

(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  
9. August 2007 (09.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2007/088042 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**G01M 5/00** (2006.01) **G01C 19/72** (2006.01)  
**G01B 11/16** (2006.01) **E04H 9/00** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/000833

(22) Internationales Anmeldedatum:  
31. Januar 2007 (31.01.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2006 005 258.7 2. Februar 2006 (02.02.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **LITTEF GMBH** [DE/DE]; Lörracher Str. 18, 79115 Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHREIBER, Ulrich** [DE/DE]; Am Hofacker 31, 93468 Miltach (DE). **RASCH, Andreas** [DE/DE]; Bruckmatten 22, 79353 Bahlingen

(DE). **MANDER, John, B.** [NZ/NZ]; West Coast Road, RD 6, West Melton 8021 (NZ). **CARR, Athol, James** [NZ/NZ]; 33 Appleby Crescent, Burnside, Christchurch 8053 (NZ).

(74) **Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.**; Müller . Hoffmann & Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).

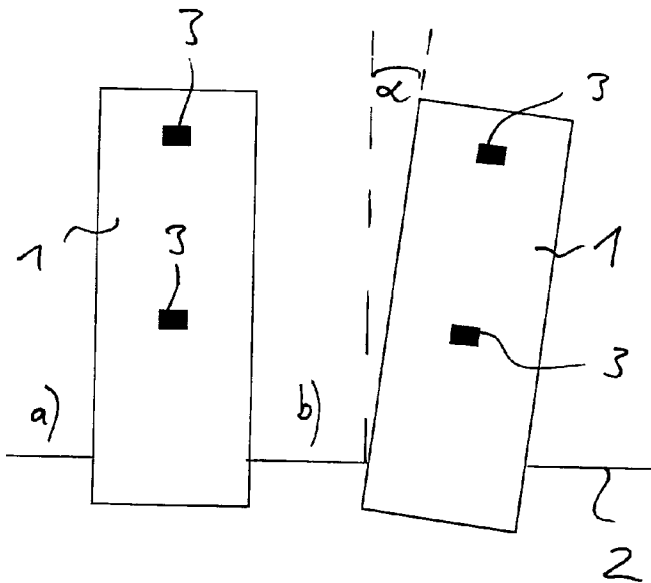
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR,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

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING LOADS ON/DAMAGE TO A MECHANICAL STRUCTURE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON BELASTUNGEN /SCHÄDEN EINER MECHANISCHEN STRUKTUR



(57) **Abstract:** In a method for determining loads on a mechanical structure and/or damage to or states of the mechanical structure resulting from the loads on the mechanical structure, the rotation of part of the mechanical structure, which is caused by loads on/damage to the mechanical structure, is measured using a fibre-optic rotation sensor which is connected to the part of the structure in a mechanically rigid manner, and the loads on/damage to/states of the mechanical structure is/are inferred from the rotation measured.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/088042 A1



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

---

**(57) Zusammenfassung:** Bei einem Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/ oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren, werden die durch Belastungen/ Schäden der mechanischen Struktur bewirkten Rotationen eines Teils der mechanischen Struktur über einen faseroptischen Rotationssensor, der mit dem Strukturteil mechanisch starr verbunden ist, gemessen, und aus den gemessenen Rotationen auf die Belastungen/Schäden/ Zustände der mechanischen Struktur geschlossen.

**Verfahren zur Ermittlung von Belastungen/Schäden  
einer mechanischen Struktur**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren. Die  
5 Erfindung betrifft insbesondere ein Verfahren zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren, sowie eine dafür geeignete Vorrichtung.

Die Überwachung der baumechanischen Integrität von Gebäuden während und  
10 nach Gebäudebelastungen (zum Beispiel Erdbeben, Sturm, Gewichtsbelastung durch Schnee auf einem Flachdach) ist eine bedeutende Aufgabe. Neben der Notwendigkeit zur Reduzierung von Personenschäden ist dabei auch der Aspekt der Minimierung von Ausfallzeiten bei der Nutzung der Gebäude zu berücksichtigen. Beständig wachsende Städte mit sehr unterschiedlichen Terraineigenschaften  
15 führen außerdem dazu, dass die Auswirkungen von Gebäudebelastungen, beispielsweise von Erdbeben, von Stadtteil zu Stadtteil sehr unterschiedlich ausfallen können. Auch die Art und Struktur einzelner Gebäude innerhalb eines sehr eng begrenzten Bereichs variiert sehr stark. Damit ist es im Extremfall möglich, dass ein Gebäude bei Gebäudebelastungen stark beschädigt wird, während  
20 ein direkt benachbartes Bauwerk nahezu intakt bleibt.

Aus Sicht des Katastrophenschutzes ergibt sich damit eine äußerst schwierige Situation, da es zur Optimierung und Koordinierung von Rettungsmaßnahmen keine einfachen Kriterien für die Priorisierung der Hilfsmaßnahmen bei einem  
25 Katastropheneinsatz in einem größeren Stadtgebiet gibt.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Ermittlung individueller Gebäudebelastungen und/oder Gebäudeschäden anzugeben, sodass eine Priorisierung der Hilfsmaßnahmen bei einem  
30 Katastropheneinsatz in einem größeren Stadtgebiet möglich ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung Verfahren zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren, gemäß den Patentansprüchen 1 und 2 bereit. Ferner stellt die Erfindung  
35 Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren, gemäß den Patentansprü-

chen 7 und 8 bereit. Weiterhin stellt die Erfindung entsprechende Vorrichtungen gemäß den Patentansprüchen 9 und 10 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in den Unteransprüchen.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren, zeichnet sich dadurch aus, dass die durch Gebäudebelastungen oder Gebäudeschäden bewirkten Rotationen eines Gebäudeteils über einen faseroptischen Rotations-  
10 sensor, der mit dem Gebäudeteil mechanisch starr verbunden ist, gemessen werden, und aus den gemessenen Rotationen auf die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen wird.

Um die Ermittlung der Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden zu präzisieren, kann anstelle eines einzelnen faseroptischen Rotationssensors eine Vielzahl von  
15 Rotationssensoren zum Einsatz kommen: So können die durch Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden bewirkten Rotationen mehrerer Gebäudeteile über entsprechende faseroptische Rotationssensoren, die mit den Gebäudeteilen mecha-  
nisch starr verbunden sind, gemessen werden, und aus den gemessenen Rotatio-  
20 nen auf die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen werden. Mit anderen Worten: Jeder Rotationssensor misst die Rotationen desjenigen Gebäudeteils, mit dem dieser verbunden ist. Aus der Summe der ermittelten Rotationen der einzelnen Gebäudeteile kann dann auf den Gesamtzustand des Gebäudes geschlossen werden bzw. die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden für jeden  
25 Teil des Gebäudes individuell festgelegt werden. Damit ist es beispielsweise möglich, Torsionen innerhalb eines Gebäudes, z.B. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stockwerken des Gebäudes, festzustellen.

Jeder Rotationssensor kann nach Bedarf individuell als einachsiger, zweiachsiger oder dreiachsiger Rotationssensor ausgelegt sein, d. h. jeder Rotationssensor  
30 kann individuell als Sensor, der Rotationen um eine, zwei oder drei Rotationsachsen misst, ausgelegt sein. So können beispielsweise besonders kritische Gebäudeteile mit dreiachsigen Rotationssensoren ausgestattet werden, um eine präzise Messung zu ermöglichen, wohingegen bei unkritischen Gebäudeteilen beispielsweise zweiachsige oder einachsige Rotationssensoren ausreichend sein  
35 können.

