



(10) **DE 10 2010 008 391 A1** 2011.08.11

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 008 391.7**

(22) Anmeldetag: **06.02.2010**

(43) Offenlegungstag: **11.08.2011**

(51) Int Cl.: **G01M 13/00 (2006.01)**

G01M 5/00 (2006.01)

G01M 7/02 (2006.01)

G08C 17/02 (2006.01)

(71) Anmelder:
Möller, Silvia, 73463, Westhausen, DE

(74) Vertreter:
Möller, Timo, Dr.-Ing., 73463, Westhausen, DE

(72) Erfinder:
Möller, Silvia, 73463, Westhausen, DE; Möller, Timo, Dr., 73463, Westhausen, DE; Lehmann, Martin, 73463, Westhausen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	196 19 311	A1
DE	103 52 959	A1
US	58 72 520	A
US	55 32 538	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Eingebettetes Sensorsystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein eingebettetes Sensorsystem (2) zur Erfassung physikalischer Parameter von Systemen und Strukturen (1), dadurch gekennzeichnet, dass

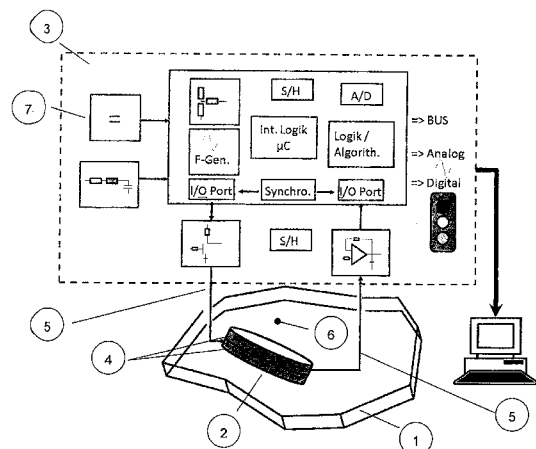
– mindestens eine eingebettete Schaltung in Hardware und Software (3) vorhanden ist, die sich zur Erzeugung und Aussendung sowie zum Empfangen von zeitvarianter Signale eignet, und die Signale gemäß eines anwendungsspezifischen Auswertalgorithmus verarbeitet, und die eine Schnittstelle für eine Signalausgabe und/oder für die Verbindung mit einer übergeordneten Steuerung oder Regelung der Struktur oder des Systems vorhält;

– mindestens ein polykristalliner Sensor (4) mit Sendeeinheit und Empfangseinheit sowie einem Sender und Empfänger für die reversible Wandlung elektrischer Energie in mechanische Oberflächenwellen vorhanden ist, und die mit der eingebetteten Schaltung verbunden werden können;

– mindestens eine Übertragungseinheit (5) zur drahtbasierten oder vorzugsweise drahtlosen Kommunikation und hierin zur Aussendung sowie zum Empfangen von elektromagnetischen Wellen bestehend aus jeweils mindestens einem Sendee- und Empfangskanal vorhanden ist, die die Verbindung zwischen eingebetteter Schaltung (3) und mindestens einem polykristallinen Sensor (4) herstellt;

– mindestens eine Meß-Strecke (6) auf der Struktur oder im System (1) vorhanden ist, die zur Erfassung der physikalischen Parameter oder von Zustandsänderungen konstruktiv ausgebildet ist und mit mindestens einem polykristallinen Sensor (4) strukturkonform verbunden ist;

– es von einer Energiequelle (7) versorgt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein eingebettetes Sensorsystem bestehend aus einer eingebetteten Schaltung, einer Übertragungseinheit und einer Messanordnung zur Übertragung von energetischen Signalen auf eine Empfangseinheit der Messanordnung, deren Wandlung in eine mechanische Welle und deren Wechselwirkung in der Messstrecke oder global mit der Struktur oder mit dem System. Die Strukturantwort oder die Systemantwort wird wieder rückwärts über die Übertragungseinheit der Messanordnung zurück in die eingebettete Schaltung geleitet, und dort durch die Logik der Schaltung verarbeitet. Die eingebettete Schaltung steuert schließlich die Ausgabe(vor-)verarbeiteter Signale an einen elektrischen Verbraucher oder in einen übergeordneten Steuer- oder Reglungsrechner.

[0002] Typische Anordnungen für Teile des erfindungsgemäßen Sensorsystems zeigen die Referenzen [1], [2], [3] und [4]. Gewöhnlich finden akustische Oberflächenwellen als mechanischer Wandler für die physikalischen Parameter Druck, Temperatur, Massenbelegung, Dehnung und andere Anwendung. Die Übertragung der Energie zur Aussendung der Oberflächenwelle erfolgt vielfach drahtlos durch Ausnutzung von Funkwellen im dreistelligen Megahertz bis in den Gigahertz-Bereich. Der Wandler ist dabei ein einkristalliner Streifen, der piezoelektrische Eigenschaften besitzt. Mittels meist lithographischer Verfahren werden so genannte Interdigitalelektroden als Ein- oder Zweitoranordnung hergestellt, die die elektromagnetischen Wellen in akustische Oberflächenwellen und zurück wandeln. Die akustischen Welleneigenschaften werden durch Beaufschlagung oder Wechselwirkung mit den genannten physikalischen Parametern verändert und dienen vielfältiger messtechnischer Anwendungen.

[0003] Die Referenz [1] beschreibt den Einsatz von passiven funkabfragbaren Oberflächenwellensensoren. Ein numerisch gesteuerter Oszillator einer Abfrageeinheit erzeugt die Hochfrequenz, mit der die Oberflächenwellen angeregt werden. Über eine Antenne erfolgt die drahtlose Übertragung in die Sendereinheit des akustischen Oberflächenwellensensors. Die reflektierten, von den zu messenden physikalischen Parametern beeinflussten und veränderten Wellen werden wieder in hochfrequente elektromagnetische Wellen transformiert und von der Antenne der Abfrageeinheit empfangen, die nun vom Sendemodus in den Empfangsmodus umgeschaltet wurde. Die Signale der ausgesendeten Welle und die der empfangenen Welle werden superpositioniert und in einem digitalen Signalprozessor ausgewertet und an einen Steuer- oder Regelungsrechner weitergeleitet. Der akustische Oberflächenwellensensor ist dabei ein separates Bauteil, welches in das zu überwachende System mechanisch eingefügt werden muss. Hierzu ist eine

separate Übertragungsstruktur erforderlich. Die Sensitivität der gesamten Sensoreinheit ist direkt abhängig von der konstruktiven Anordnung mit all den bekannten Toleranz- und Fehlerproblematiken.

[0004] Die beschriebene Anordnung aus Sensorelement, Übertragungsstruktur und Schaltung ist nicht geeignet für die Erfassung von Strukturveränderungen im Sinne einer intrinsischen Struktur- oder Systemüberwachung wie sie in aktuellen Fragestellungen der Strukturüberwachung und Lebensdaueranalyse – beispielsweise das Structural Health Monitoring – oder der Sicherheitstechnik – beispielsweise die Seniorsensoren – oder der Effizienzsteigerung – beispielsweise in der Momentenmesstechnik in Windkraft-Rotorflügeln – und Emissionsminderung – beispielsweise die Reifendruckkontrolle – gefordert werden.

[0005] Die Referenz [4] beschreibt den Stand der Technik von Sensoren zur Erfassung von Messgrößen eines Leiters und deren Nachteile, die man auf viele Messaufgaben in der Strukturmechanik übertragen kann. Die beschriebene Lösung sind Nano- oder Mikrosensoren auf Halbleiterbasis. Diese kleinen Sensoren können in den, den Leiter umgebenden Mantel strukturkonform integriert werden. Die Sensoren sind auf gleicher Bauteilebene mit elektronischen Schaltungsbausteinen zur Signalaufbereitung, Signalverarbeitung und zur Kommunikation ausgestattet, da in beiden Fällen Halbleitermaterialien die Ausgangsmaterialien bilden. Damit wird zumindest gegenüber dem damaligen bekannten Stand der Technik eine höhere Integrationstiefe erreicht.

