



(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) **DD** (11) **217 043 A1**

4(51) G 01 V 1/18  
 G 06 F 15/20  
 G 01 D 3/02  
 G 05 B 15/00

**AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN**

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WP G 01 V / 251 112 8 (22) 20.05.83 (44) 02.01.85

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, 1199 Berlin, Rudower Chaussee 5, DD

(72) Unterreitmeier, Erhard, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys., DD

**(54) Mikrorechnergeführter seismischer Sensor**

(57) Die Erfindung betrifft seismische Sensoren, die trotz versuchter konstruktiver und schaltungsmäßiger Maßnahmen teilweise nichtlineare physikalische Schwinger sind. Diese Nichtlinearität wird erfindungsgemäß dadurch wesentlich vermindert, daß das Seismometer im Meßvorgang durch einen Mikrorechner in der Rückführungsschleife zwischen Wandler und Rückführungseinrichtung mit seismischer Masse dynamisch so geführt wird, daß die im Vergleich zwischen einem linearen Testsignal und der Antwort des Seismometers daraus ermittelten Differenzen durch den Mikrorechner abgleichbar als Rückführungssignal zur Verbesserung seiner Linearität auf das Seismometer gegeben werden. Die Erfindung kann auch für verwandte Sensoren wie Gravimeter, Inklinometer und Beschleunigungsmesser eingesetzt werden. Fig. 1

## Mikrorechnergeführter seismischer Sensor

### Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft das Gebiet seismischer Sensoren, die prinzipielle Schwächen aufweisen, die aus ihrer physikalischen Wirkungsweise herrühren. Sie kann eingesetzt werden zur wesentlichen Hebung dieser Schwächen in Seismographen, Gravimetern und Inklinometern, insbesondere zur Verbesserung der Linearität in ihnen.

### Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Bei seismischen Sensoren — das sind Meßanordnungen, die auf dem Prinzip der Trägheit einer seismischen Masse beruhen — die zur Erfassung der elastischen Wellen von Erdbeben, Explosionen und erdbebenähnlichen Erscheinungen dienen und die auch als Beschleunigungsmesser und in Navigationssystemen angewendet werden, gibt es seit Entwurf und Ausführung der ersten Konstruktionen einen Widerspruch zwischen Theorie und Praxis, der sich in entsprechend starken Mängeln äußert und der bis dato anhält. Die Theorie fordert für ein reproduzierbares und überschaubares Funktionieren des seismischen Sensors die Realisierung eines linearen Schwingers im gesamten Arbeits- und Dynamikbereich der geführten trägen Masse 5, 15. Die Praxis kann das jedoch nur immer in begrenztem Maße gewährleisten oder je nach Anforderung annähernd erreichen 17. Diese Anforderungen resultieren aus der Anwendung des seismischen Sensors zur Datengewinnung und aus der Anwendung dieser Daten — primärer oder abgeleiteter — zur Auswertung obengenannter Vorgänge bez. zeitlichem Ablauf, Ausbreitung, Lokalisation und Detektion schwacher Ereignisse wie auch Diskrimination zwischen ihren einzelnen Erscheinungsformen 15. Diese — insgesamt unter Auswertung zusammenfassende — Verwendung hat sich gerade im Verlaufe der historischen Entwicklung der Seismologie sehr verfeinert, in der Aussagegenauigkeit erhöht, wie auch in der Zuverlässigkeit verbessert. Diese Verbesserungen in der Auswertung — sofern sie die Daten des einzelnen seismischen Sensors betreffen — sind aber nur dann relevant, wenn sie nicht erhöhte Scheingenauigkeiten einer verbesserten Datenverarbeitung sind, sondern durch die exakte — und das heißt: lineare — Funktion des Sensors gesichert und bisher nicht ausgenutzt waren. Das muß jedoch für die meisten der bekannten Seismometerkonstruktionen in Frage gestellt werden 5, 11. Die Fortschritte der Datensammlung, automatisierten Datenerfassung, -vorverdichtung, -speicherung und -verarbeitung sind eindeutig erst hinter dem Sensor bemerkbar geworden 1, 2, 13.