In einer Ausführungsform der Erfindung sind die Rotationssensoren an Seitenwänden des Gebäudes befestigt, derart, dass aus den gemessenen Rotationen auf die Relativwinkel zwischen den Seitenwänden und den Böden bzw. Decken des

Gebäudes, die durch die Seitenwände gestützt werden, geschlossen werden kann. Derartige Relativwinkel sind ein bewährtes Maß zur Beurteilung von Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden, insbesondere von Erdbebenschäden.

5 Zusätzlich zu den faseroptischen Rotationssensoren können am Gebäude Beschleunigungssensoren oder andere Sensoren vorgesehen werden, die mit entsprechenden Gebäudeteilen mechanisch starr verbunden sind, und über die durch Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden bewirkte Translationen der Gebäudeteile gemessen werden, wobei aus den gemessenen Translationen auf Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen wird. Das zusätzliche Vorsehen  
10 derartiger Sensoren ermöglicht eine besonders präzise Ermittlung von Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden, da auf diese Weise alle sechs Freiheitsgrade der Bewegung (nämlich drei Translationsfreiheitsgrade und drei Rotationsfreiheitsgrade) gemessen werden können.

15

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus den gemessenen Rotationen und/oder Translationen auf die Orientierungsänderung des Gebäudes gegenüber der Rotationsachse der Erde geschlossen. Die Orientierungsänderung kann als zuverlässiges Maß für die zu ermittelnden Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden, insbesondere für Erdbebenschäden, gewertet werden.  
20

Verallgemeinert gesehen stellt die Erfindung ein Verfahren bereit zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die durch Belastungen/Schäden der mechanischen Struktur bewirkten Rotationen eines Teils der mechanischen Struktur über einen faseroptischen Rotationssensor, der mit dem Strukturteil mechanisch starr verbunden ist, gemessen werden, und aus  
25 den gemessenen Rotationen auf die Belastungen/Schäden/Zustände der mechanischen Struktur geschlossen wird.  
30

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die durch Belastungen/Schäden der mechanischen Struktur bewirkten Rotationen mehrerer Teile der mechanischen Struktur über entsprechende faseroptische Rotationssensoren, die mit den Strukturteilen mechanisch starr verbunden sind, gemessen werden.  
35

den, und aus den gemessenen Rotationen auf die Belastungen/Schäden/Zustände der mechanischen Struktur geschlossen wird.

5 Unter dem Begriff "mechanische Struktur" ist beispielsweise ein Gebäude oder ein Teil eines Gebäudes (Dach), eine Brücke, ein Tunnel, der Rumpf oder die Tragflächen eines Flugzeugs, ein Teil des Erdbodens (z. B. der Fels eines Bergs), eine Leitung oder ein Verkehrsweg (Straße, Zugschienen, Zugtrassen) etc., zu verstehen.

10 Die Erfindung stellt des weiteren eine Vorrichtung zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren, bereit. Die Vorrichtung zeichnet sich aus durch

- einen faseroptischen Rotationssensor, der mit einem Gebäudeteil mechanisch starr verbunden ist, und
- 15 - eine mit dem Rotationssensor verbundene Auswerteeinrichtung zur Ermittlung der Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden auf Grundlage von Rotationen des Gebäudeteils, die durch den Rotationssensor detektiert wurden.

20 Die Erfindung betrifft weiterhin eine Vorrichtung zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren, die aufweist:

- einen faseroptischen Rotationssensor, der mit einem Teil der Struktur mechanisch starr verbunden ist, und
- 25 - eine mit dem Rotationssensor verbundene Auswerteeinrichtung zur Ermittlung der Belastungen/Schäden/Zuständen der Struktur auf Grundlage von Rotationen des Strukturteils, die durch den Rotationssensor detektiert wurden.

30 Für die erfindungsgemäße Vorrichtungen gelten die im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens getroffenen Aussagen (Ausführungsformen) analog: So können die erfindungsgemäße Vorrichtungen auch aus mehreren faseroptischen Rotationssensoren bestehen; die Rotationssensoren können als einachsige, zweiachsige oder dreiachsige Rotationssensoren ausgelegt sein; etc..

35 Die Auswerteeinrichtungen der einzelnen Rotationssensoren können mit weiteren Geräteeinheiten vernetzbar sein, so dass sich ermittelte Rotationsdaten einfach sammeln lassen, um bereits kurz nach Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden eine grobe Schadensübersicht erstellen zu können. Hierbei ist es sowohl möglich, jeden Rotationssensor mit einer eigenen Auswerteeinrichtung zu versehen, als

auch eine einzige zentrale Auswerteeinrichtung vorzusehen, die mit allen Rotations-  
sensoren und anderweitigen Sensoren in Verbindung steht. Die Vernetzung  
der Auswerteeinrichtungen mit weiteren Geräteeinheiten bzw. die Vernetzung der  
Rotationssensoren mit einer zentralen Auswerteeinrichtung kann beispielsweise  
5 über Kabelleitungen oder über Funkverbindungen erfolgen.

Erfindungsgemäß kommt demnach ein auf absoluter Rotationsmessung basie-  
render Sensor zum Einsatz, der die Auslenkung des Gebäudes während eines  
Erdbebens mit einem spezialisierten faseroptischen Gyroskop dynamisch in drei  
10 Raumrichtungen erfasst. In Echtzeit wird dabei die Maximalauslenkung und die  
kumulierte Auslenkung einzelner Stockwerke bzw. des gesamten Gebäudes be-  
stimmt und gegen eine vordefinierte gebäudespezifische Toleranztafel vergli-  
chen, welche vorher im Sensor oder in einer mit dem Sensor verbundenen Aus-  
werteeinrichtung verankert wurde. Das Ergebnis dieser Gebäudebewertung wird  
15 zur Unterstützung von Sofortmaßnahmen beispielsweise in einem einfachen  
mehrstufigen Farbcode angezeigt und gleichzeitig ab einer externen Schnittstelle  
verfügbar gemacht. Dies erlaubt die Verbindung mehrerer solcher Sensoren zu  
einer übergeordneten Funktionseinheit, sowie die Einbindung einzelner Sensoren  
bzw. Sensorenverbunde in einem Funknetz.

20

Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren in bei-  
spielsweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Gebäudeteils mit daran ange-  
brachten Rotationssensoren vor und nach einem Erdbeben;  
25

**Fig. 2** eine schematische Darstellung zweier aneinander grenzender Ge-  
bäudeteile vor und nach einem Erdbeben; und

30 **Fig. 3** ein Flussdiagramm einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen  
Verfahrens.

**Fig. 4** einen Torsionsverlauf eines Gebäudes während einem Erdbeben.

35 In den Figuren sind einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen mit  
denselben Bezugsziffern gekennzeichnet. In der folgenden Beschreibung wird der  
Einfachheit halber angenommen, dass es sich bei den Gebäudebelastun-  
gen/Gebäudeschäden um Erdbebenschäden handelt.

