

DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK



(12) Wirtschaftspatent

Teilweise bestätigt gemäß § 18 Absatz 1
Patentgesetz

PATENTCHRIFT

(19) **DD** (11) **216 332 B1**

4(51) G 01 V 13/00
G 01 P 21/00
G 01 V 1/16

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP G 01 V / 251 057 8	(22)	19.05.83	(45)	24.06.87
				(44)	05.12.84

(71) Akademie der Wissenschaften der DDR, 1080 Berlin, Otto-Nuschke-Straße 22/23, DD
(72) Unterreitmeier, Erhard, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Schmidt, Manfred, Dr. rer. nat.; Bohl, Wolfgang, DD

(54) **Verfahren zur iterativen Prüfung und Eichung von Seismographen**

ISSN 0433-6461

7 Seiten

Patentansprüche:

1. Verfahren zur iterativen Prüfung und Eichung von Seismographen, speziell elektronischen Seismographen sowie verwandten seismischen Sensoren, die mit einem Wegaufnehmer, einer Dämpfungsvorrichtung bzw. einem Rückstellglied ausgerüstet sind und eine Eigenperiode T_s sowie eine Dämpfung α_s aufweisen und zur Aufnahme eines an sich bekannten Wegnormals geeignet sind, und die mit durch einen Funktionsgenerator erzeugten Testsignalen beaufschlagt werden, deren Wirkung mit einem x,y- oder y,t-Schreiber registriert wird, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Prüfung und Eichung sich in drei einzelnen aufeinanderfolgenden, nicht umkehrbaren speziellen Schritten vollzieht, deren Resultat jeweils Korrekturmaßnahmen nach sich zieht, wobei im 1. Schritt mit an sich bekannten Mitteln im betriebsfähigen Seismographen unter Einsetzung des Wegnormals die Wegaufnehmer-Linearität über den Arbeitsbereich überprüft und eingestellt wird, und im 2. Schritt mit dieser gesicherten Linearität des Wegaufnehmers die elastischen Bindungen zwischen Gestell und Gehänge des Seismographen sowie die Linearität der Dämpfungsvorrichtung bzw. des Rückstellglieds bei passiv mitbewegtem Gehänge nach Entlastung der Feder bzw. Neigung des Seismographen dadurch geprüft und nach Korrektur gesichert werden, daß als Testsignal ein lineares Signal mit einer Periode T_G sehr viel größer als T_s über das Rückstellglied das Gehänge im Gestell über den Arbeitsbereich weg bewegt und die Registrierung aus dem linearen Wegaufnehmer nach dem 1. Schritt auf Sprünge im Verlauf untersucht und ihre Linearität bewertet wird, und im 3. Schritt mit den gesicherten Aussagen des 2. und 1. Schritts der Seismograph im Betriebszustand um die geforderte Gleichgewichtslage herum und über den vollen Arbeitsbereich bei vorgegebener Eigenperiode T_s und Dämpfung α_s durch ein, als Testsignal dienendes lineares Signal mit einer Periode T_G von wenigstens dem Zehnfachen der Eigenperiode T_s über das Rückstellglied angesteuert und die Registrierung auf Sprünge, Kurvensymmetrie und Linearität ausgewertet wird und die Auswertung zu an sich bekannten Korrekturmaßnahmen herangezogen wird.
2. Verfahren zur iterativen Prüfung und Eichung von Seismographen nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß als Wegnormal eine Mikrometeruhr eingesetzt wird.
3. Verfahren zur iterativen Prüfung und Eichung von Seismographen nach Patentanspruch 1., **gekennzeichnet dadurch**, daß als Testsignal ein Dreieckssignal eingespeist wird.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft das Gebiet der Seismographen, speziell das elektronischer Seismometer, und kann dort für eine Prüfung und Eichung eingesetzt werden. Dabei können die Seismographen in ihrer Hauptempfindlichkeitsrichtung vom horizontalen, vertikalen bzw. geneigt vertikalen Typ sein. Eine Anwendung ist auch für Geophone und Beschleunigungsmesser möglich, ebenso für Gravimeter und Inklinometer; bedingt auch bei Membranschwingern und bei Vibratoren.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Seismographen benutzen bekanntlich eine träge seismische Masse M , mit Hebeln und elastischen Bindegliedern/Drehgelenken exakt in einer Hauptempfindlichkeitsrichtung als Gehänge in einem Gestell reibungsfrei und bedämpft mit einer Eigenperiode T_s geführt, als Meßgrundlage und messen, erfassen, wandeln die sich zwischen Gestell und Gehänge durch äußere Signale ergebende Relativverschiebung oder deren zeitliche Ableitungen/1/. Die äußeren Signale sind dabei einerseits die Nutzsignale aus Erdbeben und bebenähnlichen Vorgängen und andererseits die Störsignale aus Temperatur- und Luftdruckänderungen, nichtseismische Untergrundneigungen und der zeitliche Einfluß auf das Meßsystem als Alterung der strukturellen Teile. Maßgeblich ist beim Seismographen, daß das resultierende Moment M_R , beim Drehschwinger, bzw. die Kraft beim translatorischen Schwinger, nur eine lineare Funktion des Ausschlages ist. Läßt sich das konstruktiv nicht erreichen, so dürfen die Abweichungen höchstens mit schwachen Gliedern in ungeraden Potenzen vom Ausschlag zum linearen Term hinzukommen. Die geforderte Linearität im Meßbereich hat zur Folge, daß die erste Ableitung des resultierenden Momentes nach dem Ausschlag, die Eigenperiode T_s , über den Meßbereich eine Konstante ist, wenn diese geforderte Linearität erreicht wird. Die Linearität ist notwendig, um nach der Auswertung der gewandelten Signale zu exakten und reproduzierbaren geophysikalischen spez. seismologischen Aussagen zu gelangen.