Die durch Hebel und/oder elastische konstruktive Elemente exakt in einer Hauptempfindlichkeitsrichtung in einem Gestell geführte träge Masse als seismischer Sensor, die als linearer harmonischer Schwinger und mit konstanter Schwingungsdauer/Eigenperiode arbeiten soll, ist in der Praxis des realisierten Seismometers eben nur gerade hinreichend und kaum wesentlich verbesserbar Meßgrundlage in ihrer Referenz relativ zum ortsfesten Gestell 9, 11.

Sowohl die horizontalen seismischen Sensoren vom Typ des Pendels als auch besonders bei vertikalen Seismometern oder triaxialen geneigten vom Vertikaltyp sind die realen Hebeführungen, die elastischen Bindeglieder/Drehgelenke zwischen Gestell und Gehänge — seismische Masse mit Hebeln — und die wie auch immer gestalteten Federn zur Kompensation des Schwereanteiles der seismischen Masse bezüglich eines geforderten Arbeitsbereiches/Meßbereiches so beschaffen, daß Linearität nur für kleine Winkelausschläge vorliegt und prinzipiell die Eigenperiode sowohl von der momentanen Lage der seismischen Masse in ihrem Arbeitsbereich als auch vom Ausschlag — der Schwingweite — zumindestens leicht, als Grundfehlerbetrag abhängt 5, 10. Auch bei vertikalen seismischen Sensoren mit Geradföhrung durch elastische Bindeglieder, bei Verzicht auf Hebeführungen, ist das vorhanden 5.

Besonders störend ist das bei der schon erwähnten einseitigen Steigerung der Auswerte- und Verarbeitungsgenauigkeit und bei der damit meist verbundenen Forderung nach größerer Bandbreite/Eigenperiode, die durch geeignete elektronische Rückführungen im seismischen Sensor erreicht wird 17. Hierbei muß immer aus physikalischen Gründen damit gerechnet werden, daß sich die im mechanischen Sensor vorhandenen Nichtlinearitäten prinzipiell fortpflanzen, erhöhen und unkontrollierbar sind.

Deshalb bleibt es auch nach Vorliegen vieler Seismometerkonstruktionen und geregelter Systeme das erklärte Ziel, einen gesichert linearen seismischen Sensor zu schaffen, der Meßgrundlage in einem großen Dynamikbereich und einem breiten Periodenbereich sein kann.

Sowohl Horizontal- wie auch Vertikalseismographen haben seit etwa 100 Jahren eine ständige Weiterentwicklung erfahren, die sie zu immer besseren Sensoren machte 17. Hierin überwiegen die Arbeiten und Beiträge zum wesentlich schwierigeren langperiodischen Vertikalseismographen gegenüber dem besser und schneller zu beherrschenden horizontalen 5, 9, 10, 11, 14. Nach den ersten astasierten, d. h. durch gezielte Hebel-Feder-Anordnungen in ihrer Eigen-Periode verlängerten, Vertikalseismographen, die durch eine Hinkbewegung in der unteren im Vergleich zur oberen Hälfte des Arbeitsbereiches gekennzeichnet waren 5 und durch eine über den Arbeitsbereich veränderliche Eigenperiode, gab es Lösungsansätze und Beiträge, die mit weiteren Federn eine Kompensation dieser störenden Abhängigkeiten erreichten 16, 18. Diese zusätzlichen und selbst vom Prinzip her fehlerbehafteten konstruktiven Maßnahmen wurden dann durch Vorschläge zu einer Schraubenzugfeder mit eingewickelter Vorspannung abgelöst, die sich auch realisieren ließen und seitdem Standard sind 8. Auch optimale Federanordnungen im Gestell sind gefunden worden, die diese Lösung verbesserten 9, 10.