[0006] Die beschriebene Anordnung und das Verfahren zur Signalaufbereitung und –verarbeitung erfordert zwingend Halbleitermaterialien. Dies schränkt die Verbundfähigkeit des beschriebenen Sensorsystems ein. Weiter erfordert es eine lokal sehr enge Anordnung zwischen Sensor und Eingebettetes System, da die kostengünstige mikrosystemtechnische Herstellung dies so erzwingt. Damit sind aber Anwendungen in sehr rauen Umgebungen ausgeschlossen, wie sie beispielsweise der Werkzeugmaschinenbau oder die Reifendrucksensorik darstellen. Hohe thermische Belastungen würden hier der Schaltungslogik schaden.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein intrinsisches Sensorsystem aufzubauen und dieses strukturkonform und anwendungsspezifisch in die Struktur oder in das System zu integrieren oder zu applizieren, dass heißt keine weiteren mechanischen Übertragungsglieder oder Elemente werden zur Ausübung der Mess- und Überwachungsaufgabe erforderlich. Das erfindungsgemäße Sensorsystem wird dabei energetisch effizient versorgt. Die Aufgabe soll mit weniger elektronischen Schaltkreisen auskommen, bei gleichzeitig höherer (Signal-)Verarbei-

tungstiefe durch direkten Einbau in den lastführenden Pfad. Dabei werden vorteilhaft weitere Analyseoptionen generiert, erreichbar durch die softwaretechnische Umsetzung vieler elektromechanischer Funktionen.

[0008] Die Mess- und Überwachungsaufgabe wird durch ein eingebettetes Sensorsystem gemäß den Merkmalen des Anspruchs 1 und die softwaretechnische Verarbeitung der Signale gemäß Anspruch 9 gelöst. Der Anspruch 18 nennt vorteilhafte erfinderische Verwendungen eines solchen eingebetteten Sensorsystems für moderne Mess- und Überwachungsaufgaben.

[0009] Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die strukturkonforme Integration oder Applikation von einem polykristallinen Sensor aus vorzugsweise piezoelektrischen Materialien mit einer Messstrecke, mit einer Übertragungseinheit und mit einer eingebetteten Schaltung aus Hard- und Software erfolgt, die eine intelligente und flexible, d. h. auf die spezifische Aufgabe bezogene lokale Positionierung und Verteilung der erfindungsgemäßen Merkmale aus Anspruch 1 beansprucht, und in der softwaretechnischen Signalverarbeitung eine intelligente Signalanalyse erreicht wird, die im Zusammenspiel beider oben genannte Nachteile von Sensorsystemen aus dem Stand der Technik beseitigt. Zudem reichen durch die erfindungsgemäße Anordnung und durch das Verfahren schon Pegel im TTL- oder CMOS-Bereich (kleiner 15 Vp) aus, um messtechnische Aufgaben mit hohem Signal-Rausch-Verhältnis zu erfüllen. Neben der geringen Leistungsaufnahme, die eine Vielzahl neuer Anwendungen wie beispielsweise Sensorik am Menschen ermöglicht, zeichnet das System aus, dass es im Sinne der Fehlerfortpflanzung weniger Schnittstellen und Übertragungsglieder besitzt. Dies wird durch Ausnutzung von eingebetteter Hardware und Software erreicht, die direkt drahtbasiert oder drahtlos mit dem Sensor verbunden ist. Der polykristalline Sensor ist auf Nano- oder Intelligenten/Adaptiven Materialien, vorzugsweise auf piezoelektrischer Basis, aufgebaut und besitzt einen Aktuator oder Sender und einen Sensor oder Empfänger. Der polykristalline Sensor wird direkt in die Struktur oder in das System mittels Verbundtechnologien eingebettet. Seine Messstrecke wird konstruktiv mittels Reflektorgeometrien gestaltet oder sie ist über die Struktur mehrdimensional verteilt. Je nach konstruktiver Anordnung und energetischer Versorgung wirkt der polykristalline Sensor in seinem unmittelbaren Nahfeld -mehrere Millimeter flächenhafte Ausdehnung – oder auch in seinem Fernfeld, welches sich bis in den Meterbereich erstrecken kann. Der Sensor erzeugt mit seinem Sender eine Oberflächenwelle, die sich auf jedweder Strukturoberfläche oder in der Kontaktzone zweier miteinander verbundener Strukturen ausbreitet. Die reflektierten Wellen werden vom Empfänger aufgenommen und haben als

Welleninformation die Strukturantwort auf die Strukturerrregung inne. Der Empfänger sitzt dem Sender direkt gegenüber, sozusagen auf dem Rücken. Durch diese Anordnung wird eine Integrationshöhe erreicht, die eine hohe Sensitivität im ppm Bereich erzielen lässt und energetische Vorteile besitzt. Eine eingebettete Schaltung kann durch diese Vorteile direkt mit dem Sensor verbunden werden. Diese eingebettete Schaltung übernimmt zum einen die Funktion der Frequenzerzeugung im Bereich der strukturdynamisch idealen Wechselwirkung – Frequenzband je nach Struktureigenschaften von 20 kHz bis 20 MHz. Zum anderen erfolgen die Signalverarbeitung im Sinne eines Auswertalgorithmus und die Kommunikation über diverse Schnittstellen – analog, digital, per Protokolle und anderes mehr. Sollte eine drahtlose Verbindung zwischen eingebettetem System und polykristallinem Sensor erforderlich sein, so übernimmt die eingebettete Hardware auch die Übertragungsfunktion mittels einer Antenne.

[0010] Die energetische Effizienz resultiert daraus, dass der Sender und der Empfänger des polykristallinen Sensors möglichst gut mechanisch gekoppelt und in die Struktur oder an das System eingebettet sind. Bevorzugt wird eine stoffschlüssige Verbindung, wobei zwischen dem Sender und dem Empfänger für eine bevorzugte Ausgestaltung lediglich die zur Kontaktierung und/oder zur Herstellung des Stoffschlusses notwendigen Komponenten vorgesehen sind. Hiervon ausgehend beruht das Messprinzip des polykristallinen Sensors auf einer Bestimmung der Veränderung der Wellen-Charakteristika aufgrund einer internen oder externen mechanischen Spannungszustandsänderung im System oder in der Struktur. Dabei können sich unter anderem die Wellenamplitude, die Ausbreitungsfrequenz, die Güte, die relative Phasenlage oder die dominante Schwingungsmoden des Senders verändern, wobei diese Veränderung instantan und ohne Vorlast vom Empfänger detektiert und als Messsignal weiterverarbeitet wird.

[0011] Der Sender und der Empfänger des Sensorelements werden erfindungsgemäß jeweils mittels Nanomaterialien oder vorzugsweise adaptiver Materialien ausgeführt. Ein adaptives Material ist ein Werkstoff oder ein Werkstoffverbund, der durch eine äußere Beeinflussung sich wenigstens in einer Materialeigenschaft drastisch verändert. Ein typisches Beispiel für ein adaptives Material ist ein Piezoelektrika, das gemäß des piezoelektrischen Effekts in einem elektrischen Feld einer Strukturdeformation unterliegt, beziehungsweise im umgekehrten Fall erzeugt eine Deformation aufgrund einer mechanischen Spannung eine elektrische Polarisierung oder eine Polarisationsänderung.

[0012] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausgestaltungsbeispiels in Verbindung

mit den Figurendarstellungen genauer erläutert, die im Einzelnen Folgendes darstellen:

[0013] Fig. 1 zeigt die erfindungsgemäße Anordnung und den Aufbau für ein eingebettetes Sensorsystem.