Deshalb ist der Abgleich der Linearität des Seismographen im Herstellungs-/Eichungs- bzw. Installationsprozeß und die Prüfung dieses Abgleichs von großer Bedeutung.

Eine nicht erreichte Linearität hat meist zwei negative Effekte: Wenn sich die Gleichgewichtslage des Gehänges, von M , im Gestell durch Störsignale ändert, dann variiert die Eigenperiode und damit die Bandbreite bzw. das Bandende des linearen Übertragungsbereiches des Seismographen zu langen Signal-Perioden hin, und es existiert real nicht die zur Auswertung exakt einmal ermittelte und verwendete Übertragungskurve des Seismographen, sondern eine mehr oder minder, nicht immer kontrollierbar, veränderte andere/9/. Außerdem bewirkt ein nichtlinearer Schwinger, daß Signale im Meßbereich um die mittlere geforderte Gleichgewichtslage GL unterschiedlich erfaßt und wiedergegeben werden; je nach Auslenkung im positiven oder negativen Ausschlagbereich zur GL . Das ist insbesondere beim Vertikalseismographen als Hinkbewegung bekannt/3, 4, 7/ und hat zu vielen neuen Konstruktionen von insbesondere langperiodischen Vertikalseismographen geführt. Während diese Probleme generell mit jedem Seismographen verbunden sind, treten sie jedoch mit höherer Astasierung, also bei höheren T_s -Werten oder bei Miniaturgeräten mit hoher Astasierung und mittleren T_s , verstärkt auf/15/ und hierbei insbesondere beim Vertikalseismographen. Neben den Vorschlägen zur Schaffung verbesserter, linearer, Seismographen, wie bei Vertikalseismographen dem Einsatz von zusätzlichen Federn/10, 13, 16/, der Verwendung der vorteilhaften Nulllängfeder nach LA COSTE/6/ und Kompensationsmethoden/1, 2/ ist auch der Feststellung der erreichbaren Linearität als Folge eines meist mechanischen Linearisierungsprozesses über verbesserte Methoden der Eichung und Prüfung/5, 12, 14/ im Laufe der

Entwicklung der Seismometrie nachgegangen worden. Dabei haben sich für den bekannten Stand typische Verfahrensweisen entwickelt, die allgemein angewendet werden/6, 8/. Angefangen vom mechanischen Seismographen, über die optischen, elektromagnetischen, elektrodynamischen bis hin zu elektrischen Seismographensystemen ist es üblich, zur Überprüfung der Eigenschaften im Sinne einer Eichung und Optimierung den im Betrieb gedämpften mechanischen Empfänger zu entdämpfen und mit seiner durch die Konstruktion und Astasierung erreichten Eigenperiode T_s frei schwingen zu lassen. Der Schwingungsablauf wird dann registriert, ausgewertet und daraus T_s , oder direkt, an einer Skala mit einer Lichtzeigeranordnung und Stopp-Uhr o. ä. Zeitmeßeinrichtungen, bestimmt. Dabei wird ein gefordertes T_s durch übliche Einstellvorgänge am Seismographen realisiert. Meist benutzt man dazu den Seismographen im offenen Zustand, d. h. ohne thermische bzw. Luftdruckkapselung und wertet Ausschläge des frei schwingenden Gehänges im Gestell aus, die weit größer als die üblichen Signale sind bzw. deren Maximalwerten im Arbeitsbereich entsprechen. Dann verlagert man durch Bedienmaßnahmen systematisch die Gleichgewichtslage GL schrittweise über den gesamten Arbeitsbereich, mißt dabei T_s und stellt die Abhängigkeit T_s von GL als Funktion dar. Die Einstellungen und den Abgleich z. B. der Vorspannlänge im Vertikalseismographen /6, 8/ wiederholt man so lange, bis es über einen hinreichend großen Bereich innerhalb des Arbeitsbereiches ein konstantes T_s gibt, dessen Randabweichungen zu geringeren T_s -Werten gehen und damit in M_R keinen Anlaß zur Hinkbewegung geben können.