Trotz aller Vorsicht und Präzision beim Abgleich ist jedoch festzustellen, daß eine störende Restwilligkeit erhalten bleibt, die bedeutet, daß die Eigenperiode von der Lage der Masse im Arbeitsbereich abhängt; damit geht dann auch ein teilweises Hinken einher. Diese Mängel, unter dem oben angeführten Aspekt der Verbesserung der Meß- und Aussagegenauigkeit, treten im Laufe der Seismographenentwicklung auch in dem Maße wieder stärker auf, wie die langperiodischen Seismographen aus Installations- und Einsatzgründen auch miniaturisiert wurden und noch werden 1, 2 13. Durch die verkürzten Hebellängen und den Einfluß der insbesondere bei transportablen Geräten stabileren Drehgelenke oder andersgestalteten elastischen Bindungen zwischen Gestell und Gehänge wird dieser Mangel gefördert. Außer durch konstruktive Sorgfalt und präzisen Abgleich der Nulllängenfeder oder der relativen Lage des Gehänges im Gestell bzw. des Gehänges relativ zur realen Drehachse ist es auch versucht worden, die störenden Terme in  $\varphi^2$  im resultierenden Moment  $M(\varphi)$  — mit  $\varphi$  als Ausschlagswinkel — durch Kompensation als zusätzliche Maßnahme zu verringern. Eine bekanntgemachte Lösung verwendet eine spezielle Kombination von Magnet/Spulen im Spule-Magnetsystem der Dämpfungseinrichtung, deren Wirkung insbesondere gegen die Terme mit  $\varphi^2$  gerichtet ist 3, eine andere schlägt vor, im elektronischen Seismographen durch eine nichtlineare Regelung/Gegenkopplung bezüglich des Ausschlages  $\varphi$  das gleiche zu erreichen 4. Abgesehen vom experimentellen Aufwand beider Lösungen sind aber keine zufriedenstellenden Resultate zu erwarten, da die Kompensationsmittel zwar einmal optimal wählbar sind, aber die Lösungsmethode nicht berücksichtigt, daß sich durch thermische und zeitliche Effekte die Kompensationsmittel

der mangelhafte Anfangszustand nichtkontrollierbar verändert. Damit sind auch die projektierten Verbesserungen umstritten, und ihr Grad ist nicht aus den Meßwerten zu ermitteln. Der Zustand ist zwar u. U. gebessert, der prinzipielle Mangel ist jedoch erhalten geblieben. Auch der Einsatz verbesserter technischer Mittel hat daran nichts geändert. Eindeutig liegen z. B. die durch verbesserte elektronische Bausteine bzw. Systemteile und moderne Datenverarbeitungsmethoden erreichten Auswertefortschritte **hinter** dem Sensor und berücksichtigen dessen prinzipiellen Mangel nicht 1, 2, 13, 19, 20. Dieser schlägt nichtkontrollierbar bis in das Endresultat der Auswertung und die nachfolgende Interpretation durch und erzeugt damit Unsicherheiten in diesen Kategorien.

Prinzipiell vorhandene Möglichkeiten zur Verbesserung des Zustandes und zur Beseitigung der Mängel durch moderne Bausteine der Rechentechnik 6, 7, 12, 19 haben nicht zu einer Lösung geführt, sondern bevorzugen eindeutig die Automatisierung und Steuerung des Meßvorganges hinter dem seismischen Sensor 1, 2, 13.

### Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist eine Verbesserung der Linearität des seismischen Sensors, die es erlaubt, mit dem hinter dem Sensor allgemein betriebenen hohen Signalverarbeitungs- und Interpretationsaufwand Resultate zu erreichen, deren Genauigkeit bzw. Auflösung in einem großen Dynamikbereich auch bei Veränderungen im Sensor durch thermische Einflüsse oder Alterungsvorgänge bewahrt bleibt.

### Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Prinziplösung für einen geregelten elektronischen seismischen Sensor zu offenbaren, die durch die besondere Art der Regelung im Sinne eines Lernvorganges eine gleitende Verbesserung der Linearität im gesamten Arbeitsbereich gestattet und damit die Genauigkeit des gesamten Meßvorganges verbessert und objektiviert, wobei dieser Vorgang im voll installierten Seismographensystem und wiederholbar in frei wählbaren Abständen erfolgen soll.