[0014] Fig. 2 zeigt eine Ausdetaillierung des erfindungsgemäßen polykristallinen Sensors mit Sendeeinheit und der Messstrecke.

[0015] Fig. 3 zeigt ein Ablaufdiagramm der eingebetteten Software

[0016] Fig. 4 zeigt einen typischen Messschrieb für eine Anwendung in der Medizintechnik auf Strukturebene

[0017] Fig. 5 zeigt eine Systemanwendung des erfindungsgemäßen eingebetteten Sensorsystems.

[0018] Die Fig. 1 verdeutlicht in ihrer Gesamtheit die beiden Bestandteile des eingebetteten Sensorsystems (2) zur Beeinflussung einer lasttragenden Struktur (1) mit einer Oberflächenwelle in der jeweiligen Applikations- oder Integrationsschicht. Die eingebettete Schaltung (3) ist für die Versorgung der Sendereinheit des Sensors (10) mit der für die Mess- und/oder Überwachungsaufgabe erforderlichen Amplitude in der erforderlichen Anregungsfrequenz und Signalform verantwortlich. Über eine Synchronisation (29) steuert die Schaltung sowohl den Ausgangsport als auch den Eingangsport, um die von dem oder den Sensoren eingehenden Signale der Empfängereinheiten der Sensoren (11) zu triggern. Damit ist eine bestimmte, auf die Mess- und/oder Überwachungsaufgabe abgestimmte, durch die Programmierung der eingebetteten Software vorgegebene, Phasenlage zwischen Anrege- und Antwortsignal gewährleistet, die in der nachgelagerten Verarbeitung der Signale erfindungsgemäß ausgenutzt wird. Diese Synchronisation bietet den erfindungsgemäßen Vorteil zur Lösung der Aufgabe mit weniger elektronischen Schaltkreisen auszukommen, bei gleichzeitig höherer Verarbeitungstiefe und Analyseoptionen, um sowohl sehr schnelle strukturdynamische Spannungszustandsänderungen zu erfassen und zu verarbeiten als auch statische Spannungszustandsänderungen von Strukturen und Systemen zu erfassen, die sich in einem Auflösungsbereich bis in den ppb-Bereich bewegen können.

[0019] Durch die erfindungsgemäße Anordnung der hochdynamischen und hochauflösenden polykristallinen Sensoren (4) in Verbindung mit der erfindungsgemäßen eingebetteten Schaltung in Hardware und Software (3) werden Oberflächenwellen im Bereich weniger Nanometer bis Picometer-Amplituden der Ausbreitungsfrequenzen im Bereich Ultraschall (20 KHz–20 MHz) zur sensorischen Erfassung

und Untersuchung von strukturdynamischen Aufgaben erzeugt und deren Eigenschaftsänderungen beispielsweise in gedämpfter Amplitude, verschobener Phasenlage oder geänderter Antwortfrequenz durch Überlagerung der Anregungsfrequenz mit der Antwortfrequenz – verstimmter Schwinger – ausgewertet. Für die Versorgung des eingebetteten Sensorsystems dient eine Spannungsquelle (7), vorzugsweise eine Gleichspannungsquelle, mit Signalpegel unter 15 VDC. Der integrierte Schaltkreis (8) verarbeitet den erfindungsgemäßen Auswertalgorithmus durch einen der Aufgabe geeigneten Taktgeber (19), welcher meist als ein Quarzbaustein mit Schwingfrequenzen oberhalb 4 MHz ausgebildet ist. Über Digital-Analog-Wandler (14) und einer Endstufe (15) werden die erzeugten Anregungen an die Empfangseinheit des oder der polykristallinen Sensoren (11) übergeben. Hierbei kann die jeweilige Empfangseinheit vereinfachend parallelgeschlossen werden. Hierbei ändert sich jedoch der komplexe Ausgangswiderstand der oder des Ausgangsports je nach Anzahl angeschlossener Sensoren, die wiederum spezifische Innenwiderstände und frequenzabhängige Kapazitäten besitzen. Diese elektrotechnischen Parameter und Eigenschaften müssen individuell durch die Endstufen (15) angepasst werden. Die eingebetteten Sensorsysteme sind daher sehr eng auf die strukturdynamischen, elektromechanischen Eigenschaften abgestimmt und bilden daher mit der eingebetteten Hard- und Software ein Gesamtsystem. Die Antwortsignale aus den verschiedenen Sensoren können je nach Auswertalgorithmus und Aufgabe vor den Eingangsports durch Logikbausteine oder im integrierten Schaltkreis (8) mathematisch verknüpft werden. Da wiederum für die Eingangsports spezifische Anforderungen des integrierten Schaltkreises (8) an Stromstärke, Eingangswiderstand und so weiter gelten, müssen die Signale dementsprechend über Hardware angepasst werden. Diese Hardware kann aus verschiedenen Anpassungsschaltungen – Tiefpass, Hochpass, Bandpass – bestehen, als auch Sample & Hold-Glieder und Impedanzwandler (13) besitzen. Ihre Aufgabe ist die nahezu unverfälschte Übergabe der Antwortsignale der Sensoren in den oder die integrierte Schaltkreise (8). Hier erfolgt die Datenverarbeitung der Signale gemäß einem der Aufgabe spezifischen Auswertalgorithmus durch die interne Logik oder softwaretechnisch realisierte Logik. Die Kommunikation zwischen dem Schaltkreis (8) und den Sensoren (4) kann sowohl drahtbasiert oder drahtlos vorkommen (5). Insbesondere durch die erfindungsgemäßen Vorteile des eingebetteten Sensorsystems in Bezug auf Leistungsverbrauch und Verlustleistung ist die drahtlose Kommunikation als Vorteil hervorzuheben. Dies lässt Meßaufgaben Realität werden lassen, die durch bisherige drahtlose Kommunikation nur mit Verlusten an Leistung und Informationsgüte oder gar nicht umgesetzt werden konnten. Wobei hier auch das jeweilige Sensorelement limitierend wirkt, welches mit der vorliegenden Anordnung zu-

sätzlich im Hinblick auf Integrationspotential, Reaktionsgeschwindigkeit und Leistungsbedarf verbessert wurde.

[0020] Die Messstrecke (6) kann wie noch in [Fig. 2](#) zu sehen ist, spezielle Konturen oder Geometrien umfassen oder ohne spezielle Ausprägung ausgebildet werden. Die Oberflächenwellen werden bekanntermaßen an geometrischen Änderungen wie Stufen oder Kanten reflektiert und interferieren mit den ankommenden/ausgesendeten Oberflächenwellen. Je nach Phasenlage und Amplitude werden konstruktive und destruktive Interferenzen verzeichnet, die jedoch wiederum von der jeweiligen Anregung der Oberflächenwellen abhängig sind – die räumliche und zeitliche Kohärenzbedingung muss gegeben sein. Diese Eigenschaft der Strukturodynamik kann im Sinne eines Auswertalgorithmus ausgenutzt werden. Es kann auch vorteilhaft sein, dass durch Frequenzschieben – leicht durch den integrierten Schaltkreis realisierbar – mehrere Meßaufgaben mit demselben eingebetteten Sensorsystem ausgeübt werden. Die Interferenzeigenschaften lassen sich auch dahingehend ausnutzen, dass der dreidimensionale Spannungszustand mit dieser einen Anordnung ausgewertet werden kann, da die Antwortspektren von Torsion beeinflussten Oberflächenwellen andere Eigenschaften aufweisen, wie auf Biegung beanspruchte Oberflächenwellen. Kombinierte Torsion-Biegung beanspruchte Oberflächenwellen sind vorteilhaft in dem eingebetteten Sensorsystem auszuwerten. Damit erfüllt das eingebettete Sensorsystem in vorteilhafter Weise die Anforderungen an moderne dreidimensionale Strukturüberwachungseinheiten im Sinne der aktiven und passiven Sicherheit von technischen Strukturen und Systemen. Solch eine Anordnung zeigt dann beispielsweise die [Fig. 5](#).