Danach setzt man die projektierte Betriebsdämpfung des Seismographen ein und registriert. Über den ordentlichen Zustand des Seismographen überzeugt man sich durch Testsignale (Stoßtest, Ausschwingtest)/14/, die auch eine Auskunft über die Symmetrie des Schwingers geben. Sie sind meist so gewählt, daß sie die laufende Registrierung in ihrer Dynamik nicht übersteuern. Auch die Ermittlung der Übertragungskurve aus solchen Testsignal-Antworten des Seismographen durch entsprechende Datenverarbeitungsprozeduren ist bekannt.

Der Test eines Seismographen auf Vorliegen eines linearen Schwingers ist jedoch nach dem jetzigen Stand nur mittelbar über die vorliegenden Prüf- und Eichverfahren möglich. Es ist zwar inzwischen möglich/12/, auch völlig installierte und gekapselte Seismographensysteme mit elektrischen Methoden über die T_s -Abhängigkeit von GL auf Linearität zu prüfen und dann abzugleichen, und man kann auch hierzu die Größe der Schwingungen mehr den Signalen angemessen wählen sowie die gesamte Kurvendarstellung automatisieren, ist aber auch damit physikalisch keinen Schritt weitergekommen. Der Schluß von T_s auf M_R ist u. U. berechtigt, aber eigentlich nur bei völliger Linearität, und dann nur bedingt, weil im Arbeitsregime der Seismograph nicht mit T_s frei schwingt, sondern entsprechend einer geforderten Übertragungscharakteristik mehr oder weniger stark gedämpft ist. Das heißt über T_s wird ein Zustand abgetestet, der im Meßfall nicht vorliegt! Das ist ein ernster Mangel in der bekannten Situation, daß auf der Wandler-, Filterungs- und Auswerteseite hinter dem Sensor einerseits Aufwand, theoretische Auflösung und Signalverarbeitungsmöglichkeiten erhöht sind, andererseits aber zur Testung/Eichung für die Kenntnis und Kontrolle des Zustandes des Sensors, insbesondere seiner Linearität und ungestörten Funktion im Arbeitsbereich, keine verbesserten Lösungen erkennbar sind.

Außer der Kritik an der Bestimmung der Linearität über eine indirekte Methode der offenen T_s -Bestimmung des Seismographen, ist im Falle der geschlossenen Testung mit Testsignalen als Sprung- oder Stoßfunktion oder selektiven Signalen, zumeist als Sinussignale, im Übertragungsbereich vor allem zu bemängeln, daß sich bei diesem Vorgehen sämtliche Einflüsse des Systems — mechanischer Sensor, Wandlereigenschaften, Dämpfungs-/Rückführungseinrichtung — multiplikativ und nicht unterscheidbar im Testergebnis widerspiegeln.

Die derzeitigen Prüf- und Eichmethoden reichen nicht aus, um definitiv und wiederholbar für installierte Seismographensysteme und ähnliche Sensoren im Betrieb Aussagen zur Linearität und ungestörten Funktion im Meßzustand ohne Störung oder Unterbrechung der Funktion zu bekommen. Diese Aussage verschärft sich insbesondere für Seismographen vom vertikalen Typ, in denen die Form und Steilheit der Federkennlinie im infinitesimalen Arbeitsbereich der Federbelastung nur überschlägig bekannt/15/ ist und Methoden zu einer besseren Aussage nicht bekannt geworden sind.