Erfindungsgemäß wird die wesentliche Verbesserung der Linearität des seismischen Sensors dadurch erreicht, daß er in seiner Linearität im Arbeitsbereich durch einen Mikrorechner im Sinne eines Lernvorganges, der aufrufbar wiederholt werden kann, geführt wird. Die Führung erfolgt im ersten Schritt durch eine Testfunktion, vorzugsweise eine Dreiecksspannung, die in das System eingespeist wird und dem seismischen Sensor über den gesamten oder eingeschränkt gewünschten Arbeitsbereich eine lineare Bewegung hoher Genauigkeit vorschreiben will, die er im freien Zustand aus bekannten Gründen nicht vollführt. Die Erfassung dieser Bewegung über den Signalwandler des seismischen Sensors wird im Mikrorechner durchgeführt. Die Differenz zwischen dem eingespeisten linearen Eingangssignal als gedachte vorgeschriebene Lernbewegung und dem bekannten tatsächlichen, gestörten, quasilinearen Ausgangssignal als Antwort wird im Mikrorechner gebildet und abgespeichert. Gleichzeitig ist dort die eingelesene Testfunktion gespeichert oder schon als Programm vorhanden. Im zweiten Schritt wird nach Abschalten der Testfunktion am Sensoreingang der Kreis im Sinne einer Regelung geschlossen, indem die Differenz aus dem obigen Vergleich dort so eingespeist wird, daß während des Meßvorganges jeder Meßwert entsprechend einem im Sinne der Aufgabe geforderten linearen Verhalten korrigiert wird und der Sensor damit erfindungsgemäß wesentlich verbessert linear im Meßbereich geführt ist. Das korrigierte Signal kann dann entweder wie allgemein üblich über Filter hinter dem Signalwandler, vorwiegend analog, entnommen werden oder auch digital aus dem Mikrorechner, sofort, nach Zwischenspeicherung oder aber auch — bei entsprechender Speicherkapazität und Schnelligkeit — nach einer Vorverdichtung und Vorverarbeitung der Meßinformation. Dabei kann auch ein Mehrkomponentensatz seismischer Sensoren von einem Mikrorechner im Sinne der erfinderischen Lösung geführt werden.

Im Gegensatz zu allen eingangs geschilderten mechanischen Abgleich- und Korrekturprozeduren, wie auch den festgewählten elektrischen Kompensationen, kann die Führung des Sensors nach der erfindungsgemäßen Lösung schnell, von außen abrufbar oder programmiert entsprechend äußeren oder inneren Einflüssen, wiederholt, und sukzessive entsprechend den Forderungen verfeinert werden. Das ist vorteilhaft möglich gegenüber dem bekannten Stand ohne Eingriffe in die direkte Umwelt des Sensors. Weder Druckabschirmungen, gasförmige bzw. flüssige Verfüllungen oder ein Vakuumbetrieb werden dabei beeinflusst. Außerdem kann der Sensor an seinem u. U. exponierten Installationsort, z. B. in einem Bohrloch, entfernt abgesetzt unter rauen klimatischen Bedingungen, oder in einem umfangreichen Meßsystem in bewegten Körpern, Fahrzeugen o. ä. ungestört bezüglich korrigierender Handhabungen verbleiben. Naturgemäß ist dieser so wiederholbare Lern-/Führungsvorgang drahtgebunden oder drahtlos fernbedienbar.

Es kann auch Gründe geben, den seismischen Sensor nur über einen begrenzten Ausschlagsbereich symmetrisch zur Gleichgewichtslage linear einlernbar zu führen und im weiteren Ausschlagsbereich mit einer verminderten Wandlersteilheit/Verstärkung zu messen. Das ist z. B. nützlich zur Bewältigung eines großen Dynamikbereiches bei Beibehaltung der Übertragungsfunktion für die Erdbebenwellen o. ä. Eingangsgrößen. Für eine solche zu Null symmetrische Kennlinie mit Degression im Bereich größerer Ausschläge  $x$  ist u. U. die sin-Funktion im Bereich  $-\frac{\pi}{2} < x < \frac{\pi}{2}$  geeignet, die in der Nähe von Null gut linear über einen kleinen Bereich ist und für größere  $x$ -Werte eine stetig abnehmende Steilheit hat. Die Werte  $-\frac{\pi}{2}$ ,  $\frac{\pi}{2}$  sind auszuschließen. Damit wird die Begrenzung oder Dynamikkompression für größere  $x$ -Werte durch eine exakt vorliegende analytische Funktion, die auch eine andere als die sin-Funktion sein kann, beschrieben und dadurch ist der Vorgang später bei einer Auswertung rechnerisch umkehrbar im Sinne einer Entzerrung. Das ist besonders dann gut und schnell durchführbar, wenn mit digitalen Werten im Meßsystem gearbeitet wird.

