erdbeben, schlagartige Veränderung der Lage) zumeist direkt aus den Daten des Slave-Sensors gewonnen werden.

10 Eine weitere Möglichkeit ist die Selbstkalibration der Slave-Sensoren, die selbst die Fähigkeit besitzen, die Erddrehrate als Referenzsignal in hinreichender Genauigkeit vermessen zu können. Dann kann der Slave-Sensor selbstständig bei Überschreiten einer Toleranzgrenze der Driftwerte über der Zeit eine Selbstkalibration gegen die ursprünglichen Werte der Erddrehratenmessung
15 initiieren. So würde es auch der Master-Sensor nach einer längeren Zeitdauer durchführen müssen, um stabile Driftwerte über sehr lange Zeiträume aufrechtzuerhalten.

Hier kann der Vergleich zu den aktuellen Master-Messwerten wiederum die
20 Integrität der Methode erheblich erhöhen.

Wie bereits geschildert, ist es auch möglich, dass die Zentraleinheit 106 mit dem ersten Sensor 102 oder auch einem der zweiten Sensoren 104 zusammen in einem Gehäuse untergebracht ist.

25

Ein Zeitbezug kann dabei durch eine Verwendung einer Uhr als Zeitmesseinrichtung 702, 704 am einzelnen Sensor 102, 104 oder auch durch eine über die Funkverbindung mit einer garantiert geringen Latenzzeit hergestellt werden (Spezifikation des Übertragungsprotokolls), wobei die Zeitzuordnung (per Uhr) an der
30 Zentraleinheit 106 für jeden Einzelsensor 102, 104 erfolgen kann.

Der Zeitbezug wird beispielsweise dafür benutzt einen zeitlichen Ablauf der Vorgänge zu erhalten und die zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermittelten Messergebnisse miteinander in Beziehung zu setzen. So lässt sich die Ausbreitung von
35 Schäden über die Zeit ermitteln und darüber hinaus können weitere Aussagen über die Integrität des Systems getroffen werden. Beispielsweise kann im Fall einer fortschreitenden Ausbreitung einer Verschiebung der Teile einer mechanisch gekoppelten Struktur 101 davon ausgegangen werden, dass alle mit der mechanisch gekoppelten Struktur 101 verbundenen Sensoren 102, 104 die Orientie-

rungs- bzw. Beschleunigungsänderungen in einem erwarteten Zeitablauf erfahren, der von der jeweiligen Position der Sensoren 102, 104 abhängt. Messen einzelne Sensoren 102, 104 eine davon abweichende Zeitabhängigkeit der Orientierung bzw. Beschleunigung, kann von einer Fehlmessung ausgegangen werden.

5

Gemäß Fig. 8 wird in einem Ablaufdiagramm ein Prozess dargestellt, bei dem in einem Schritt 800 eine Strukturveränderung der mechanisch gekoppelten Struktur 101 z.B. durch ein Erdbeben erfolgt. In einem Schritt 802 ergibt sich eine Drehratenänderung, eine Drehwinkeländerung (Auslenkung), eine Beschleunigungsänderung oder eine Orientierungsänderung, die in einem Schritt S804 über den ersten Sensor 102 ausgelesen wird. Anschließend erfolgt in einem Schritt S806 der Vergleich des gemessenen Wertes mit einem Sollwert aus einer Konfigurationsdatei. Gegebenenfalls wird in einem Schritt S808 eine Auslesung der zweiten Sensoren 104 erfolgen, die beispielsweise in einem Sensorarray angeordnet sind. In einem Schritt S810 wird anschließend eine Signalverarbeitung vorgenommen, beispielsweise eine Filterung oder Rauschminderung bzw. Driftreduktion. Im Rahmen der Signalverarbeitung kann auch eine Bestimmung von zeitabhängigen Frequenzspektren aus dem zeitlichen Ablauf der übertragenen ersten und zweiten Messergebnisse erfolgen. Da es möglich ist zeitgenaue Messreihen aller ersten und zweiten Sensoren 102, 104 zu erhalten, können diese zeitabhängigen Frequenzspektren erstellt werden, die die mechanisch gekoppelte Struktur charakterisieren und aus Veränderungen in diesen Frequenzspektren kann auf Veränderungen bzw. Schäden in den mechanisch gekoppelten Strukturen geschlossen werden. Eine solche Funktionalität kann als Frühwarnfunktion dienen.