[0021] Die im integrierten Schaltkreis (8) durch den aufgabenspezifischen Auswertalgorithmus erarbeiteten Informationen werden über diverse, den integrierten Schaltkreis (8) charakterisierenden Ausgangsports an einen elektrischen Verbraucher (20) oder an eine Steuer- und Regelungseinheit (9) zur weiteren Verarbeitung und Reaktion auf die erfasste Strukturdynamikänderung weitergeleitet. Der elektrische Verbraucher (20) kann ein akustischer Signalgeber wie vorzugsweise ein Piezosummer oder ein elektrisches Horn oder ein Antriebssystem selbst sein. In der letztgenannten Anordnung wäre die eingebettete Schaltung (3) selbst ein eingebettetes Bauteil eines übergeordneten Regelkreises. Meist wird sich aber ein angeschlossener Steuer- und Regelungsrechner (9) oder eine Transformations-Steuerungseinheit anschließen, welches die über BUS erhaltenen Signale(weiter-)verarbeitet. Alternativ können auch analoge oder digitale Signale ausgegeben werden, die dann zur Anzeige (16) beispielsweise als Mess-Schrieb gebracht werden können.

[0022] Die [Fig. 2](#) zeigt im Wesentlichen die Details des in die Struktur (1) eingebetteten oder applizierten Sensorelements (4) des eingebetteten Sensorsystems (2). Der polykristalline Sensor (4) als Sensorelement besteht aus zwei übereinander angeordneten ferroelektrischen, vorzugsweise piezoelektrischen, ebenen und dünnen Folien. Bevorzugt werden Foliendicken zwischen 200 und 300 Mikrometer: Damit liegen die durch die Endstufen (15) frequenz- und signalkonturkonform aufzubringenden Spannungsamplituden an der Sendereinheit (10), unter Einhaltung der spezifischen Grenzen für die angelegten elektrischen Felder von 1 bis 1.5 KV/mm, zwischen 300–350 VAC in der Spitze. Die Sensoren werden über drahtlose oder drahtbasierte Anschlüsse einer Übertragungseinheit (5) mit der eingebetteten integrierten Schaltung (3) verbunden. Im Falle der drahtlosen Kommunikation werden Dipolantennen über Antennenhalter (25) der Sende- und Empfangseinheit (12) mit den Zuleitungen für den Sender (10) und Empfänger (11) des polykristallinen Sensors (4) verbunden. Der Masseanschluss (22) ist für Antenne und Sensor (4) gleich.

[0023] Der Empfangsanschluss (24) ist erfindungsgemäß mit dem Sender des polykristallinen Sensors (10) zu verbinden. Demzufolge ist der Sendeanschluss (23) mit dem Empfänger des Sensors (11) zu verbinden. Erfindungsgemäß sollen Oberflächenwellen auf der Meß-Strecke (6) oder auf der Struktur beziehungsweise dem Teil der Struktur oder des Systems (2), der in einer topologischen Einheit mit dem Sensor (4) steht, erzeugt werden. Diese topologische Einheit wird aus Sicht des eingebetteten Sensorsystems (2) als Trägerstruktur (21) deklariert. Sie trägt bildhaft die vom Sender (10) kommende Oberflächenwelle und leitet erfindungsgemäß die beeinflussten, reflektierten oder stehenden Oberflächenwellen zum Empfänger (11). Um die Signalgüte und die Interpretationsgüte zu verbessern, wird erfindungsgemäß empfohlen, eine der Messaufgabe strukturkonforme Meß-Strecke (6) auszubilden. Diese bildet sich durch Reflexionsgrenzen (26) aus. Sie beschreiben damit geometrisch die Ausbreitungsfläche der Oberflächenwellen, in denen sie eindeutig durch die Strukturdynamik der Trägerstruktur (21) als Teil des Systems oder der Struktur (1) beeinflusst und ausgewertet werden.

[0024] Die Applikation des Sensorelements (4) auf die Trägerstruktur (21) ist erfindungsgemäß so umzusetzen, dass der Sender (10) des Sensorelements (4) auf der Trägerstruktur (21) direkt über eine mechanische Verbindungstechnologie die in der ferroelektrischen Struktur des Sensorelements (4) erzeugten Schwingungen auf die Trägerstruktur (21) übertragen kann. Hierbei haben sich sehr zähe Kleber oder linearelastische metallische Kleber ausgezeichnet. Die Relation zwischen dem E-Modul der ferroelektrischen Struktur und dem Verbindungswerkstoff

sollte einen Faktor 20 nicht überschreiten. Eine 1:1 Relation ist wegen der Eigenhemmung nicht hilfreich. Weiter gilt es zu beachten, dass das Sensorelement gegen Feuchte und gegen zu kleine Krümmungsradien geschützt wird. Beides führt jeweils oder in Kombination zu elektrischem und/oder mechanischem Versagen des eingebetteten Sensorsystems (2).

[0025] Die Signalamplituden der vom Empfänger (11) des Sensorelements (4) umfassen in der Regel einen Bereich von wenigen Milli-Volt bis Volt und sind je nach Anregungsfrequenz bis zu 40 dBV gedämpft. Regt man die Struktur (1) über die Trägerstruktur (21) im Frequenzband oberhalb 200 kHz an, so stellt man geringere Signaldämpfungen fest (Bereich unter 10 dBV). Anregungen im MHz-Bereich erzielen sogar eine Signalverstärkung (bis zu 12 dBV). Die Signalbeeinflussung der über die Übertragungseinheit (5) beziehungsweise der Sendeeinheit (12) gesendeten Sensorsignale hängt von den Einspannbedingungen des Sensors (4) im Verbund des Systems oder der Struktur (1) ab. Zudem hängt es von den mechanischen Eigenschaften und der Kristallographie der Trägerstruktur (21) ab. Weiter beeinflussen Anregungs- und Ausbreitungsfrequenz sowie Interferenzen – Schwebungen – die Signaldämpfung. Als letzten Einflussparameter ist die auszuwertende, reflektierte Oberflächenwellentopographie in Relation zur Sensorfläche zu nennen. Sind die Wellenzüge klein gegen den Flächeninhalt des Sensors, so werden weniger Ladungsträger erzeugt. Das ist dem Umstand des Kondensators geschuldet, der ja das eigentliche elektrische Abbild des Sensorelements (4) darstellt. Je kleiner die Kondensatorfläche des ploykristallinen Sensors (4), desto sensibler ist der Sensor (4) im eingebetteten Sensorsystem (2) für kleinste Oberflächenwellenänderungen – beispielsweise mehrfache Harmonische der Grundwelle.

[0026] Die Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines Software-Ablaufdiagramms eines eingebetteten Sensorsystems (2). Einzugeben sind über eine standardisierte Eingabemaske – nicht weiter erläutert – oder beim Flashen des integrierten Schaltkreises (8) Parameter zur Beschreibung der Anregung in Form von Angaben über die Amplitude, über die Frequenz und über die Signalform – Sinus, Dreieck, Rechteck, Impuls. Je nach Ausführungsform kann eine Initialisierung des Sensorsystems (2) – mit genannt – in der Struktur oder im System (1) erfolgen. Dann muss diese Initialisierung über einen Parameter ein- oder ausgeschaltet werden. Es empfiehlt sich nach generellem Neustart oder Verlust der Versorgungsspannung nach einer gewollten oder ungewollten Spannungsunterbrechung, eine Initialisierung durchzuführen. Je nach Anwendung kann ein mechanischer Schalter zur Grenzwertfassung aktiviert werden, der dann der Triggerung der Datenübertragung in der Routine Initialisierung dient. Dies ist empfehlenswert, wenn es um aktive oder passive Sicher-

heit in Bezug Mensch-Maschine oder Maschine-Maschine geht. Der Initialisierungsprozess erfasst nach der Anregung der Trägerstruktur (21) die aktuell erforderlichen oder gewünschten Schwellwerte und steuert im Einklang mit der Synchronisation die Werteerfassung und -übergabe in ein Register. Die Synchronisation steuert auch die I/O-Ports des integrierten Schaltkreises (8) und ist damit eines der erfindungsgemäß funktionsbestimmenden Bausteine des eingebetteten Sensorsystems. Mit dieser Funktionalität lassen sich hochauflösende und hochfrequente Sensorik für moderne Messaufgaben realisieren – näheres wurde in Fig. 1 erläutert.