Wie bereits angedeutet wurde, ist das Kernelement des Konzeptes ein (vorzugsweise) dreikomponentiger inertialer faseroptischer Rotationssensor, der mit der Bausubstanz fest verbunden wird. Auf diese Weise nimmt der Sensor an den Bewegungen des Gebäudes (bzw. Gebäudesektionen) teil und liefert die Drehrate um drei linear unabhängige Raumrichtungen (beispielsweise um die „Längsachse“, die „Querachse“ des Gebäudes und um dessen Horizontalebene) als Sensor-signal. Im Prozessorteil des Sensors werden diese Drehraten integriert und die kumulierte Maximalauslenkung bezüglich eines inertialen Bezugssystemes berechnet. Der maximale Auslenkungswinkel zwischen einer unterstützenden Wand und der Betondecke eines Gebäudes ist eine der kritischen Größen für die Beurteilung der verbliebenen Tragfähigkeit dieses Bauwerkteiles. Eine zu große Auslenkung einer Deckenplatte gegen seine Unterstützung führt zu einer Überbeanspruchung der Stützkonstruktion und nachfolgend zu einer Rissbildung, welche die Tragfähigkeit beeinträchtigt. Dabei ist es unerheblich, ob diese Auslenkung schlagartig oder über einen größeren Zeitraum verteilt erfolgt. Ausschlaggebend für die Haltbarkeit der Konstruktion ist der maximale Auslenkungswinkel.

In Fig. 2 ist dieser Zusammenhang graphisch illustriert. Dabei skizziert Fig. 2 a) eine normal an einem Seitenwandteil 1 eingehängte Betondecke 2 ohne Belastungen durch Gebäudeneigungen, während b) die Situation nach einem Erdbeben wiedergibt. Übersteigt der durch das Erdbeben entstandene Neigungswinkel ( $\alpha$ ) einen gewissen Schwellenwert, so kann es zum Einsturz des Gebäudes kommen.

Gegenüber der Verwendung herkömmlicher Beschleunigungsmesser hat das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil, dass es auf dem Prinzip einer absoluten Rotationsmessung basiert und einen sehr breiten Dynamikbereich umfasst. Auf diese Weise werden neben hochfrequenten Auslenkungen auch noch sehr langsam ablaufende Neigungsvariationen in Frequenzbereichen erfasst, die durch Trägheitssensoren nicht mehr zugänglich sind.

Je nach Anordnung mehrerer Sensoren in einem Gebäude erhält man so nicht nur die Neigung eines als starr angenommenen Bauwerkes, sondern auch die differenzielle Neigung bzw. Torsion zwischen einzelnen mit solchen Sensoren ausgerüsteten Stockwerken und Gebäudeteilen.

Beschleunigungsmesser, die auf dem Konzept der Massenträgheit funktionieren, können hier zusätzlich zur Anwendung kommen. Auf diese Weise wird es erstmals möglich sein, einen vollständigen Sensor für alle sechs Freiheitsgrade der

Bewegung (nämlich drei Translationsfreiheitsgrade und drei Rotationsfreiheitsgrade) zu erschließen.

Der erfindungsgemäße Gebäudesensor 3 (der neben einem faseroptischen Rotations-  
5 onssensor auch Translationssensoren beinhalten kann) erfasst Drehraten bzw. den integralen Auslenkungswinkel eines Gebäude bzw. Gebäudeteils unter Einwirkung eines Erdbebens. Hierzu ist er an festen Seitenwänden 1, die repräsentativ für das Gebäudeverhalten sind, starr anzubringen, wie in Fig. 1 gezeigt: In Fig. 1 a) ist die Situation vor einem Erdbeben, in Fig. 1 b) die Situation nach einem Erdbeben (schematisch) gezeigt für eine Raumrichtung (die angenommene Neigung des Gebäudes befindet sich in der Papierebene; die empfindliche Drehachse des Gebäudesensors 3 steht aus der Papierebene heraus.)  
10

Grundsätzlich kann die Beeinträchtigung des Gebäudes auch in der anderen horizontalen Raumrichtung stattfinden, so wie es auch um eine Drehung um die Vertikalachse kommen kann (Torsionsschwingungen). Eine vollständige Sensortriade deckt alle Bewegungsrichtungen ab. Je nach Struktur des Gebäudes kann es jedoch auch Richtungen geben, die z. B. aufgrund höherer Steifigkeit weniger gefährdet sind, so daß auf einzelne Sensorkomponenten unter Umständen verzichtet werden kann.  
15  
20

Da Rotationssensoren auf der Basis des Sagnac-Effektes Rotationen absolut erfassen, kann die Orientierung eines Gebäudes relativ zur Rotationsachse der Erde automatisch vor, während, oder nach einem Erdbeben in Echtzeit als Messkriterium ausgewertet werden. Dies erlaubt die Bestimmung der Orientierungsänderung eines Gebäudes, ohne auf lokale Referenzen angewiesen zu sein, die sich ja durch Einwirkung eines Erdbebens verändert haben könnten.  
25

In Fig. 3 ist eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens gezeigt:  
30 Der Sensor 3 misst in kontinuierlicher Abfolge die Drehrate, den Drehwinkel (das entspricht der Auslenkung des Gebäude oder Gebäudeteils) und bestimmt ferner das Skalarprodukt zwischen dem Erdrotationsvektor und der Sensornormalen (empfindliche Achse) in einem Schritt S1. Unter Einwirkung eines Erdbebens, oder einer großen Windlast (Sturmböe) ergeben sich in den Beobachtungsgrößen  
35 größere Beträge, die von der Steuerungselektronik gegen eine im Programm verankerte Toleranzwerttabelle verglichen werden (Schritt S2). Diese Tabelle ist auf jedes Gebäude spezifisch abgestimmt. Aus dem Vergleich zwischen dem individuellen Gebäudetoleranzen und den momentanen Messwerten bestimmt der Prozessor das Gefährdungspotenzial durch das externe Ereignis (Schritt S3). Im ein-

fachsten Fall wird dies durch einen vierstufigen Farbcode: Grün, Gelb, Orange und Rot signalisiert.

5 Durch eine dynamische Funkvernetzung etlicher dieser Sensoren z. B. in ganzen Stadtteilen, läßt sich dann echtzeitnah eine flächendeckende grobe Schadensübersicht erstellen (Smart-Sensor-Anwendung). Dies könnte z. B. von Katastrophenschutzdiensten zur Erstellung von Prioritätslisten abgefragt und genutzt werden (Schritt S4).

10 In der folgenden Beschreibung sollen weitere Aspekte der Erfindung erläutert werden:

Faseroptische Kreisel verfügen zwar noch nicht über die Sensorempfindlichkeit großer Ringlaser, eignen sich jedoch aufgrund ihrer kleinen Abmessungen und ihres geringen Stromverbrauchs sowohl für einen Feldeinsatz im Nahbereich eines seismischen Ereignisses (Nachbebenzonen, Vulkane etc.) sowie für die instantane Erfassung von Gebäudezuständen nach Erdbebeneinwirkungen aber auch für das Monitoring statischer Verformungen. Durch die Zusammenführung von Rotationssensorik und Seismometern bzw. Beschleunigungsmessern ergibt sich die Möglichkeit, einen vollständigen Sensor für alle sechs Freiheitsgrade der Bewegung zu entwickeln und zu nutzen. Ein wichtiger Aspekte hierbei ist die Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten der Rotationssensoren für die von lokalen Referenzsystemen freie Messung z.B. Möglichkeit zur Absolutorientierung des Sensors in Echtzeit, sowie die Selbstkalibration des Sensors anhand des globalen Erdrotationssignals.