25

In einem folgenden Schritt S812 werden dann eine Veränderung der Drehrate und gegebenenfalls eine Beschleunigung bestimmt. Durch einen Vergleich mit einem Mastersensor 102 in einem Schritt S814 werden die Veränderungen zwischen dem ersten Sensor 102 und dem zweiten Sensor 104 berechnet, wodurch beispielsweise Deformationen erkannt werden können. Darüber hinaus wird die Integrität der Daten überprüft, um Fehlmessungen zu vermeiden. Bei sicherheitsrelevanten Zuständen wird eine Alarmfunktion initiiert. In einem Schritt S816 wird anschließend eine Protokolldatei erstellt und es können auch an eine Kontrollstelle Daten übertragen werden bzw. eine Frühwarnfunktion ausgelöst werden. Anschließend wird erneut der Mastersensor 102 im Schritt S804 ausgelesen und die Überwachung der mechanisch gekoppelten Struktur 101 erfolgt erneut.

35

Patentansprüche

1. System zur Überwachung einer mechanisch gekoppelten Struktur (101, 403, 502, 506, 602) mit

5 einem ersten Sensor (102), der ausgebildet ist, um seine Orientierung relativ zur Erdrotationsachse (202) zu vorgegebenen Zeitpunkten als erstes Messergebnis zu bestimmen, wobei der erste Sensor (102) mit einem ersten Teil der mechanisch gekoppelten Struktur (101, 403, 502, 506, 602) verbindbar ist,

mindestens einem zweiten Sensor (104, 402, 504, 604), der bei Inbetriebnahme des Systems in einer bekannten ersten Orientierung zum ersten Sensor (102) steht und dazu ausgebildet ist eine Drehrate oder eine Beschleunigung als
10 zweites Messergebnis zu ermitteln, wobei der mindestens eine zweite Sensor (104, 402, 504, 604) mit einem zweiten Teil der mechanische gekoppelten Struktur (101, 403, 502, 506, 602) verbindbar ist,

einer Zentraleinheit (106), und

einem Kommunikationsnetzwerk (108), über das die Zentraleinheit (106)
15 mit dem ersten Sensor (102) und dem zweiten Sensor (104, 402, 504, 604) verbunden ist,

wobei der erste Sensor (102) dazu ausgebildet ist, die ersten Messergebnisse an die Zentraleinheit (106) zu übertragen, der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) dazu ausgebildet ist die zweiten Messergebnisse an die Zentraleinheit (106)
20 zu übertragen und die Zentraleinheit (106) dazu ausgebildet ist, mithilfe der ersten und zweiten Messergebnisse die mechanisch gekoppelte Struktur (101, 403, 502, 506, 602) zu überwachen.

2. System nach Anspruch 1,

25 dadurch gekennzeichnet, dass

der mindestens eine zweite Sensor (104, 402, 504, 604) als Rotationssensor ausgebildet ist, der eine gegenüber dem ersten Sensor (102) geringere Genauigkeit für die Bestimmung der Orientierung zur Erdrotationsachse (202) aufweist.

30 3. System nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

der erste Sensor (102) und der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) eine Zeitmesseinrichtung (702, 704) umfassen und die ersten und zweiten Messergebnisse zusammen mit den Zeitpunkten, zu denen die Messergebnisse aufgenommen
35 wurden, an die Zentraleinheit (106) übertragen und

dass die Zentraleinheit (106) dazu ausgebildet ist, aus den übertragenen Messergebnissen und den übertragenen Zeitpunkten einen zeitlichen Verlauf der

Orientierung des ersten Sensors (102) und des zweiten Sensors (104, 402, 504, 604) zueinander zu ermitteln.

4. System nach Anspruch 1,

5 dadurch gekennzeichnet, dass
der mindestens eine zweite Sensor (104, 402, 504, 604) als Beschleunigungssensor ausgebildet ist.