[0027] In der Routine Messung steuert die Synchronisation des Schaltkreises (8) die Ausgabe der für den Sender erforderlichen elektrischen Signale oder Vorseignale, sollte eine Endstufe (15) aufgabengemäß erforderlich werden. Liegen die Schwellwerte – über den Initialisierungsprozess selbst erfasst oder auch parametrisiert vorgegeben – vor, so steuern Sample & Hold-Glieder die Datenverarbeitung beim Einlesen der analogen oder digital vorliegenden Signale der Strukturantworten der über das System oder die Struktur (1) verteilten Sensoren (4) und speichern sie in Register ab. Der Auswertalgorithmus – vordefiniert beim Flashen des integrierten Schaltkreises (8) oder über die Eingabemaske – greift je nach mathematischer Funktion auf die Daten aus den Registern zu und verarbeitet diese und vergleicht sie zu den Grenzwerten. Im Falle keiner Überwachungsaufgabe reicht eine Auswertung und Weiterleitung an die Datenausgabe. In diesem Falle spricht man von Structural Monitoring. Im Falle der Schwellwertanalyse spricht man von Structural Health Monitoring. Beide Fälle sind Teilbereiche der aktiven und passiven Sicherheit von Strukturen und Systeme. Die Ausgabe kann in digitaler, analoger Form oder in Form eines Protokolls erfolgen, welches über einen BUS datentechnisch weiterverarbeitet wird.

[0028] Die Fig. 4 zeigt einen zeitvarianten Messschrieb (16) über 3 Minuten einer mit dem erfindungsgemäß applizierten eingebetteten Sensorsystem (2) ausgestatteten Orthese. Die mehrfach vorhandenen Sensoren werden mit einem Signalpegel von 5 VAC mit einem Rechtecksignal mit 50:50 Duty Cycle mit einer Frequenz von 250 kHz beaufschlagt. Der Proband bewegt sich im Stehen rotatorisch um seine horizontale Achse sowie in Beuge- und Streckelage. Auch ein Sitzen beziehungsweise eine Bewegung in Hocke und Liegen sind erfasst. Die Sensorik befindet sich auf einem Kunststoffskelett, eingebettet in eine Textilumhüllung der Orthese. Die Orthese selbst wird auf 2 Textilien getragen, so dass relative Verschiebungen zwischen den einzelnen Grenzschichten sichtbar wahrgenommen werden und in der Untersuchung auch erzwungen wurden. Bei der detaillierten Untersuchung der Signale unter Berücksichtigung der Zustandsänderung konnte jeder Zu-

standsänderung im Bewegungsablauf des Probanden ein Spannungswert zugeordnet werden und damit ist eine Bewegungsanalyse auch unter widrigen Umständen eindeutig zu gewährleisten.

[0029] Diese Funktionalität ist nur durch die Anordnung und Ausführung des eingebetteten Sensorsystems (2) und seiner softwaretechnischen Architektur (Fig. 3) zu verdanken.

[0030] Die Fig. 5 zeigt schematisch einen Transfer des eingebetteten Sensorsystems (2) auf eine Windkraftanlage als System (1), dargestellt mit Gondel (28) und einem Ausschnitt eines Rotorblatts (27), mit der Aufgabe, dreidimensional den Spannungszustand und dessen Änderung unter verschiedenen Lastfällen oder Lastkollektiven zu erfassen. Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass die Sensorelemente (4) des eingebetteten Sensorsystems (2) in die Rotorflügelgeometrie des Rotorblatts (27) strukturdynamisch geeignet und strukturkonform eingebettet werden.

Bezugszeichenliste

1	System oder Struktur
2	Eingebettetes Sensorsystem
3	Eingebettete Schaltung
4	polykristalliner Sensor (Sensorelement)
5	eine Übertragungseinheit – drahtbasiert oder drahtlos
6	Meß-Strecke
7	Spannungsversorgung oder Energiequelle
8	Integrierter Schaltkreis, vorzugsweise ein µProzessor
9	Steuerungs- und Regelungsrechner
10	Sender des polykristallinen Sensors
11	Empfänger des polykristallinen Sensors
12	Sende- und Empfangseinheit
13	Impedanzwandler
14	Analog-Digital-Wandler beziehungsweise Digital-Analog-Wandler
15	Endstufe
16	zeitvarianter Schrieb
17	Kommunikations-Schnittstelle
18	Spannungsteiler und Konstanter
19	Taktgeber
20	elektrischer Verbraucher
21	Trägerstruktur
22	Masse
23	Sendeanschluss
24	Empfangsanschluss
25	Antennenhalter
26	Reflexionsgrenze
27	Rotorblatt
28	Gondel einer Windkraftanlage
29	Synchronisation

Referenzen:

- [1] http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/901/1/dissertation_teminova.pdf
- [2] Patentschrift US 4246784
- [3] Patentschrift US 6144332
- [4] Patentschrift DE 10 2008 013 341 A1

Patentansprüche

1. Eingebettetes Sensorsystem (2) zur Erfassung physikalischer Parameter von Systemen und Strukturen (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass
 - 1.1 mindestens eine eingebettete Schaltung in Hardware und Software (3) vorhanden ist, die sich zur Erzeugung und Aussendung sowie zum Empfangen von zeitvarianter Signale eignet, und die Signale gemäß eines anwendungsspezifischen Auswertalgorithmus verarbeitet, und die eine Schnittstelle für eine Signalausgabe und/oder für die Verbindung mit einer übergeordneten Steuerung oder Regelung der Struktur oder des Systems vorhält;
 - 1.2 mindestens ein polykristalliner Sensor (4) mit Sende- und Empfangseinheit (12) sowie einem Sender (10) und Empfänger (11) für die reversible Wandlung elektrischer Energie in mechanische Oberflächenwellen vorhanden ist, und die mit der eingebetteten Schaltung verbunden werden können;
 - 1.3 mindestens eine Übertragungseinheit (5) zur drahtbasierten oder vorzugsweise drahtlosen Kommunikation und hierin zur Aussendung sowie zum Empfangen von elektromagnetischen Wellen bestehend aus jeweils mindestens einem Sende- und Empfangskanal vorhanden ist, die die Verbindung zwischen eingebetteter Schaltung (3) und mindestens einem polykristallinen Sensor (4) herstellt;
 - 1.4 mindestens eine Meß-Strecke (6) auf der Struktur oder im System (1) vorhanden ist, die zur Erfassung der physikalischen Parameter oder von Zustandsänderungen konstruktiv ausgebildet ist und mit mindestens einem polykristallinen Sensor (4) strukturkonform verbunden ist;
 - 1.5 es von einer Energiequelle (7) versorgt wird.

2. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensorelement (4) mit seinem Sender des polykristallinen Sensors (10) stoffschlüssig mit der Struktur oder dem System (1) verbunden ist.

3. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensorelement (4) mit seinem Sender des polykristallinen Sensors (10) wenigstens mittelbar mit der Tragstruktur (21) in der Art in Wechselwirkung tritt, das die Oberflächencharakteristik in Form von Anregung und Aussendung von Oberflächenwellenzügen verändert wird.

4. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sender des polykristallinen Sensors (10) und der Empfänger des polykristallinen Sensors (11) eine Huckepackanordnung bilden und eine gemeinsame Massenelektrode aufweisen, die als Trennschicht zwischen diesen beiden angeordnet ist.

5. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sender des polykristallinen Sensors (10) und der Empfänger des polykristallinen Sensors (11) getrennt zwischen der Meß-Strecke (6) ausgebildet werden, jedoch eine gemeinsame Massenelektrode aufweisen, die auch als mechanisches Interface zur Struktur oder zum System (1) Verwendung findet.

6. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass für den Sender und den Empfänger des polykristallinen Sensors (10) und (11) jeweils ein ferroelektrisches Element, vorzugsweise Piezoelektrika, verwendet wird.

7. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Übertragungseinheit (5) drahtlos als Funksystem oder per starrer oder (teils-)flexibler Leitung in diversen Verfahrenstechniken, vorzugsweise Siebdruck, ausgebildet ist.

8. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetische Verträglichkeit durch geschirmte Leitungen und/oder durch Bauteile zur Erhaltung der elektromagnetischen Verträglichkeit bei gedruckten Leiterbahnen erfüllt wird.

9. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach einem der vorstehenden Ansprüche oder nach dem Oberbegriff von Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Software eines integrierten Schaltkreises, vorzugsweise eines Prozessors (8) inklusive der Spannungsversorgung (7)

9.1 von einer Hardware umgeben ist, die die Signalverarbeitung für mindestens einen der polykristallinen Sensoren (4) über eine Übertragungseinheit (5) und über eine Sende- und Empfangseinheit (12) sowie einem Sender (10) und Empfänger (11) übernimmt;

9.2 die Anregungsfrequenz sowie die Signalfrequenz selbständig/adaptiv oder vorgegeben, vorzugsweise nach einem selbst-erlernten Prozess, bestimmt und an mindestens einen analogen oder digitalen Ausgang ausgibt;

9.3 die eine oder mehrere Endstufen (15) beziehungsweise Impedanzwandler (13) gemäß dem anwendungsspezifischen Auswertalgorithmus in Bezug auf die Spannungsamplitude der zu erzeugenden

Oberflächenwellen auf der Trägerstruktur (21) steuert;

9.4 den einen oder mehrere Eingangskanäle für das Einlesen der empfangenen Signale steuert und diese in Register analog oder digital speichert;

9.5 die eingelesene Signale gemäß dem anwendungsspezifischen Auswertalgorithmus auswertet und verarbeitet;

9.6 die verarbeiteten Signale zur Darstellung vorzugsweise in Form eines zeitvarianten Schriebs (16), vergleichsweise zu einem Oszillographen oder in digitaler Form gemäß Ampeldarstellung aufbereitet;

9.7 die so aufbereiteten Signale über eine analoge oder digitale Schnittstelle (17) oder als Protokoll an einen übergeordneten Steuerungs- und Regelungsrechner (9) oder an einen elektrischen Verbraucher (20) weiterleitet;

9.8 eine Synchronisation (29) besitzt, die zwischen den Ausgabe- und Eingabeports des integrierten Schaltkreises (8) eine Phasenbeziehung einstellt;

9.9 eine Synchronisation (29) besitzt, die zwischen externen Mensch-Maschinen-Schnittstellen oder Maschinen-Maschinenschnittstellen steuert und für die Übergabe von auswerterelevanten Grenz- oder Schwellwerten sorgt;

9.10 eine Speicherung von Daten übernimmt, die im anwendungsspezifischen Auswertalgorithmus verarbeitet werden;

9.11 einen geeigneten Taktgeber (19) zur Ausbildung einer Taktfrequenz besitzt, die den gesamten Prozess einer Signalgenerierung, einer Synchronisation, einem Signaleinlesen, einer Signalverarbeitung und einer Signalausgabe unterstützt.

10. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware Sample & Hold-Glieder nutzt, sofern diese nicht vom integrierten Schaltkreis (8) unterstützt werden.

11. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware Analog-Digital-Wandler und Digital-Analog-Wandler (14) nutzt, sofern diese nicht vom integrierten Schaltkreis (8) unterstützt werden.

12. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware Koppelglieder für die digitale Datenverarbeitung, vorzugsweise für eine BUS-Anbindung nutzt, sofern diese nicht vom integrierten Schaltkreis (8) unterstützt werden.

13. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware Tiefpässe, Bandpässe oder Hochpässe nutzt, die die elektrischen Eigenschaften und Erfordernisse der erzeugten und angelegten Signale an den integrierten Schaltkreis (8) anpassen.

14. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware Impedanzwandler (13) nutzt, die die elektrischen Eigenschaften und Erfordernisse der erzeugten und angelegten Signale an den integrierten Schaltkreis (8) anpassen.

15. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware einen oder mehrere Spannungsteiler und Konstanter (18) besitzt, um die von der Energiequelle oder der Spannungsversorgung (7) zur Verfügung gestellte konstante oder alternierende Spannung für die Versorgung der elektrischen Bauteile aufzubereiten.

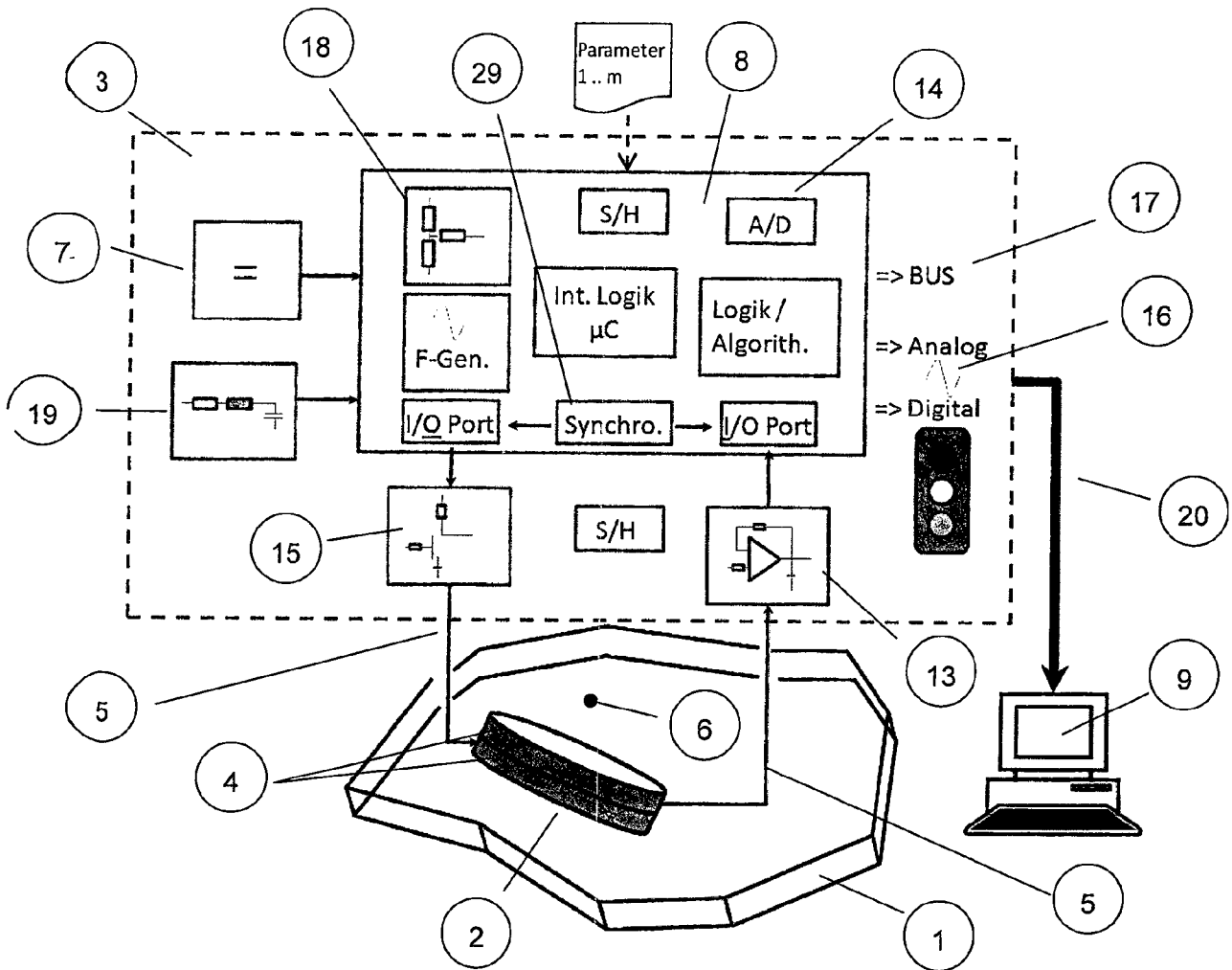
16. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die eingebettete Hardware einen oder mehrere Taktgeber (19), vorzugsweise Schwingquarze, besitzt, die die erforderlichen anwendungsspezifischen Anregungsfrequenz(en) und Verarbeitungsgeschwindigkeiten des integrierten Schaltkreises (8) zur Verfügung stellen.

17. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach wenigstens einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anregungsfrequenzen des Sensorsystems so gewählt werden, dass eine oder mehrere strukturdynamische Eigenresonanzen der Struktur oder des Systems (1) angeregt werden und die Struktur- oder Systemantworten in Form von multifunktionalen Spannungszustandsänderungen ausgewertet werden.

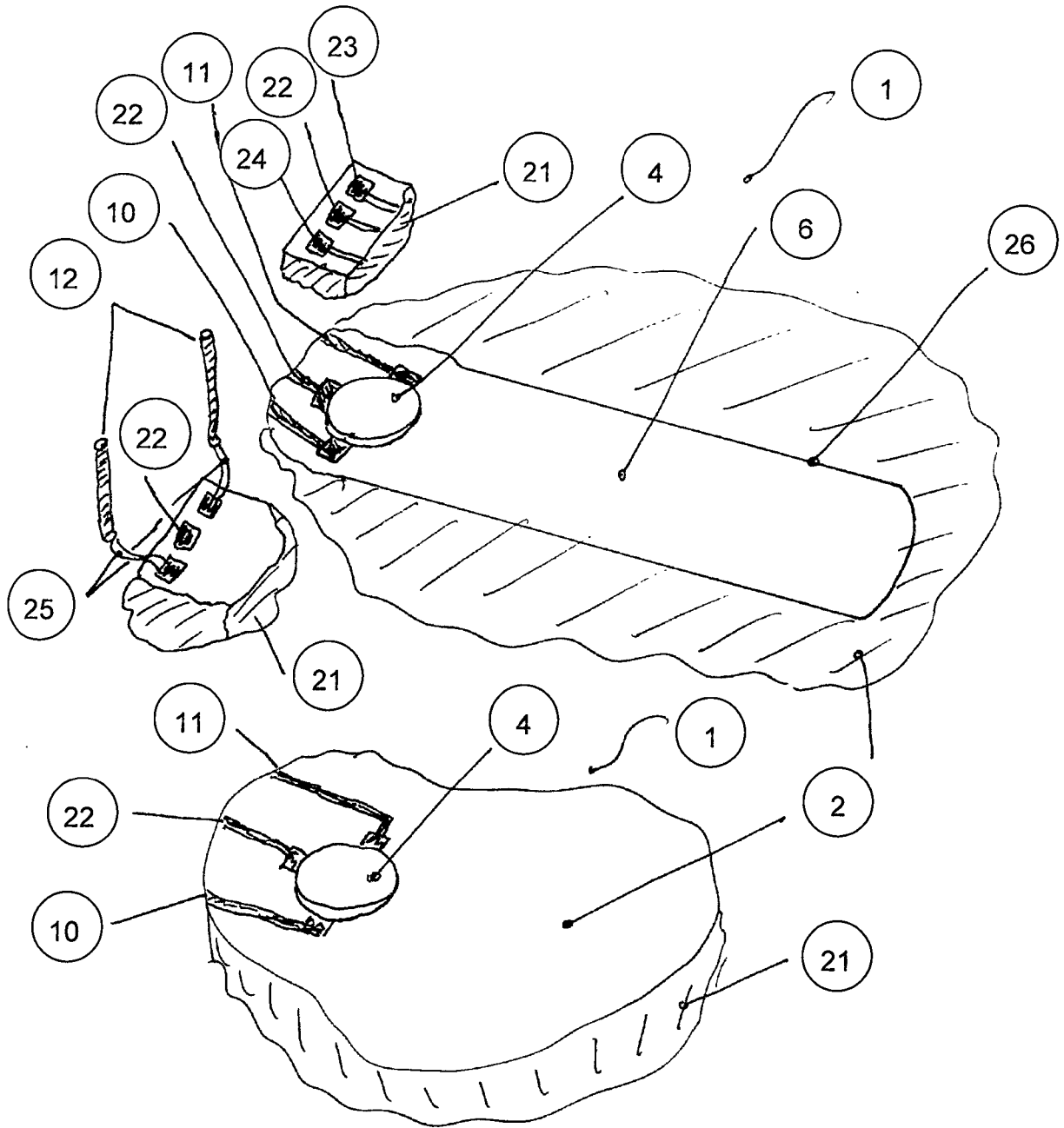
18. Eingebettetes Sensorsystem (2) nach wenigstens einem der vorausgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die physikalischen Parameter von automobilen Systemen, von messtechnischen/diagnostischen Systemen, von mobilen und immobilen Investitionsgütern oder von Konsumgütern im Sinne der aktiven und passiven Sicherheitstechnik, der Lebensdauerkontrolle, der Performance-Erhaltung und der Effizienzsteigerung und des Emissions- und Immissionsschutzes erfasst und überwacht werden.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