### Ausführungsbeispiel

Die Ausführung der erfindungsgemäßen Lösung für ein mikrorechnergeführtes Seismometer ist in Fig. 1 dargestellt. Das Seismometer in einer Komponente ist durch ein Gestell GS, ortsfest, eine seismische Masse M, einen symbolischen Hebel und eine Feder, einen Signalwandler W für die Wandlung der Relativbewegung  $x$  zwischen Gestell GS und Masse M und eine Spule-Magnet-Anordnung SPM zwischen Gestell GS und seismischer Masse M zur Erzeugung einer Dämpfung im Seismometer und als Rückstellorgan zur Regelung/Rückführung in bekannter Weise in seinen für die Erfindung wesentlichen Teilen skizziert.

Die Relativbewegung  $x$ , die in Fig. 1 symbolisch skizziert ist, wird im Wandler W in Spannungswerte umgesetzt und nach Filterung in einem Bandpaßfilter Fi für die seismischen Signale am Ausgang — analog A1 — zur Registrierung bereitgestellt. Vor dem Filter Fi zweigt das gewandelte Signal ab und gelangt in einen Analog-Digital-Umsetzer ADU, von dort in einen Mikrorechner, von dort über einen Digital-Analog-Umsetzer DAU und ein Widerstandsglied zum Regelkreisabgleich RA in das

Spule-Magnet-System SPM der dargestellten Seismometerkomponente K1. ADU und DAU sind so ausgelegt, daß dort auch die Wandler- bzw. Rückführungssignale von den weiteren Seismometerkomponenten K2, K3 umgesetzt werden können. Im an sich bekannten Mikrorechner sind die Ein- und Ausgabereinheit 1, ein Speicherbereich 2 und der Programmspeicher 3 hervorgehoben. Über 1 sind ADU und DAU mit dem Mikrorechner verbunden, außerdem Leitungen zur Bedienung und für ein Testsignal und den Digitalausgang A2 vorhanden. Im Programmspeicher 3 kann zur Realisierung der erfindungsgemäßen Lösung ein Führungsprogramm für den seismischen Sensor abgelegt werden. Das Seismometer in Fig.1 soll Signale in einem Bereich ...  $1\ \mu\text{m}$ – $1\ \text{mm}$  ... aufnehmen können und sich im vollen Installationszustand zur Durchführung exakter Messungen, insbesondere für einen kontinuierlichen Routinebetrieb, befinden.