Ziel der Erfindung

Die Erfindung hat das Ziel, durch eine verbesserte Eichung und Prüfung der Seismographen bezüglich Linearität und ungestörter Meßfunktion zu reproduzierbaren Geräteparametern und deren gezielter Korrektur zu kommen, die mehr eine objektive Basis für die Auswertung der erfaßten Signale in geophysikalischer/seismologischer Hinsicht sein können als es bisher der Fall ist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Prüfung und Eichung von Seismographen und verwandten Sensoren zu beschreiben, das so aufgebaut ist, daß es Einzelaussagen zu den Systemteilen ermöglicht, diese miteinander verknüpft und somit zu einer verbesserten Gesamtaussage zur Linearität und Meßfunktion der Geräte gelangt, in der die Einzelaussagen für sich bekannt sind, und aus der definierte Korrekturmaßnahmen und Handhabungen für die Erreichung eines optimalen Zustandes des Seismographen nach der Durchführung des Verfahrens ermittelt werden können, wobei zur Ermittlung der Einzelaussagen an sich bekannte akzeptable Testschritte herangezogen werden sollen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß vom indirekten Schluß aus der T_s -Kurve im Arbeitsbereich auf die mögliche Linearität des Seismographen abgegangen wird und vielmehr der Seismograph in seinem Arbeitszustand und Arbeitsbereich durch ein iteratives Prüf- und Eichverfahren getestet wird, welches auf einzelne Aussagen nacheinander und aufeinander aufbauend zu einer eindeutigen Aussage über den Meßzustand des Seismographen führt und das im wesentlichen durch 3 spezifische Schritte, im Sinne von Testetappen charakterisiert ist:

Ausgangspunkt ist als Prüfobjekt ein bekannter Seismograph in einem Zustand, der dem des angestrebten üblichen Meßzustandes nahekommt, und der insbesondere einen Wegaufnehmer, eine Dämpfungsvorrichtung und ein Rückstellglied zur Regelung — u. U. identisch mit der Dämpfungsvorrichtung — enthält und der die für den Einsatz vorgesehene Eigenperiode T_s und Arbeits-Dämpfung α_s aufweist und der mit durch einen Funktionsgenerator erzeugten Testsignalen beaufschlagt wird, deren Wirkung mit einem x,y- oder y,t-Schreiber registriert wird (Fig. 1).

Im 1. Schritt wird unter Benutzung eines äußeren Wegnormals, das mit dem Seismographen dafür gekoppelt ist, im Seismographen die Wegaufnehmerlinearität ermittelt und gegebenenfalls korrigiert. Die damit vorliegende akzeptable Linearität des Wegaufnehmers ist Voraussetzung für den nächsten Schritt.

Im 2. Schritt wird als Fortsetzung des 1. die Linearität der einzelnen Systemteile unter Verwendung der Wegaufnehmerlinearität getestet unter der Maßgabe, daß der eigentliche Sensor, das Gehänge im Seismographen nur passiv durch das von außen eingespeiste, als Testsignal dienende lineare Signal, dessen Periode sehr viel größer als die Eigenperiode des Seismographen ist, mitbewegt wird und sich bei diesem 2. Schritt eine Aussage über Linearität, Reibungsfreiheit, störfreie Funktion der Dämpfungsvorrichtung und/oder des Rückstellgliedes und über die störfreie und eindeutig elastische Funktion der elastischen Bindungen zwischen Gestell und Gehänge des Seismographen ergibt. Über den linearen Wegaufnehmer wird die Gehägebewegung registriert. Die Auswertung ermöglicht Maßnahmen zur eventuell notwendigen Korrektur. Die nur passive Mitbewegung des Gehänges im Gestell ist durch Federentlastung oder Neigung des Seismographen oder durch Hilfskräfte erreicht. Diese Entlastung ist soweit durchgeführt, daß das Gehänge sich an einer Grenze des Arbeitsbereiches befindet, bei vertikalen an der unteren, in Richtung der Erdbeschleunigung, mit entlasteter Feder.

Ergebnis des 2. Schrittes ist, u. U. nach Korrekturmaßnahmen, eine lineare Funktion der Dämpfungs-/Rückführungsvorrichtung und eine einwandfreie Funktion der elastischen Bindungen im Seismographen ohne Sprünge, Knickstellen und inelastische Verformungen.

Mit diesem Stand an geprüften Eigenschaften von Systemteilen nach den Schritten 1. und 2. wird der 3. Schritt der Testung durchgeführt. Dieser beinhaltet die direkte Abtestung/Prüfung/Korrektur der Linearität und ungestörten Funktion des Gehänges im Gestell als eigentlicher Sensor im geforderten Arbeitsbereich. Dazu ist der Seismograph durch Rücknahme der Maßnahmen zur Gehägentlastung wieder in seiner geforderten mittleren Gleichgewichtslage und wird durch das, als Testsignal dienende lineare Signal, über die Rückstell-/Dämpfungseinrichtung als Ergebnis von Schritt 2. linear angesprochen und seine Reaktion über die nach Schritt 1. lineare Wegmeßeinrichtung ermittelt und registriert.

Das Testsignal ist so gewählt, daß es eine wesentlich längere Periode T_G als die Eigenperiode T_s des zu testenden Seismographen hat und seine Amplitude so, daß das Gehänge über den gesamten Arbeitsbereich/Ausschlagsbereich ausgelenkt wird.