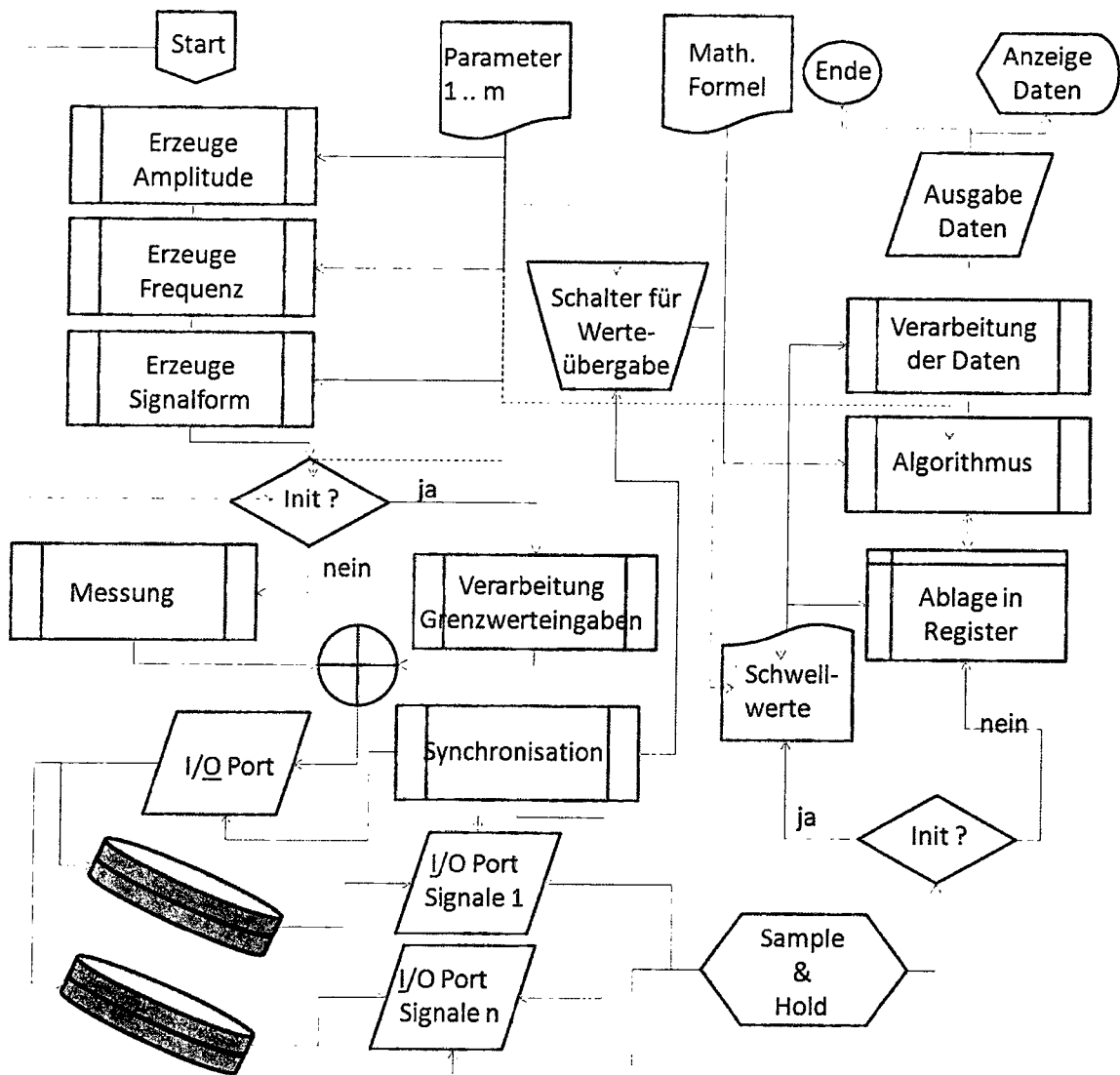
Anhängende Zeichnungen



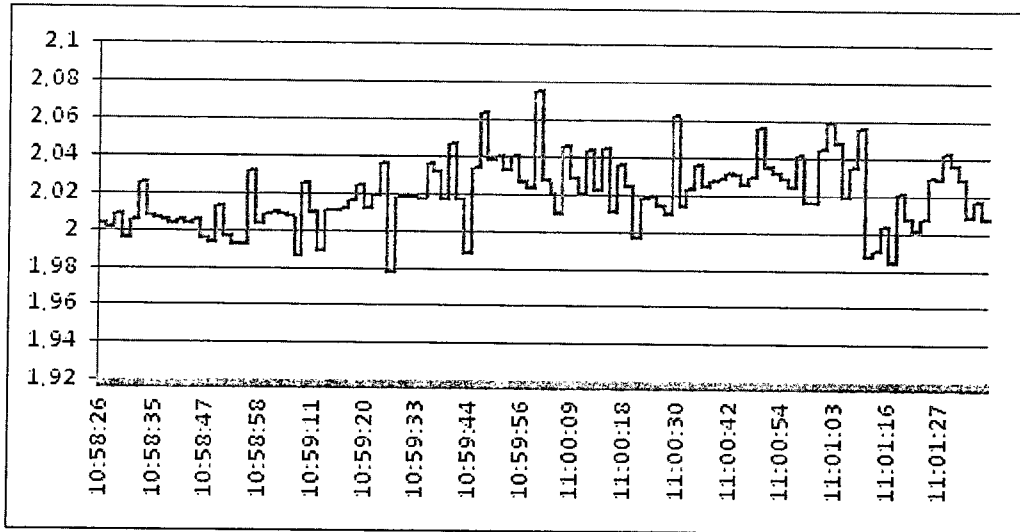
Figur -1-



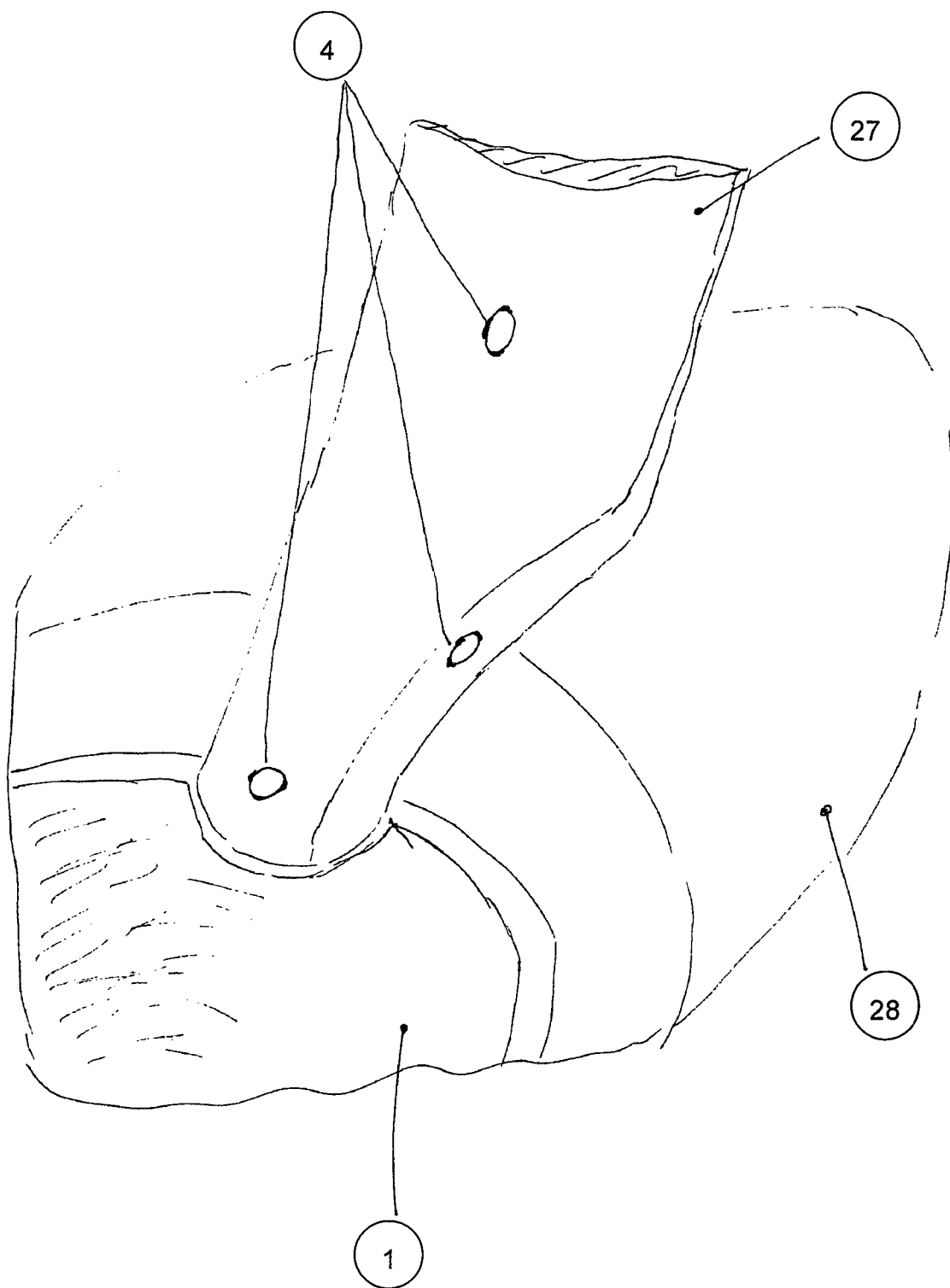
Figur -2-



Figur -3-



Figur -4-



Figur -5-