Das so aufgebaute Seismometersystem mit zwischen dem Wandler W und Rückführungsglied SPM über ein Abgleichglied RA angeschlossenen Mikrorechner hat folgende dynamische Funktion. Im offenen Registrierbetrieb mit dem Ausgang A1 zeichnet das Seismometer bei Abwesenheit von Beben u.ä. seismischen Ereignissen die lokale seismische Unruhe, Mikroseismik, mit einer Amplitude von einigen  $\mu\text{m}$  verstärkt auf. Er hat aber die Möglichkeit, Signale bis zu  $\pm 1\ \text{mm}$  Ausschlag voraussetzungsgemäß aufzunehmen. Das ist der erste Schritt mit angeschlossenerem aber nicht in der Regelung wirkendem Mikrorechner. Dieser kann im ersten Schritt schon digitale Daten am Ausgang A2 aus dem Wandlerausgangssignal bereitstellen, er wirkt aber über den Ausgang nicht im Sinne einer Rückführung auf das Seismometer. Im zweiten Schritt, der über die Bedienungsleitung ausgelöst wird, gelangt ein Testsignal, das von außen eingespeist wird oder sich auch als Führungsprogramm im Programmspeicher 3 befinden kann, als Strom über die Rückführungseinrichtung SPM in das Seismometersystem. Das Testsignal ist vorzugsweise eine lineare Ablenkspannung vom Sägezahn- oder Dreiecktyp, mit einer gegenüber der Seismometereigenperiode sehr großen Schwingungsdauer (ca. 10fach), das das Seismometergehänge mit der seismischen Masse M zwischen den Maximalausschlägen  $\pm 1\ \text{mm}$  hin- und herschiebt. Es ist damit ca. 1000mal stärker als die Bodenunruhe. In der Aufzeichnung der Relativbewegung von M stört deshalb die Mikroseismik bei diesem Vorgang kaum. Das Seismometer zeigt nun je nach Konstruktion und innerem Abgleich eine im allgemeinen nichtlineare Antwort auf dieses lineare Testsignal. Aus dieser Antwort, die dem derzeitigen Arbeitszustand des Seismometers entspricht, und dem bekannten linearen Testsignal wird im Mikrorechner eine Differenzfunktion für den gesamten Ausschlagsbereich des Seismometers gebildet und in einem Speicherbereich 2 für Korrekturwerte abgelegt. Diese Werte, die zur Korrektur des nichtlinearen Verhaltens des Seismometers dienen können, werden über den DAU und einen Regelkreisabgleich RA zur Erfüllung der Stabilitätsbedingung des nunmehr geregelten Seismographensystems auf die seismische Masse phasenrichtig rückgeführt, wodurch sie entsprechend dem Abgleich und je nach Schnelligkeit der Umsetzung die nichtlineare Funktion des Seismometers in Richtung auf die durch das Testsignal vorgeschriebene lineare korrigiert. Das Testsignal ist dabei abgeschaltet. Das kann nach Genauigkeitsanforderungen in mehreren Schritten sukzessiv verfeinert werden. Sinnvoll ist jedoch in erster Näherung erst einmal eine Verbesserung des makroskopisch nichtlinearen Verhaltens mit einer Meßwertauflösung, bei der die mitregistrierte Mikroseismik nicht stört. Bei größerer Verfeinerung ist dann eine schwingungsgedämpfte/-isolierte Aufstellung angebracht.

Die Führung des Seismometers mit einem Testsignal mit komprimierenden Eigenschaften erfolgt nach Bedarf analog. Die Testsignale, zwischen denen man auch im installierten Zustand wählen kann, können sich im Speicher des Mikrorechners befinden, zusammen mit dem Korrektur- und Führungsprogramm. Im Meßzustand wird das Seismometer also entsprechend den Meßgrößen mit dem Mikrorechner auf ein verbessertes, korrigiertes, lineares Verhalten hin geführt und nach Abruf über das Programm oder von außen über die Bedienleitung nach Bedarf erneut überprüft als Testschritt. Diese Vorgänge sind vorteilhaft fernbedienbar, der Mikrorechner dient außerdem der Bereitstellung digitaler Daten und kann eine 2. und 3. Komponente eines Dreikomponentensatzes gleichzeitig ebenso führen. Diese Testung/Korrektur im Sinne eines Führungs- bzw. Lernvorganges ist eine flexible Prozedur, die in ihrer positiven Auswirkung die bekannten festen Korrekturmaßnahmen weit übersteigt. Sie erfolgt ohne Eingriffe in das installierte Sensorsystem und erfordert als Korrekturmaßnahme nur eine kurze Unterbrechung des Meß- und Registrierbetriebes, die nur wenig länger als die Periode des Testsignals ist. Das sind Zeiten, die wesentlich unter denen einer Korrektur durch Handhabungen am oder im Gerät liegen und, wie oben ausgeführt, überdies das thermisch und mechanisch eingelaufene seismische Sensorsystem nicht in dieser Hinsicht berühren.