5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

10 dadurch gekennzeichnet, dass
der erste Sensor (102) und der mindestens eine zweite Sensor (104, 402, 504, 604) an der zu überwachenden mechanisch gekoppelten Struktur (101, 403, 502, 506, 602) an unterschiedlichen Positionen befestigt sind.

15 6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, dass
das Kommunikationsnetzwerk (108) zur bidirektionalen direkten Kommunikation zwischen den Sensoren (102, 104, 402, 504, 604) ausgebildet ist.

20 7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) dazu ausgebildet ist nach einem vorgegebenen Zeitintervall nach der Inbetriebnahme des Systems auf der Basis der Messergebnisse des ersten Sensors (102) rekali-
25 briert zu werden.

8. Verfahren zur Überwachung von mechanisch gekoppelten Strukturen (101, 403, 502, 506, 602) mit folgenden Schritten:

Bestimmen der Orientierung eines ersten Sensors (102) relativ zur Erdrotationsachse (202) mithilfe des Sensors (102) zu vorgegebenen Zeitpunkten als erstes Messergebnis,
30

Übertragen des ersten Messergebnisses an eine Zentraleinheit (106),

Ermitteln einer Drehrate oder Beschleunigung mindestens eines zweiten Sensors (104, 402, 504, 604), der bei Inbetriebnahme des Systems in einer bekannten ersten Orientierung zum ersten Sensor (102) steht als zweites Messergebnis,
35

Übertragen des zweiten Messergebnisses an die Zentraleinheit (106),

Generieren eines Überwachungswertes aus dem ersten und dem zweiten Messergebnis.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) seine Orientierungsänderung unab-
hängig von der übertragenen Orientierung des ersten Sensors (102) misst und
5 mittels der übertragenen Orientierung des ersten Sensors (102) eine Veränderung
der Lage des zweiten Sensors (104, 402, 504, 604) zur Lage des ersten Sensors
(102) ermittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 der erste Sensor (102) und der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) jeweils
an unterschiedlichen Teilen einer mechanisch gekoppelten Struktur (101, 403,
602) befestigt werden, wobei die unterschiedlichen Teile zueinander unbeweglich
mechanisch gekoppelt sind.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 der erste Sensor (102) und der zweite Sensor (504) jeweils an unterschiedli-
chen Teilen (502, 506) einer mechanisch gekoppelten Struktur (502, 506) befestigt
20 werden, wobei die unterschiedlichen Teile (502, 506) zueinander beweglich me-
chanisch gekoppelt sind,

die jeweils unterschiedlichen Teile (502, 506) durch die mechanische Kopp-
lung zueinander erlaubte Bewegungen ausführen können und

25 die der von der Zentraleinheit (106) ermittelte Überwachungswert angibt,
ob eine der erlaubten oder eine unerlaubte Bewegung zwischen den unterschiedli-
chen Teilen (502, 506) vorliegt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
30 auf die mechanisch gekoppelte Struktur (101, 403, 502, 506, 602) von au-
ßen Schwingungsanregungen aufgeprägt werden,
der zweite Sensor (604) als Translationssensor ausgebildet wird und aus
der gemessenen Orientierung des ersten Sensors (102) und der gemessenen Be-
schleunigung des Translationssensors (604) die scheinbare Phasengeschwindig-
35 keit der gemessenen Schwingungen in der mechanisch gekoppelten Struktur (101,
403, 502, 506, 602) ermittelt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 121,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Zentraleinheit (106) eine Fehlmessung detektiert, falls im Messergebnis des ersten Sensors (102) nicht die Erddrehrate enthalten ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13,

5 dadurch gekennzeichnet, dass

die Zentraleinheit (106) aus einem zeitlichen Ablauf der übertragenen ersten Messergebnisse und der übertragenen zweiten Messergebnisse zeitabhängige Frequenzspektren ermittelt und aus den Frequenzspektren einen weiteren Überwachungswert generiert.

10

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14,

dadurch gekennzeichnet, dass

der zweite Sensor (104, 402, 504, 604) nach einem vorgegebenen Zeitintervall nach der Inbetriebnahme des Systems rekali-
briert wird.

15