Vorzugsweise wird eine Dreiecksspannung mit gutem linearen Verlauf und mit $T_G > 10T_s$ eingespeist (Fig. 1). Die so erhaltene Kurve, die man als eine Wobbelkurve ansprechen kann, wird registriert und ausgewertet. Da $T_G \gg T_s$ ist, wird der Seismograph weit ab seiner Resonanzstelle und an einer Stelle der Übertragungskurve durch das Testsignal beeinflußt, wo die Auslenkung direkt proportional der Beschleunigung und dem eingespeisten Strom des Testsignals ist.

Bei dem Durchfahren des kompletten Seismographen im Arbeitszustand durch das Testsignal ergibt sich als Reaktion nach Auswertung der Wobbelkurve eine Aussage darüber, ob der Seismograph mit Testsignal — anstelle der sonst auftretenden Bodenbeschleunigungen — sich auch wie gefordert linear als Sensor verhält, wo seine Linearität aufhört, ob Symmetrie in der Kurve vorliegt, die Kurve Sprünge, Knicke o. ä. enthält und ob beim Hin- und Rücklauf mit eingespeistem Dreieckssignal die Kurve eindeutig ist oder sich durch vorher nicht erkennbares Materialverhalten der elastischen Bindeglieder zwischen Gehänge und Gestell im Sinne einer Hysterese aufspaltet.

Vorteilhaft kann hierbei, ausgenommen spätere Eingriffe oder Korrekturmaßnahmen, der Seismograph voll installiert und isoliert sein und aus der Ferne getestet oder wahlfrei als Überprüfung immer wieder untersucht werden auf Konstanz seiner Sensoreigenschaften. Dabei sind (Fig. 1) die entsprechenden Korrekturmaßnahmen im Verfahren, die u. U. mehrmals im Schritt zu durchlaufen sind wie angedeutet, aufeinander aufbauend und vorrangig — als Maßnahmen — am kritischen Vertikalseismographen erläutert.

Ausführungsbeispiel

Die Anwendung des Verfahrens erfolgte an einem triaxialen Seismographen vom LA-COSTE-Typ — geneigt vertikal — mit Verstellvorrichtungen für die Gleichgewichtslage grob, fein, für die Eigenperiode T_s , die Arretierung, die Federvorspannlänge und die Gelenkdrehung. Das Gerät wurde mit $T_s = 5 \dots 15$ s betrieben und war optimal zu prüfen und zu eichen. Zur Dämpfung (α_s) und Rückführung ist ein Spule-Magnet-System vorhanden und zur Wegmessung ein induktiver Wegaufnehmer. Der Seismograph ist so konstruiert, daß als Wegnormal eine Mikrometer-Uhr eingesetzt werden kann. Die Spule-Anschlüsse sind zur Stromspeisung von außen zugänglich, die elektrodynamische Konstante ist bekannt.

Der vorbereitete Seismograph, mit gewähltem T_s und α_s , als Prüfobjekt wird zur Durchführung des Verfahrens auf eine Basisplatte gestellt, die sich auf einem Sockel neigen läßt. Der Meßausgang des Wegaufnehmers ist mit Meßmitteln und einem X-Y-Schreiber gekoppelt, an der Dämpfungsspule befindet sich die Einspeisung des Testsignals aus einem in Periode T_G , Kurvenform und Amplitude einstellbaren Funktionsgenerator. Die Einspeisung ist bekanntermaßen so gewählt, daß die Dämpfung α_s des Seismographen nur innerhalb hinnehmbarer Toleranzen beeinflußt ist.