**Aufstellung der verwendeten Literatur**

- 1 ADAMS, W. M.; A triggering digital Seismograph utilizing microprocessor with memory for preserving first-motion information, *Geophysical prospecting* **26** (1978) 2, 433-441.
- 2 ANDERSON, D. L. et. al.; Seismology on Mars, *Journal of Geophysical Research* **82** (1977) 28, 4524-4546.
- 3 ARCHANGELSKIJ, W. T.; Patent SU 530.295, Langperiodische Seismometer, GO1V 1/16, 22.04.75-30.09.76.
- 4 ARCHANGELSKIJ, W. T.; Patent SU 534.721, Vorrichtung zur Korrektur der Bewegung eines Seismometer-Gehänges, GO1V 1/16, 22.04.75-22.02.77.
- 5 BERLAGE, H. P. jun.; Seismometer, in *Handbuch der Geophysik*, Band IV, S. 299-526; Berlin 1932.
- 6 BIRCK, H.; Digitale Regelung durch Mikroprozessoren, *Elektronik* (1970); 3, 87-89; 4, 63-66, 68; 5, 63-66, 74.
- 7 ISERMANN, R.; Einsatz von Mikrorechnern in der Regelungstechnik, *Elektronik* (1980), H. 6, S. 79-84, 91.
- 8 LA COSTE, L. J. B. jun.; A new type long period vertical seismograph. *Physics*, 1934, S. 178-180.
- 9 MEISSNER, O.; Beitrag zur Theorie und Konstruktion von statischen Schweremessern. *Ztschr. f. Geophys.*, **11**, 221-234 (1935).
- 10 MEISSNER, O.; Beiträge zur Konstruktion eines Vertikalseismometers, *Gerlachs Beitr. z. Geophysik XIII.* (1937), S. 251-269.
- 11 MELTON, B. S.; The La Coste Suspension — Principles and Practice, *Geophys. J. R. astro. Soc.* (1971) **22**, 521-543.
- 12 PELKA, H.; Der Einchip-Mikrocomputer in Feingerätebau und Meßtechnik, *Feingerätetechnik & Meßtechnik*, — **87** (1979) H. 3; 5; 6; 7; 8, — **88** (1980) H. 1; 2; 3; 5; 6.
- 13 PROTHERO, W. A.; Earthquake signal processing and logging with a battery-powered microcomputer, *BSSA* **70** (1980) 6, 2275-2290.
- 14 RICHARDSON, L. F.; Springs for vertical seismographs. *Monthly notices of the Royal Soc. Geophysical Supplements I*, Nr. 8, 1926, S. 403-411.
- 15 SAVARENSKIJ, E. F., und D. P. KIRNOS; *Elemente der Seismologie und Seismometrie*, Berlin, 1960, 512 S.
- 16 TAMARU, T.; Ein neues Prinzip des Vertikalseismometers, *Phys. Ztschr.* **4**, 24, 1903, 637-640.
- 17 UNTERREITMEIER, E.; Zur Erhöhung der Störfreiheit langperiodischer Seismographensysteme, 199 S., Veröff. ZIPE Nr. 25, Potsdam, 1973.
- 18 WILIP, J.; Zur Theorie und Konstruktion von Vertikalseismographen, *Gerlands Beiträge zur Geophysik*, **19**, H. 4. (1928), 387-401.
- 19 WOSCHNI, E.-G.; Anwendungsmöglichkeiten von Minirechnern zur dynamischen Systemkorrektur, *Nachrichtentechnik Elektronik* — **27** (1977) H. 1, 27-29.
- 20 WOSCHNI, E.-G.; Korrekturmöglichkeit des Systemverhaltens durch Rechner — erhöhte Anforderungen an die Qualität der Originalsysteme, *messen · steuern · regeln* **24** (1981), H. 11, 640-642.

**Erfindungsanspruch:**

Mikrorechnergeführter seismischer Sensor mit einem Wandler zur Aufnahme der Relativbewegung zwischen ortsfestem Gestell und seismischer Masse, einer Rückführeinrichtung zur Beeinflussung der seismischen Masse und einem Mikrorechner zwischen Wandler und Rückführeinrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß der seismische Sensor in seiner Linearität dadurch wesentlich verbessert wird, daß er durch den Mikrorechner als Test mit Hilfe einer über den ganzen Arbeitsbereich oder einen ausgewählten Teil desselben linearen Testfunktion als Lernvorgang einmal geführt wird, seine nichtlineare Antwort als Differenz zur Testfunktion gebildet wird und er mit dieser Differenz im Meßbetrieb korrigiert, im Sinne einer abgleichbaren Rückführung über den Mikrorechner, als in der Linearität verbesserter Sensor dynamisch über den gesamten Arbeitsbereich oder einen engeren ausgewählten Teil desselben arbeitet und diese Führung wiederholt abrufbar ist und keine Eingriffe in den in seiner Installation und Isolation eingelaufenen Sensor erforderlich macht.  
Hierzu 1 Seite Zeichnungen