Erfindungsgemäß werden neue, mobile, kostengünstige Sensoren bereitgestellt, die – zusammen mit klassischer seismischer Sensorik – es erlauben, Bodenbewegungen korrekt und zwar in allen sechs Freiheitsgraden der Bewegung zu beobachten: zur vollständigen Beschreibung der Bodenbewegungen müssen nicht nur Translationen, sondern auch Rotationen hochauflösend beobachtet werden.

Erfindungsgemäß können langfristig großräumige Aussagen über Veränderung und Deformationen mit erweiterten sechs-Komponentenregistrierungen (neuen Messmethoden, die mobil, kostengünstig, und schnell einsetzbar sind) gemacht werden. Die zusätzliche Beobachtungsgröße „Rotationsbewegungen“ kann vor allem auch bei der Inversion von Herdparametern zum Einsatz kommen (dynamische Rotationen) und deren Genauigkeit verbessern. Dabei kann insbesondere die ansonsten untrennbare Kopplung von Neigung und Translationen der gemes-

senen Signale auf der Sensorebene untersucht und durch die Bereitstellung entsprechend hochauflösender Rotationsmessungen korrigiert werden. Da die transversale Beschleunigung und die Rotationsrate bei einem Erdbeben in Phase und proportional zueinander sind, ist bei den Seismogrammen eine Kopplung von erdbebeninduzierten Neigungsanteilen in das Sensorsignal der anderen linear unabhängigen Raumrichtungen im Nahfeld des Erdbebengeschehens nicht zu vermeiden. Nur ein Sensor mit allen sechs unabhängigen Freiheitsgraden der Bewegung – also unter Einbeziehung der Rotation – kann hier eine Verbesserung bringen.

10

Das erfindungsgemäße Konzept in der Konstruktion von Faserkreiseln kann in kostengünstiger Weise die Empfindlichkeit existierender Rotationssensoren auf Glasfaserbasis um bis zu zwei Größenordnungen gegenüber dem bisherigen Stand der Technik steigern und in Ergänzung mit einem Breitbandseismometer erstmalig alle sechs Freiheitsgrade der Bewegung in einer tragbaren feldeinsatzfähigen Realisierung mit ausreichender Empfindlichkeit zur Verfügung stellen.

15

Die Erfindung konzentriert sich auf die Nutzung und Fortentwicklung moderner Rotationssensoren als neue und innovative Basistechnologie für den Einsatz in Frühwarnsystemen. Die daraus resultierenden vielfältigen neuen technologischen Möglichkeiten sollen insbesondere auf dem Gebiet der Überwachung von Baustrukturen sowie auf dem Gebiet der Seismologie angewandt werden.

20

Nach einem Erdbeben ist insbesondere in größeren Metropolen eine schnelle Abschätzung der Schäden an wichtigen Gebäuden insbesondere zur Optimierung der Rettungsmaßnahmen von zentraler Bedeutung. Könnten die koseismischen Bewegungen (Zeitverlauf der Deformationen, statische Verschiebungen und statische Rotationen) gemessen und bezüglich kritischer Größen in einem autarken Sensor echtzeitnah ausgewertet werden, so könnten vor allem für kritische Gebäude und Leitungen bzw. Verkehrswege deformationsinduzierte Veränderungen nahezu instantan bestimmt werden. Erfindungsgemäß wird ein kostengünstiger, intelligenter 6-C Sensor bereitgestellt, der im Sinne einer „black box“ in Gebäuden, Brücken, Tunneln oder sonstigen Strukturen eingebaut werden kann, welcher wertvolles Datenmaterial über das Bauwerksverhalten während eines Erdbebens oder eines anderen deformierenden Ereignisses registriert und für die Analyse bereitstellt. Erfindungsgemäß wird daher auch besondere Aufmerksamkeit auf die Nutzung der Eigenschaften der Rotationssensoren als absolute Winkelmesser gelegt. Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen zeichnen sich durch eine geringe Stromaufnahme aus und sind fertigungstechnisch für die kosten-

30

35

günstige Massenproduktion geeignet. Die eingebaute Elektronik kann durch instantane Integration und Differentiation der Sensorsignale innerhalb des Sensors somit voraussichtlich eine echtzeitnahe Gefährdungs- bzw. Schadensabschätzung für das jeweilige Bauwerk liefern. Die zusätzliche Fähigkeit zur Kombination solcher konzeptionell autarken Sensoreinheiten zu autonomen lokalen oder regionalen Netzwerken ist dabei möglich.

Ziel aus Sicht der Baumechanik ist es, über eine geeignete Sensorik, die dynamische Anregung infolge Erdbeben und anderen Baugrundbewegungen, wie Erschütterungen sowohl hinsichtlich der Amplituden als auch der relevanten Wellenlängen zu ermitteln. Durch die Kopplung von Geophonen oder Beschleunigungssensoren mit Rotationssensoren als absolute Winkelmesser können beide Kenngrößen der dynamischen Anregung mit einer geringen Zahl von Messpunkten erfasst werden. Für linienförmige Bauteile können aus gemessenen Rotationen die durch die Einwirkung hervorgerufenen Krümmungen beschrieben werden. Erfindungsgemäß kann – darauf aufbauend – die Bewertung der Anregung über den Vergleich der Messergebnisse mit den der baulastmechanischen Auslegung der Struktur zugrunde liegenden Annahmen durchgeführt werden. Neben der Erfassung der dynamischen Anregung ist ferner die durch die Einwirkung hervorgerufene bleibende statische Verformung von Interesse. Über die gemessenen Rotationen kann z.B. durch Aneinanderreihung mehrerer Sensoren die bleibende Verformungslinie ermittelt werden. Die Möglichkeit der Messung der (quasi-)statischen und der dynamischen Information mit einer kostengünstigen Sensorik stellt gegenüber anderen Messverfahren einen erheblichen Vorteil dar. Die Selbstkalibration des Sensors und seine von der Lage zur Gewichtskraft unabhängige Wirkung eröffnet ein breites Anwendungsgebiet auch hinsichtlich der Frühwarnung vor Folgen antropogener Einwirkungen oder kritischer Einwirkungs/Widerstandskombinationen, wie z.B. hohe Schneelasten an geschwächten Strukturen, Einwirkungen aus extremen Windlasten usf. und könnte so den Einsatz der Sensorik auch für Aufgabenstellungen ermöglichen, die mit anderen Messverfahren nur sehr aufwändig und nicht in Echtzeit erschlossen werden können. Ein wichtiges Gebiet der Frühwarnsysteme, das über die seismische Anregung hinaus geht und durch das erfindungsgemäße Verfahren abgedeckt wird, ist das Monitoring von Baugrundbewegungen wie sie im Tunnelbau, beim Erdaushub, bedingt durch Fundamentlasten oder auch in Bergsenkungsgebieten, auftreten. Damit umfasst das Monitoring mit Hilfe einer Sensorik sowohl die dynamischen Einwirkungen, d.h. die Ursachen für Verformungen oder Schäden gemeinsam mit den bleibenden Deformationen.