Im 1. Schritt der Prüfung und Eichung wird die Wegaufnehmer-Kennlinie aufgenommen. Dazu ist als Wegnormal die Mikrometeruhr zwischen Gestell und Gehäuse eingesetzt und arbeitet mit ihrer Federspannung gegen die Gleichgewichtslage, während die Arretiervorrichtung für deren Erhaltung eingesetzt wird. So ist mit der Arretiervorrichtung schrittweise oder kontinuierlich über den ganzen Ausschlagsbereich des Gehänges im Gestell die Kennlinie durch Vergleich von Mikrometeruhr mit der Meßinstrument-Anzeige am Wegaufnehmer zu ermitteln und nach Auswertung und Linearitätsanforderungen durch eine Justierung der Wegaufnehmer-Systemteile (Spule/Kern o. ä.) bzw. ihrer Lage relativ zum Gehänge zu linearisieren. Dieser mit an sich bekannten Mitteln durchgeführte 1. Schritt des Verfahrens ergibt ein lineares Verhalten zwischen Gehängeverschiebung und Ausgang des Wegaufnehmers und ermöglicht dadurch die eigentliche Weiterführung in den Schritten 2., 3., und ist von diesen als 1. Schritt nicht zu lösen. Mit Erreichen des linearen Zustandes wird die Mikrometeruhr als Wegnormal aus dem System genommen, der Seismograph befindet sich im Betriebszustand, kann dabei installiert und gekapselt sein, und das Ausgangssignal seines Wegaufnehmers repräsentiert mit geringen, akzeptablen Restabweichungen in Proportionalität genau die relative Verschiebung zwischen Gehäuse und Gestell. Davon wird im 2. Schritt konsequent Gebrauch gemacht. Hinzu kommt als zweite gesicherte Größe das bekannte Testsignal des Generators. Dessen Periode T_G wird sehr viel größer als die Eigenperiode T_s des Seismographen und damit auch weit größer als die möglicher Parasitärerschwingungen im mechanischen Meßsystem gewählt; etwa $T_G \approx 100T_s$, also für $T_s \approx 10$ s ein $T_G \approx 1000$ s. Kurvenform ist ein linearer Dreieckswellenzug. Der 2. Schritt ist so

angelegt, daß er zusätzlich zum 1., aber weiterhin kontrollierbar, Informationen über den Zustand des Seismographen erbringt, die zusammen mit an sich im einzelnen bekannten Justiermaßnahmen und ähnlichen Handhabungen eine Eichung/Prüfung/Entstörung des Systems ermöglichen. Deshalb wird im 2. Schritt als wesentliche Maßnahme die aktive Teilnahme des Gehänges an Vorgängen im Arbeitsbereich weitgehend eliminiert. Durch Federentlastung, Neigung oder zusätzliche Hilfskräfte, die in ihrer Anlage die Aussage nicht verfälschen dürfen, wird das vorher freischwingende Gehänge bis an den Rand des Arbeitsbereiches gerückt, beim Vertikal-/Triaxial-Seismographen durch Neigung oder Federentlastung an den unteren. Daher ist bei Einspeisung des Testsignals das Gehänge bei seiner Bewegung über den gesamten Arbeitsbereich nur passiver Teil, die Feder wird mitbewegt, entwickelt aber gegenüber dem Meßfall als Schwinger nahezu keine Federarbeit. Gelingt diese Entlastung des Gehänges, dann wird durch das Testsignal und seinen Vergleich mit der Registrierung ermittelt, inwieweit die geforderte Linearität des Spule-Magnet-Systems als Dämpfungs- und Rückstellglied im Arbeitsbereich gegeben ist, ob darin evtl. Reibung auftritt und ob die elastischen Bindungen zwischen Gestell und Gehänge knickfrei und voll elastisch ausgeführt sind. Sprünge in der Registrierung zeigen darin vorhandene Fehler an; die Kurvenform gibt Auskunft über Linearität bzw. abweichendes Verhalten wie etwa Materialhysteresen oder plastische Vorgänge. Gegenmaßnahmen sind Reinigung/Justierung, gegebenenfalls der Austausch einzelner Federn oder Systemteile (Spule/Magnet/Spandrähte). Bei dem getesteten Seismographen ergaben sich die erforderlichen und erwarteten Aussagen, insbesondere zu einem Drehgelenk mit Torsionsdrähten, zum Spule-Magnet-System — und zur Feder — als Ausnahmefall. Darauf wird bei der Auswertung des 3. Schritts eingegangen.

Bei der Durchführung des 3. Schritts befindet sich das Gehänge in der geforderten Gleichgewichtslage (Arbeitsbereichsmittle) und das Gesamtsystem im meßbereiten Zustand. Wieder wird das 1 000-s-Dreiecksignal über das nun im 2. Schritt als linear nachgewiesene Spule-Magnet-System eingespeist und über das im 1. Schritt linearisierte Wegmeßsystem registriert. Wie die äußere Beschleunigung als Eingangssignal wirkt jetzt beim Durchfahren des Bereiches das Testsignal gegen das resultierende Gesamtmoment — das die Gleichgewichtslage aufrechterhalten will — und liefert in der Registrierung eine Aussage zur geforderten Linearität. Ergeben sich Sprünge beim Vertikal-/Triaxial-Seismographen nach positiven Aussagen des 1. und 2. Schrittes, so ist die tragende Schraubenzugfeder in der Vorspannlänge zu verändern, anderenfalls gegen eine andere auszuwechseln. Aus der Registrierung (Wobbelkurve) ist auswertbar, ob die Kennlinie, die die Arbeitsweise der trägen Masse im Gehänge in ihrer konstruktiven Realisierung als astasierter Seismograph belegt, linear, krumm oder teilweise linear, symmetrisch, mit akzeptablen Randfehlern ist. Aus der stark unsymmetrischen Kurve ergeben sich Maßnahmen zur Symmetrierung; beim triaxialen Test-Seismographen vom LA-COSTE-Typ sind diese Maßnahmen die Veränderung der Federvorspannlänge der Schraubenzugfeder im Umfang eines Feinabgleichs und/oder die Justierung des Drehzentrums relativ gegenüber dem Gestell.