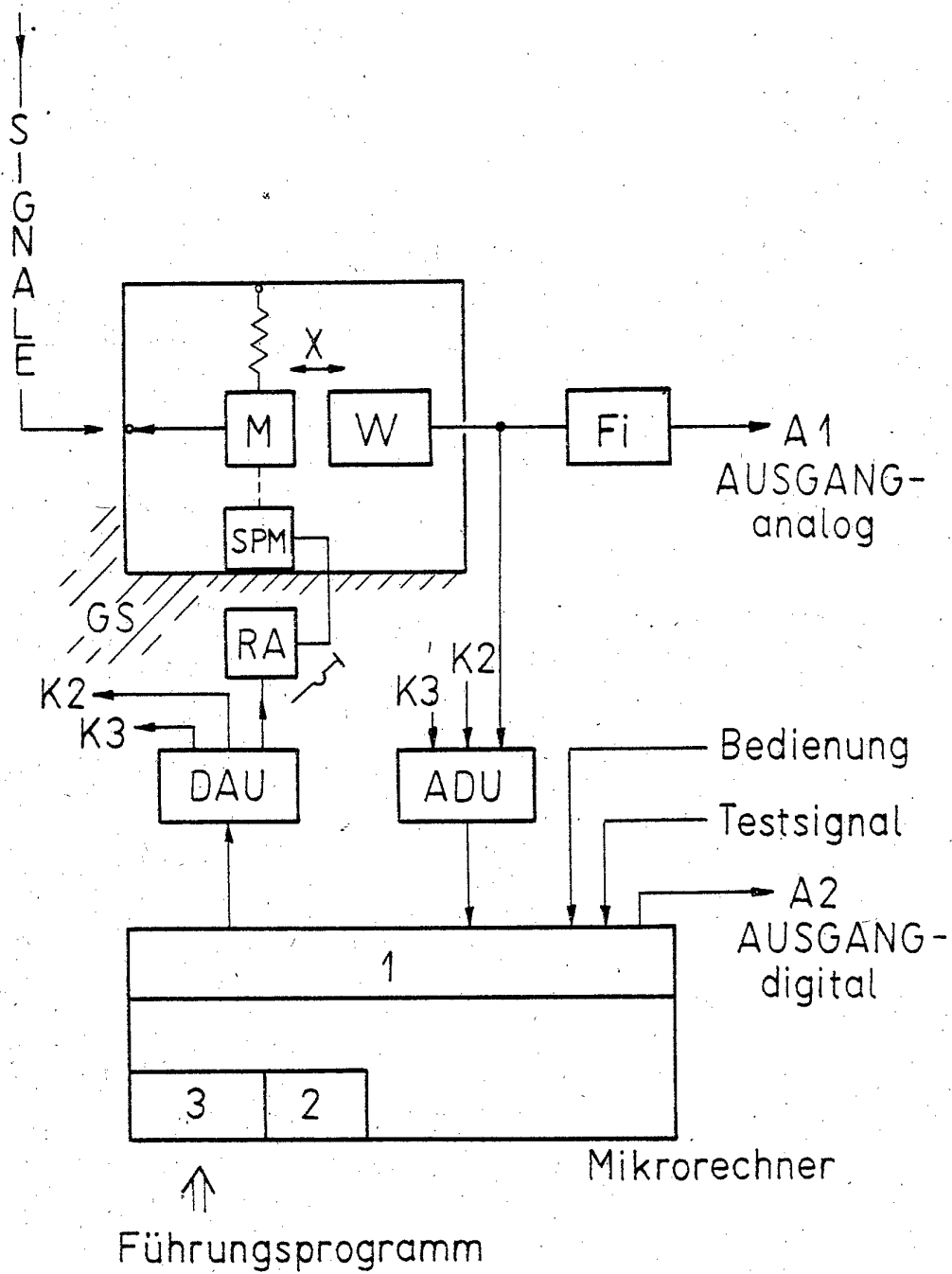


Fig.1