## Deformationsbeobachtungen bei Erdbeben und an Vulkanen

Die Probleme bei der Bestimmung der statischen (und dynamischen) Deformation aus Seismometerbeobachtungen sind seit Jahrzehnten bekannt, ohne dass bis  
5 heute eine befriedigende stabile Lösung gefunden wurde. Hauptgrund für die Probleme sind die zusätzlichen Effekte in Seismogrammen, die durch Rotationen, und Neigungsänderungen auftreten und dazu führen, dass Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsseismogramm nicht integriert werden können. GPS-Instrumente sind hier nur teilweise eine Verbesserung, da (1) die vertikale Auflö-  
10 sung gering und (2) die Abtastrate für die dynamischen Beobachtungen nicht fein genug ist. Mit kostengünstigen, mobil einsetzbaren 6-C Seismometern wäre eine flächendeckende Beobachtung der dynamischen und statischen Deformationen möglich. Dies könnte langfristig auch Verbesserungen in der Echtzeitbestimmung von Herdparametern erlauben. Ähnliche Argumente gelten für seismische Beob-  
15 achtungen an Vulkanen, bei denen zum Teil große Deformationen zu erwarten sind. Die unvermeidliche Kopplung von Rotations- und Tiltbewegungen beeinflussen die Standardbreitbandmessungen mit Seismometern und erschweren die Modellierung. Die kombinierte Datenanalyse von Rotationen und Translationen ermöglicht in diesem Bereich das verbesserte Abbilden von Herdprozessen und  
20 des Zustands der Magmakammern.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist bei der Ermittlung der Belastungen/Schäden sowohl die dynamische Boden-Bauwerk-Wechselwirkung als auch die Baudynamik der Gebäudestruktur zu berücksichtigen.

25

Ziel der Erfindung ist eine Verringerung erdbebeninduzierter Gefährdungen und Risiken. Die Beobachtungen der gesamten Bewegungskomponenten wird von theoretischen Seismologen seit Jahrzehnten angemaht. Die jüngsten Entwicklungen in der Sensortechnik scheinen nun die Konstruktion eines geeigneten Mess-  
30 instrumentes mit der nötigen Genauigkeit zu erlauben. Dabei ist zu bemerken, dass die Messtechnik im rein wissenschaftlichen wie im ingenieurtechnischen Bereich breites Anwendungspotential hat.

Das immer noch anhaltende schnelle Wachstum großer Metropolen in  
35 erdbebengefährdeten Regionen (z.B. Istanbul, Tokyo, Los Angeles und New Mexico) führt im Falle eines darunter ausgelösten starken Erdbebens zu immensen Schäden und dem vielfachen Verlust von Menschenleben. Aufgrund der vollkommen heterogenen Gebäudestrukturen und den variablen Untergrundeigenschaften in diesen Mega-Metropolen ist es für das jeweilig  
40 verantwortliche Katastrophenmanagement in kurzer Zeit nicht möglich, sich

gement in kurzer Zeit nicht möglich, sich einen Überblick über die Schadenslage zu verschaffen. Damit ist die schnelle Einleitung einer koordinierten Rettungsaktion stark erschwert und das zu erwartende Ergebnis nicht optimal. Autonome Monitoring- Systeme, die ein Schadensereignis mitprotokollieren und nach vordefinierten Methoden echtzeitnah auswerten und das Ergebnis schnell verfügbar machen, könnten hier zu einer maßgeblichen Verbesserung führen. Durch eine dynamische Gewichtung entsprechend der Funktion eines Gebäudes und der durch den Sensor vorgenommenen automatischen Schadensbeurteilung, sowie anderer festzulegender Kriterien (z.B. Wegstreckenoptimierung von Rettungskräften) ist eine effektive Nutzung der kritischen ersten 6 Stunden nach einem Schadensereignis denkbar.

Das erfindungsgemäße Gebäudesensorkonzept ist in zweifacher Hinsicht innovativ. Zum einen soll damit der Weg zu einem Monitoring-System aufgezeichnet werden, in dem das Gebäudeverhalten während der Einwirkung äußerer Kräfte (Erdbeben, extreme Windlast, Bodensenkungen usw.) detailliert protokolliert wird. Dabei wird über die Eigenschaft der eingesetzten Rotationssensoren als Absolutwinkelmesser eine vollkommene Unabhängigkeit von lokalen Referenzsystemen erreicht. In dieser Hinsicht entspricht der Sensor einer „Black Box“, wie sie in Flugzeugen eingesetzt wird. Zusätzlich zu diesen Protokollierungsfunktionen werden Schlüsselparameter (z.B. maximale Auslenkung) während der Messung auf die Überschreitung gebäudespezifischer vordefinierter Grenzwerte untersucht, die nach Möglichkeit eine Klassifizierung des verursachten Schadens (z.B. Grad der Einsturzgefahr) zulassen und diese an eine Zentralstelle (lokale Katastrophenschutzstelle) weitergeben können (Einsatz von Netzstrom unabhängiger Funktechnologie). Damit wäre ein bedeutender Schritt in Richtung Quasi-Echtzeit-Schadensprognose geleistet.

Die für den Feldeinsatz im Bereich starker Bodenbewegung entwickelte Sensorik in der Seismologie hat mehrere Defizite. Neigungen des Seismometers verursachen ebenso ein Sensorsignal wie die eigentlich zu messenden Translationen. In Nahbebenzonen kann der vollständige Bewegungsvektor wegen der fehlenden Rotationsfreiheitsgrade nicht rekonstruiert werden. Damit sind die Messungen sowohl unvollständig, wie auch wegen der Vermischung von Signalquellen fehlerhaft. Dies stellt ein großes Hindernis für die Inversion von Erdbebenparametern dar. Es ist zu erwarten, daß die vollständige Erfassung aller sechs Freiheitsgrade der Bewegung und die klare Trennung von Translation und Rotation (Neigung) bei ausreichender Sensorempfindlichkeit einen deutlichen Beitrag für die Ver-

besserung der seismologischen Modelle liefern kann (Unabhängigkeit von apparativen Transferfunktionen).