Liegt Symmetrie vor, aber keine genügende Linearität, so ist zu diesen Maßnahmen nach Mißlingen zusätzlich ein Federwechsel in Betracht zu ziehen; u. U. zeigt sich das als Ausnahme schon im 2. Schritt.

Nach den Ergebnissen der Anwendung des Verfahrens auf obengenannten Seismographen ist festzustellen und positiv zu vermerken, daß dieses Verfahren überdies sehr empfindlich ist, sich auch zur wiederholten Überprüfung eines installierten Seismographen mit dem 3. Schritt anbietet und es auch gestattet, Feder/Gelenke u. a. Systemteile bezüglich Materialhysteresen zu untersuchen, zu selektieren und weiterzuentwickeln. Erweisen sich beim Vertikalseismographen die Federn als mit zu großer Hysterese behaftet, so tritt das u. U. schon im 2. Schritt auf, und es muß schon hiernach auf eine bessere Normal-Feder durch Wechsel zurückgegriffen werden. Anhand der Auswertung von Federhysteresen konnte auch hiermit nachgewiesen werden, daß sie sich im astasierten Seismographen mit dem Grad der Astasierung unvorteilhaft vergrößern. Die Ausführung und Anwendung des Verfahrens ist nicht an elektronische Seismographen gebunden, es ist ebenso realisierbar bei optischen Seismographen mit einem wegproportionalen optischen Geber und bei elektrodynamischen Seismographen mit einem optischen Geber als Eichhilfe in bekannter Weise.

Ebenso ist es bei verwandten Meßgeräten der Seismik möglich und nützlich, diese zur Durchführung des Verfahrens mit einem verfügbaren, vorzugsweise elektronischen, Wegmeßsystem nachzurüsten, um insbesondere die aussagekräftigen Schritte 2. und 3. zu durchlaufen.

Die durch das Verfahren erzielten Fortschritte in der Prüfung und Eichung von Seismographen, insbesondere hinsichtlich einwandfreier Funktion der Systemteile und der Linearität des Gesamtsystems, können die Grundlage für bessere Meßergebnisse und eine damit verbesserte Interpretation bilden.

Literatur

- 1 Archangelskij, W. T.: Langperiodisches Seismometer, SU 530.295, GO 1 v 1/16, 22. 4. 75–30. 9. 76
- 2 Archangelskij, W. T.: Vorrichtung zur Korrektur der Bewegung des Gehänges eines Seismometers, GO 1 v 1/16, 22. 4. 75–22. 2. 77
- 3 Berlage, H. P. jun.: Seismometer, in Handbuch der Geophysik, Band IV, Abschnitt IV, S. 299–526; Berlin, 1932
- 4 Galitzin, B.: Vorlesungen über Seismometrie, deutsch von O. Hecker, Leipzig 1914
- 5 Kisslinger, C.: Lecture notes on seismological instrumentation, Seismology Course 1966/67, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Tokyo 1967
- 6 La Coste, L. J. B.: A new type long period vertical seismograph, Physics, 5 (1934), S. 178–180
- 7 Malischewsky, P.; Teupser, Ch.; Ullmann, W.: Der Vertikalseismograph unter besonderer Berücksichtigung des Typs VSJ-I, Berlin 1970
- 8 Melton, B. S.: The La Coste Suspension — Principles and Practice, Geophys. J. R. astr. Soc. (1971) 22, 521–543
- 9 Rakitov, W. A.; Ponse, L.; Proskurjakova, T. A.: Der Einfluß der Änderung der Konstanten einiger Seismographentypen auf ihre Amplituden-Frequenz-Charakteristik (russ.). Fizika Zemli (1970) 11, S. 76–81