5 Ringlaser sind hochempfindliche aktive optische Interferometer und bislang die  
einzigsten Instrumente, die Rotationssignale von teleseismischen Ereignissen  
quantitativ bestimmen können. Selbst für die Anwendung in der Seismologie, wo  
die Langzeitstabilität nicht im Vordergrund steht, benötigen sie immer noch eine  
sehr hohe Temperaturkonstanz von besser als 0.1 Grad pro Tag. Thermal beding-  
te Ausdehnung bzw. Kontraktion des optischen Resonators im Bereich von eini-  
10 gen Hundertstel Mikrometer verursachen eine Drift in der optischen Betriebsfre-  
quenz, welche dann zu plötzlichen Sprüngen im Longitudinalmodenindex führt  
(Modensprung). Darüber hinaus bleiben Ringlaser trotz aller Vereinfachungen,  
die im Verlauf des GEOSensor-Projekts erfolgreich realisiert werden konnten,  
eine komplexe Installation. Dies macht sie für drei spezifische Anwendungsfälle  
15 ungeeignet. (1) Eine kurzfristige Umsetzung des Sensors in die Nähe des Epizent-  
rums nach einem starken Erdbeben, um Nachbeben im Nahfeld zu registrieren.  
(2) Die Erfassung der vollständigen Bewegung (alle 6 Freiheitsgrade) unter dem  
Einfluß starker Bodenbewegungen. (3) Als Teil einer überwachenden Gebäude-  
sensorik sind sie zu teuer und viel zu sensitiv. Faseroptische Rotationssensoren  
20 auf der anderen Seite weisen zwar nicht die Empfindlichkeit der Ringlaser auf,  
sind jedoch robuste und kompakte Sensoren mit einer deutlich größeren Tempe-  
raturtoleranz. Ferner sind sie bedeutend kostengünstiger.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann die Selbstkalibrierbarkeit des Systems  
25 ausnutzen. Da Rotationssensoren auf der Basis des Sagnac-Effekts Rotationen  
absolut messen, ist dem Sensorsignal immer auch das Erdrotationssignal über-  
lagert. Dieses Signal kann im Rahmen der hier vorgeschlagenen Anwendung als  
eine konstante Referenz angesehen werden. Sie steht zu jedem Zeitpunkt, also  
vor, während und nach einem Erdbeben als eine von der lokalen Umgebung un-  
30 abhängigen Referenz zur Verfügung und kann benutzt werden, um die momenta-  
ne Orientierung des Sensors relativ zur Rotationsachse der Erde zu bestimmen.  
Ein Vergleich vor bzw. nach einem Erdbeben liefert eine Orientierungsänderung  
des Sensors durch das seismische Ereignis, bzw. der Bauwerksdeformation. Da  
der Sensor zur Messung fest an einer Wand montiert ist, entspricht diese Orien-  
35 tierungsänderung entweder einer Gebäudeneigung, einer Deformation oder einer  
Verschiebung zwischen einzelnen Stockwerken. Dieses Signal wird durch Integ-  
ration der gemessenen Drehrate bestimmt und es wird schon nach kurzer Integ-  
rationszeit von ca. 1 Minute eine Auflösung von unter einem 1 Grad erreicht.  
Streng genommen gilt diese Methode der Orientierungsbestimmung des Sensors

nur in Nord-/Südrichtung mit hohem Auflösungsvermögen. In Ost-/Westrichtung ist die Auflösung geringer. Daher ist die Untersuchung der optimalen Sensorrealisierung (Bezugssystem des Sensors) ein eigener Arbeitspunkt. Nach der Untersuchung zur Nutzung des Orientierungssignals steht die Nutzung des Rotations-  
5 signals der Gebäude im Vordergrund. Hierzu sind (1) Kriterien zwischen gemessener Winkelauslenkung und der Beanspruchung des Gebäudes bzw. verschiedener Werkstoffe zu erstellen. (2) ist der Effekt der Verschiebung einzelner Stockwerke zueinander zu quantifizieren (Interstorey-Rotation) und auf das Sensorsystem zu übertragen.

10

Das Ausgangssignal eines FOG (Fyber Optical Gyro) ist die Phasendifferenz zwischen zwei eine Fläche gegensinnig umlaufenden Lichtwellen. Sie ist proportional zu der Rotationsgeschwindigkeit des Sensors, sowie zu der von den Lichtstrahlen umschriebenen Fläche. Der Hauptvorteil eines FOG im Vergleich zu einem Ring-  
15 laser besteht darin, daß das optische Signal in einer Glasfaser geführt werden kann. Bei einem FOG läßt sich die effektive Fläche erhöhen, ohne daß die Abmessungen des Sensors wesentlich zu verändern sind. Andererseits unterscheiden sich Faserkreisel von Ringlasern dadurch, daß sie eine Phasenmessung ausführen, während Ringlaser auf interferometrischem Wege eine Frequenzdifferenz  
20 bestimmen und somit konzeptbedingt ein höheres Auflösungsvermögen erzielen. Dies ist ein großer Nachteil bei der Realisierung eines FOG. Der Rauschkoeffizient (Auflösungsvermögen) eines FOG hängt neben dem Skalenfaktor auch noch von der optischen Leistungsdichte ab. Zum Beispiel erhält man für eine Lichtquelle mit einer Wellenlänge von  $1.55 \mu\text{m}$ , einer Lichtleistung von  $P_0 = 100 \mu\text{W}$ ,  
25 einer Länge der Glasfaser von 1000 m und einem Durchmesser  $D$  der Spule von 0.4 m einen theoretischen Wert für die Empfindlichkeit eines FOG von  $4.125 \cdot 10^{-8} \text{ rad/s}$ .

Einen wesentlichen Bestandteil des optischen Pfades stellt die Spule aus polari-  
30 sationserhaltender Lichtleitfaser dar. Die Faserlänge und der geometrische Durchmesser der Spule gehen linear in den Skalenfaktor des Kreisels ein. Grundsätzlich erlaubt also die Verlängerung der eingesetzten Spulenfaser das Erreichen immer höherer Genauigkeiten der Drehratenmessung. Gleichzeitig limitieren jedoch Abschwächungsverluste der Lichtintensität beim Durchlaufen  
35 der Faser, sowie auftretende Phasenveränderung durch störende Effekte wie z.B. den Shupe-Effekt oder den Kerr-Effekt, die realisierbare Länge der Faserspule. Deshalb sind für den Prototypen Spulen von ca. 1000 m Länge und einem Durchmesser bis zu 300 mm geplant.

Fig. 4 zeigt einen kurzen Ausschnitt aus einer Messung der Torsion (linke Seite), bei der ein Gebäudemodell (rechte Seite) mit exzentrischer Massenverteilung auf einem Rütteltisch einem künstlichen Erdbeben ausgesetzt worden ist.

- 5 In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass erdbebeninduzierte Rotationsbeobachtungen teleseismischer Ereignisse mit kollokierten breitbandigen Translationsmessungen kompatibel sind, und daß in dem Amplitudenverhältnis zusätzliche Information enthalten ist.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die durch Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden bewirkten Rotationen eines Gebäudeteils gegenüber der Rotationsachse der Erde über einen faseroptischen Rotationssensor, der mit dem Gebäudeteil mechanisch starr verbunden ist, gemessen werden, und aus den gemessenen Rotationen auf die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen wird.
- 5  
10 2. Verfahren zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die durch Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden bewirkten Rotationen mehrerer Gebäudeteile gegenüber der Rotationsachse der Erde über entsprechende faseroptische Rotationssensoren, die mit den Gebäudeteilen mechanisch  
15 starr verbunden sind, gemessen werden, und aus den gemessenen Rotationen auf die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen wird.
- 20 3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Rotationssensoren Rotationen um eine, zwei oder drei Rotationsachsen messen.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die Rotationssensoren an Seitenwänden des Gebäudes befestigt sind, derart, dass aus den gemessenen Rotationen auf die Relativwinkel zwischen den Seitenwänden und den Böden und Decken des Gebäudes, die durch die Seitenwände gestützt werden, geschlossen werden kann.
- 30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die durch Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden bewirkten Translationen wenigstens eines Gebäudeteils über entsprechende Beschleunigungssensoren,  
35 die mit dem wenigstens einen Gebäudeteils mechanisch starr verbunden sind, gemessen werden, und aus den gemessenen Translationen auf die Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass aus den gemessenen Rotationen und Translationen auf die Orientierungs-  
änderung des Gebäudes gegenüber der Rotationsachse der Erde, die ein Maß für  
5 den zu ermittelnden Erdbebenschaden darstellt, geschlossen wird.
7. Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur  
und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den  
Belastungen der mechanischen Struktur resultieren,  
10 **dadurch gekennzeichnet,**  
dass die durch Belastungen/Schäden der mechanischen Struktur bewirkten Ro-  
tationen eines Teils der mechanischen Struktur gegenüber der Rotationsachse  
der Erde über einen faseroptischen Rotationssensor, der mit dem Strukturteil  
mechanisch starr verbunden ist, gemessen werden, und aus den gemessenen  
15 Rotationen auf die Belastungen/Schäden der mechanischen Struktur geschlos-  
sen wird.
8. Verfahren zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur  
und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den  
20 Belastungen der mechanischen Struktur resultieren,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
dass die durch Belastungen/Schäden der mechanischen Struktur bewirkten Ro-  
tationen mehrerer Teile der mechanischen Struktur gegenüber der Rotationsach-  
se der Erde über entsprechende faseroptische Rotationssensoren, die mit den  
25 Strukturteilen mechanisch starr verbunden sind, gemessen werden, und aus den  
gemessenen Rotationen auf die Belastungen/Schäden der mechanischen Struk-  
tur geschlossen wird.
9. Vorrichtung zur Ermittlung von Gebäudebelastungen und/oder von  
30 Gebäudeschäden, die aus Gebäudebelastungen resultieren,  
**gekennzeichnet durch**  
- einen faseroptischen Rotationssensor, der mit einem Gebäudeteil mecha-  
nisch starr verbunden ist, und  
- eine mit dem Rotationssensor verbundene Auswerteeinrichtung zur Er-  
35 mittlung der Gebäudebelastungen/Gebäudeschäden auf Grundlage von Rotatio-  
nen des Gebäudeteils gegenüber der Rotationsachse der Erde, die durch den Ro-  
tationssensor detektiert wurden.

10. Vorrichtung zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus den Belastungen der mechanischen Struktur resultieren,

**gekennzeichnet durch**

- 5 - einen faseroptischen Rotationssensor, der mit einem Teil der Struktur mechanisch starr verbunden ist, und
- eine mit dem Rotationssensor verbundene Auswerteeinrichtung zur Ermittlung der Belastungen/Schäden der Struktur auf Grundlage von Rotationen des Strukturteils gegenüber der Rotationsachse der Erde, die durch den Rotations-
- 10 onssensor detektiert wurden.

11. Vorrichtung zur Ermittlung von Belastungen einer mechanischen Struktur und/oder von Schäden oder Zuständen der mechanischen Struktur, die aus Belastungen der mechanischen Struktur resultieren

15 **gekennzeichnet durch**

- zwei oder mehrere Rotationssensoren, die mit verschiedenen Teilen der Struktur mechanisch starr verbunden sind,
- je einer mit dem jeweiligen Rotationssensor verbundenen Auswerteeinrichtung
- 20 eines autonomen drahtlosen Datenübertragungssystems zur gemeinsamen Ermittlung der Belastungen/Schäden der Struktur auf Grundlage von Rotationen bzw. Torsionen gegenüber der Rotationsachse der Erde, die durch die einzelnen Rotationssensoren detektiert und gemeinsam analysiert werden.

25

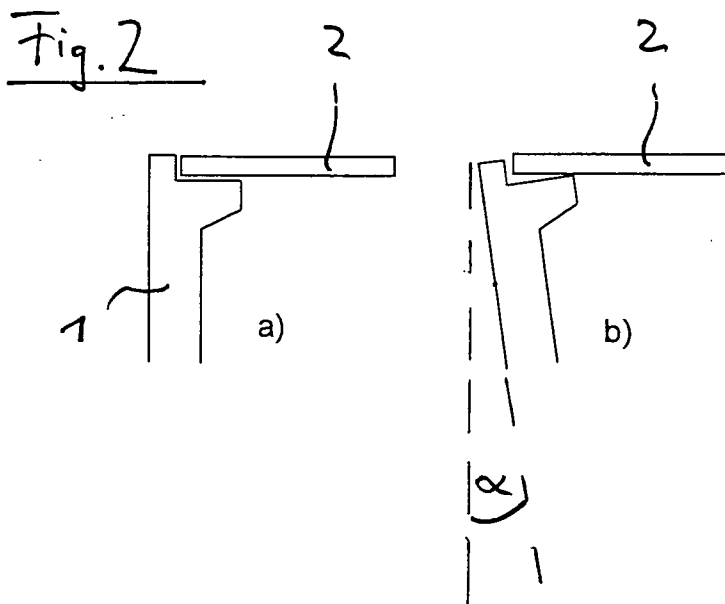
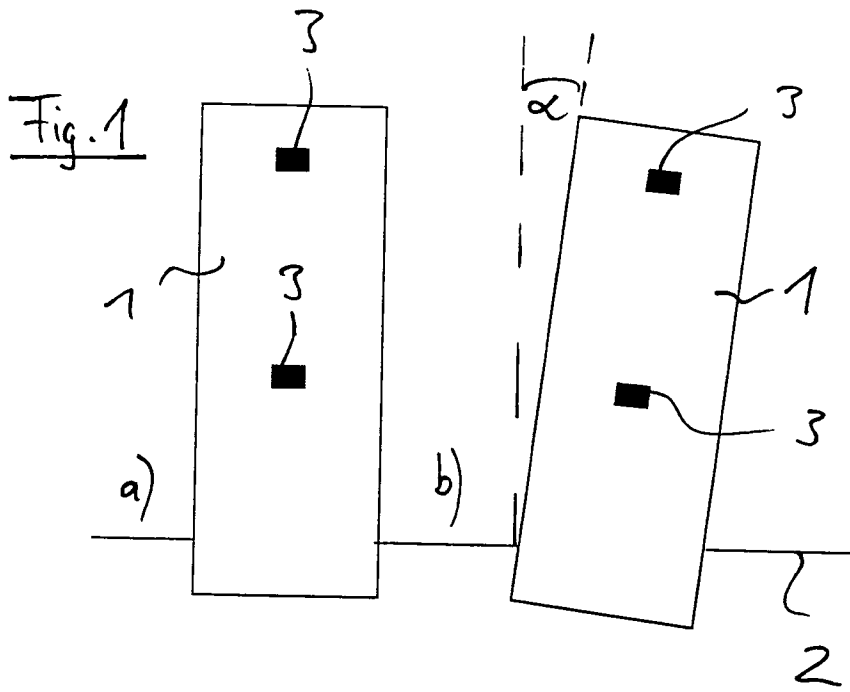