- 10 Richardson, L. F.: Springs for vertical seismographs,
Monthly notices of the Royal
Soc. Geophysical Supplements I,
Nr. 8, 1926, S. 403–411
- 11 Savarenskij, E. F.; Kirnos, D. P.: Elemente der Seismologie und Seismometrie,
Berlin, 1960, 512 S.
- 12 Streckeisen, G.: Untersuchungen zur Meßgenauigkeit langperiodischer Seismometer, Diplomarbeit,
Institut für Geophysik der ETH Zürich, 1974, 81 S.
- 13 Tamaru, T.: Über ein neues Vertikalseismometer,
Verh. der I. internat. Seism. Konf., Straßburg 1903, Beilage B4
- 14 Teupser, Ch.: Die Eichung und Prüfung von elektrodynamischen Seismographen,
Freib. Forschungsh. **C130** (1962)
- 15 Teupser, Ch.; Unterreitmeier, E.: Der elektronische Dreikomponentenseismograph EDS 1. Theorie, Aufbau und
Wirkungsweise,
Veröff. ZIPE Nr. 51, Potsdam (1977) 114 S.
- 16 Wilip, J.: Zur Theorie und Konstruktion von Vertikalseismographen,
Gerlands Beiträge zur Geophysik, 19, H. 4 (1928), 387–401

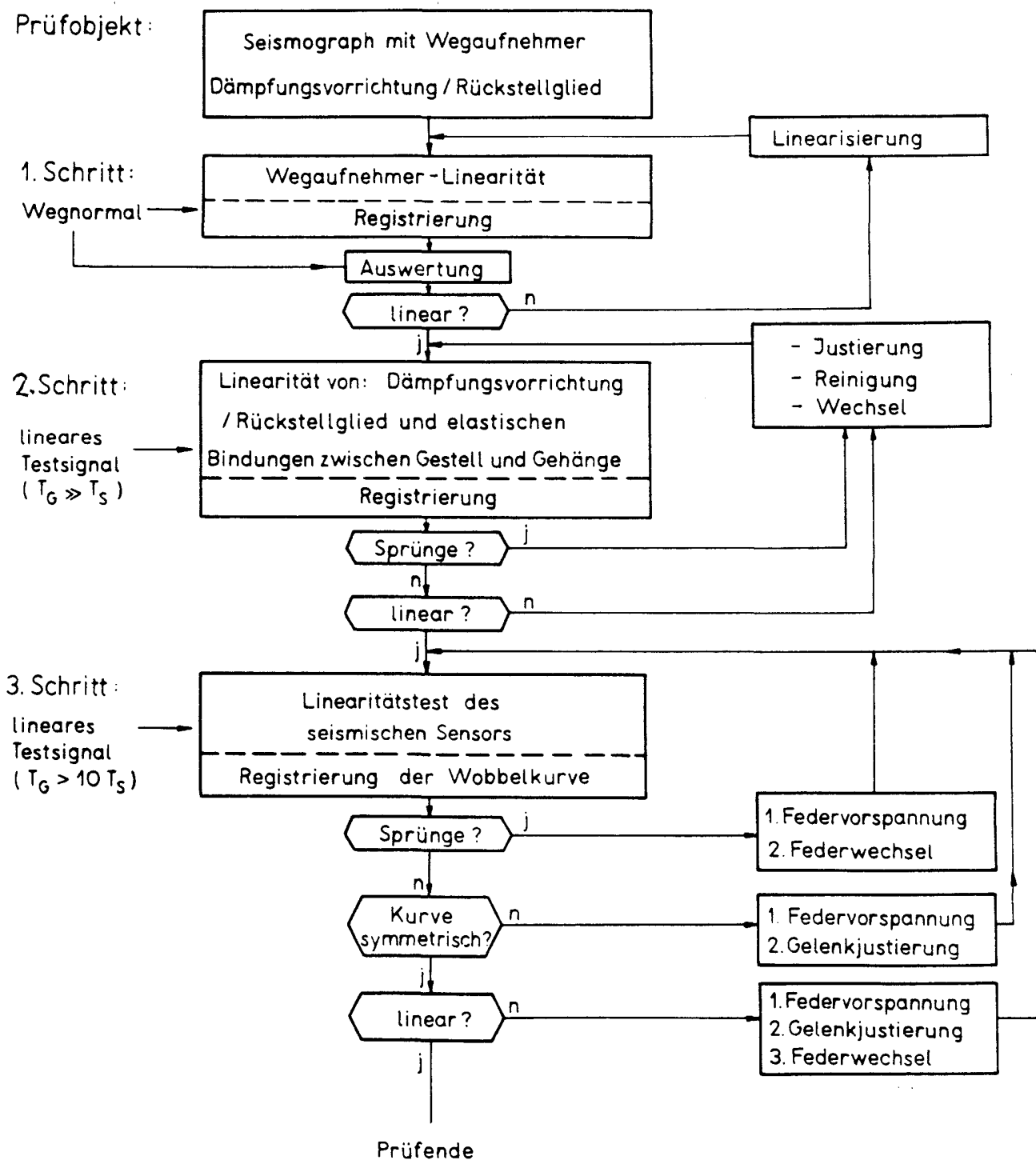


Fig. 1