Fig. 3

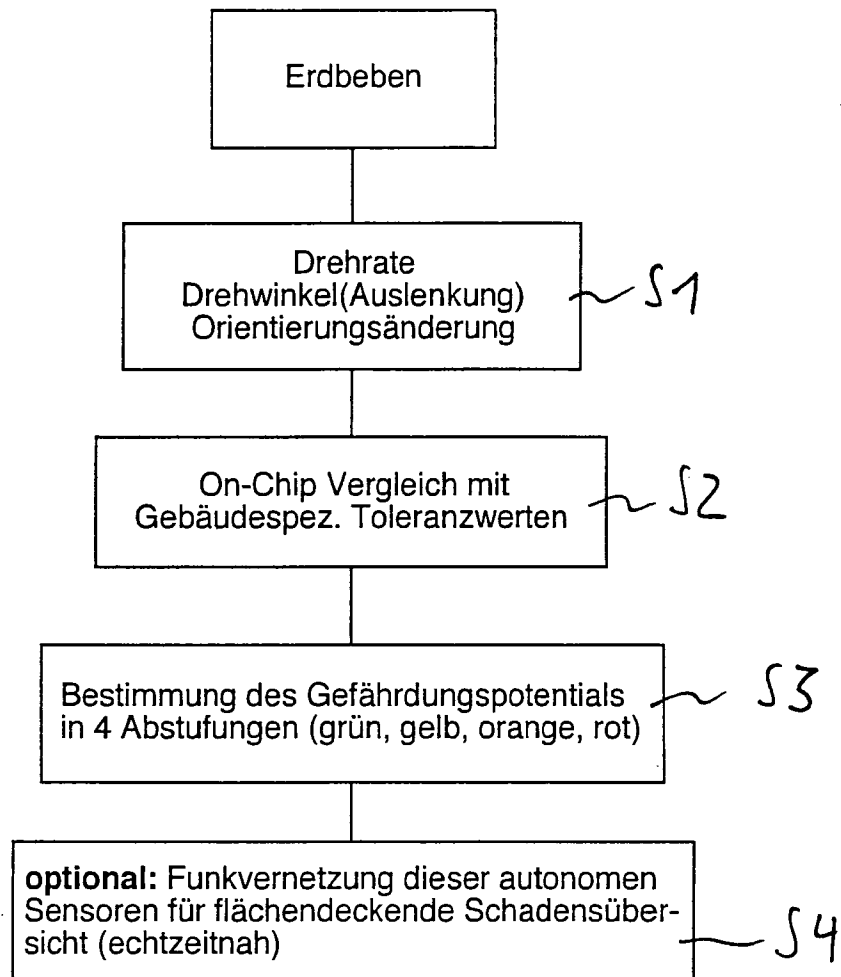
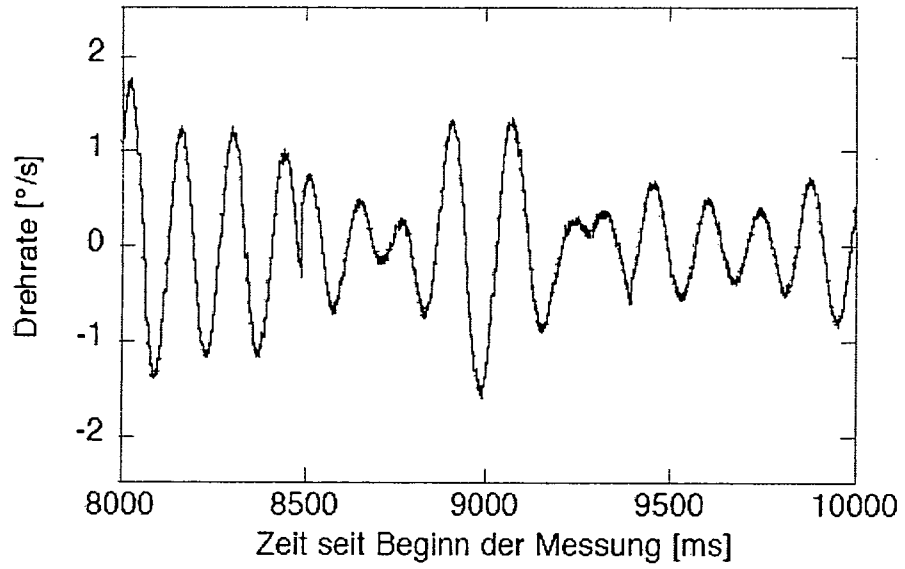


Fig. 4



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2007/000833

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. G01M5/00 G01B11/16 G01C19/72 E04H9/00

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)  
G01B E04H G01M G01C

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 00/43768 A (PURE TECHNOLOGIES LTD [CA]; ELLIOTT JOHN [CA]; PAULSON PETER O [CA]) 27 July 2000 (2000-07-27)	7, 10
Y	page 3, line 5 - page 9, line 15; figure 1	1-6, 8, 9, 11
Y	----- WO 03/019113 A (LACOMM CO LTD [KR]; LEE JIN-YI [KR]; KANG MOON-PHIL [KR]; KIM MIN-SOO) 6 March 2003 (2003-03-06) page 7, line 15 - page 11, line 21; figures 1, 2	1-6
Y	----- US 2004/107671 A1 (MCGINNIS HENRY J [US] ET AL) 10 June 2004 (2004-06-10) paragraph [0023] - paragraph [0030]; figures 1-5	8, 9, 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 document 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

15 May 2007

Date of mailing of the international search report

25/05/2007

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gruss, Christian

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2007/000833

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/019294 A1 (RICHTER LARS [US]) 30 January 2003 (2003-01-30) paragraph [0005] - paragraph [0012]; figure 4 paragraph [0029] - paragraph [0031]	7, 10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/000833

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0043768	A	27-07-2000	AU 2088000 A CA 2281332 A1	07-08-2000 20-07-2000
WO 03019113	A	06-03-2003	KR 20030018391 A	06-03-2003
US 2004107671	A1	10-06-2004	NONE	
US 2003019294	A1	30-01-2003	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2007/000833

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. G01M5/00 G01B11/16 G01C19/72 E04H9/00		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) G01B E04H G01M G01C		
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, INSPEC		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 00/43768 A (PURE TECHNOLOGIES LTD [CA]; ELLIOTT JOHN [CA]; PAULSON PETER O [CA]) 27. Juli 2000 (2000-07-27)	7,10
Y	Seite 3, Zeile 5 - Seite 9, Zeile 15; Abbildung 1	1-6,8,9, 11
Y	WO 03/019113 A (LACOMM CO LTD [KR]; LEE JIN-YI [KR]; KANG MOON-PHIL [KR]; KIM MIN-SOO) 6. März 2003 (2003-03-06) Seite 7, Zeile 15 - Seite 11, Zeile 21; Abbildungen 1,2	1-6
Y	US 2004/107671 A1 (MCGINNIS HENRY J [US] ET AL) 10. Juni 2004 (2004-06-10) Absatz [0023] - Absatz [0030]; Abbildungen 1-5	8,9,11
	----- -/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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* älteres Dokument, 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 anderen 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 15. Mai 2007		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 25/05/2007
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Gruss, Christian

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2007/000833

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2003/019294 A1 (RICHTER LARS [US]) 30. Januar 2003 (2003-01-30) Absatz [0005] - Absatz [0012]; Abbildung 4 Absatz [0029] - Absatz [0031] -----	7, 10

03

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/000833

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0043768	A	27-07-2000	AU 2088000 A CA 2281332 A1	07-08-2000 20-07-2000
WO 03019113	A	06-03-2003	KR 20030018391 A	06-03-2003
US 2004107671	A1	10-06-2004	KEINE	
US 2003019294	A1	30-01-2003	KEINE	