

## Werk

**Jahr:** 1970

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 Z NAT 2148:36

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0036

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0036](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0036)

**LOG Id:** LOG\_0105

**LOG Titel:** MARS 66. Eine Magnetbandapparatur für seismische Tiefensondierung

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain there Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## MARS 66

### **Eine Magnetbandapparatur für seismische Tiefensondierung**

### **A Magnetic Tape Recording Equipment for Deep Seismic Sounding<sup>1)</sup>**

Von H. BERCKHEMER, Frankfurt a. M.<sup>2)</sup>

Eingegangen am 21. März 1970

*Zusammenfassung:* Es werden Aufbau und Wirkungsweise einer tragbaren Apparatur für seismische Tiefensondierung beschrieben. Die Aufnahme erfolgt nach dem Frequenz-Multiplex-Modulations-Verfahren auf  $\frac{1}{4}$ " Magnetband. Jede Aufnahmeeinheit besteht aus drei 2-Hz-Universalseismometern, den zugehörigen Verstärkern, Modulatoren, dem Magnetbandgerät und dem Zeitsignalempfänger. Signalfrequenzbereich 0,3—100 Hz. Der große Dynamikumfang von 60 db wird durch wirkungsvolle Kompensation der Bandgleichlaufschwankungen erreicht. Die Abspielung der Magnetbänder erfolgt in einer ortsfesten Zentrale. Die geophysikalischen Institute in der Bundesrepublik sind mit ca. 50 einheitlich kalibrierten Geräten dieses Typs ausgestattet. Einige Beispiele illustrieren ihre Anwendung. Eine Tabelle für optimale Verstärkung wurde aufgestellt.

*Summary:* A portable equipment for deep seismic sounding is described. Use is made of frequency-multiplex-modulation recording technics on  $\frac{1}{4}$ " magnetic tape. Each recording unit consists of three 2 cps-universal field seismometers, the corresponding amplifiers, modulators, the tape recorder and the time signal receiver. The signal frequency range is 0,3—100 cps. The high dynamic range of 60 db is reached by a very effective flutter and wow compensation. A playback center has been established. The geophysics institutes in the Federal Republic of Germany are equipped with 50 calibrated instruments of this type. Some examples illustrate their application. A table for optimum gain setting is given.

#### **1. Einleitung**

Im Laufe der vor mehr als 10 Jahren begonnenen tiefenseismischen Erforschung der Erdkruste in Mitteleuropa und im Alpenraum durch die geophysikalischen Institute der Bundesrepublik wurde immer deutlicher, daß die anfängliche sehr heterogene Instrumentierung der Meßtrupps und die bis dahin gebräuchliche photographische Registriertechnik den wachsenden Anforderungen der Seismogrammauswertung nicht

---

<sup>1)</sup> Dieser Bericht wurde ausgearbeitet im Auftrag der „GERMAN RESEARCH GROUP FOR EXPLOSION SEISMOLOGY“.

Gemeinschaftsarbeiten der deutschen geophysikalischen Institute im Rahmen der Förderungsprogramme der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Beitrag Nr. 125.

<sup>2)</sup> Professor Dr. H. BERCKHEMER, Institut für Meteorologie und Geophysik, Frankfurt a. M.

mehr gerecht wurde. Von der reinen Laufzeitauswertung der Ersteinsätze verlagerte sich das Interesse auf die Gesamtheit der Einsätze, und zwar nicht nur auf deren Laufzeiten, sondern auch auf Intensität und Spektralgehalt. Insbesondere im Bereich der Überholentfernung verschiedener Einsätze bilden sich oft komplizierte Interferenzsysteme aus, die nur durch Phasenkorrelation von Seismogrammen dicht benachbarter Meßpunkte einer Interpretation zugänglich sind.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend ergaben sich für die neu zu entwickelnden Meßapparaturen folgende Forderungen:

- a) Alle Aufnahmegeräte müssen in ihren dynamischen Eigenschaften übereinstimmen und bezüglich der Vergrößerung kalibrierbar sein.
- b) Der Frequenzbereich und der Dynamikumfang der Aufnahmeapparatur muß so groß sein, daß keine im Signal enthaltene Information verlorengeht.
- c) Die Meßwerte müssen als elektrische Größen auf Magnetband gespeichert werden, damit bei der nachfolgenden Auswertung alle Methoden der modernen Datenbearbeitung wie Normierung, Filterung, Bündelung, Korrelation und Frequenzanalyse, entweder analog elektrisch oder digital, Anwendung finden können.
- d) Die auf den Beobachtungsprofilen dicht (Abstand ca. 400 m) aufgestellten Seismometer sollen zu kleinen Registriergruppen zusammengefaßt werden. Mit je drei Seismometern pro Aufnahmeapparatur kann diese noch leicht transportabel ausgeführt werden. Dies gilt auch für die erforderlichen Verbindungskabel.
- e) Die Apparatur muß im Temperaturbereich von  $-15^{\circ}\text{C}$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$  betriebsfähig sein, um unter allen Wetter- und Klimabedingungen eingesetzt werden zu können.
- f) Die Aufnahmeapparaturen sollen die Möglichkeit bieten, während und nach der Registrierung wenigstens qualitativ bereits am Meßort die Stärke der Bodenbewegung beurteilen zu können.
- g) Zur ökonomischen Ausnutzung der Sprengung sind ca. 20—40 Aufnahmeapparaturen erforderlich. Daraus ergibt sich die Forderung nach niedrigen Anschaffungskosten.
- h) Die Abspielung der Magnetbänder soll in einer gut ausgestatteten, ortsfesten Abspielzentrale erfolgen.

## 2. Meßprinzip

Nach zahlreichen Vorversuchen mit verschiedenen Methoden der Magnetbandaufzeichnung [BAULE 1963, 1964; BEHRENS 1963; BEHRENS und PETÖFALVI 1964; BERCKHEMER 1963, 1964; PAULAT 1964; SCHEIDE 1964] entschied sich die mit der Geräteentwicklung beauftragte Arbeitsgruppe für das Prinzip der Frequenz-Multiplex-Modulation. Dabei moduliert die von jedem Seismometer abgegebene Meßspannung streng proportional eine ihr zugeordnete Trägerfrequenz. Die Träger werden additiv

gemischt und können nun einspurig auf einem üblichen Tonbandgerät gespeichert werden. Dies ist der *eine* wesentliche Vorteil dieses Verfahrens. Bei der Aufnahme wird den Signalträgern noch ein Pilotton konstanter quarzstabilisierter Frequenz beigemischt. Damit läßt sich einerseits die Bandgeschwindigkeit von Aufnahme- und Wiedergabegerät automatisch synchronisieren, was für exakte Laufzeitmessungen wichtig ist, und andererseits durch Subtraktion der Spannung des Pilotkanals von den Signalspannungen nach der Demodulation eine wesentlich wirkungsvollere Störkompensation erreichen, als dies beim Mehrspur-Frequenzmodulationsverfahren der Fall ist. Hierin liegt der zweite entscheidende Vorteil des gewählten Prinzips. Wesentliche Untersuchungen zu dem zuletzt angeschnittenen Punkt wurden von ST. PETÖ-FALVI vorgenommen.

### 3. Aufnahmeapparat

Seismometer, Verstärker, Modulatoren, Magnetbandgerät und Zeitsignalempfänger bilden die Aufnahmeapparat. Sie wird in ihren wesentlichen Teilen im folgenden kurz beschrieben.

#### 3.1 Seismometer

Der Schwerpunkt im Spektrum refraktionsseismischer Signale liegt für mittlere bis große Beobachtungsentfernungen im Frequenzbereich von 3 bis 20 Hz. Um aber einerseits auch noch sprengseismisch angeregte Oberflächenwellen, andererseits hochfrequente Schwingungen im Nahbereich der Sprengungen erfassen zu können, ist ein Seismometer mit möglichst niedriger Eigenfrequenz  $f_0$  und möglichst hochliegenden eventuell vorhandenen parasitären Resonanzfrequenzen erforderlich. Mit Rücksicht auf die geringe Stabilität tieffrequenter Systeme stellt ein Seismometer mit  $f_0 = 2$  Hz einen guten Kompromiß dar. Meßwertwandler nach dem bewährten Tauchspulprinzip sind bezüglich des elektromechanischen Wirkungsgrades, der Nullpunktstabilität und der Möglichkeit zur Bedämpfung der Gehängeschwingungen des Seismometers besonders vorteilhaft. Die Apparaturen wurden einheitlich mit den von H. BERCKHEMER 1960 konstruierten und von der Firma NORBERT STROPPE in Bad Dürkheim gebauten Feldseismometern FS 60 ausgerüstet, die seit mehreren Jahren für seismische Tiefensondierung erfolgreich eingesetzt wurden. Da eine Beschreibung in der Literatur noch ausstand, sollen die wesentlichen Konstruktionsmerkmale hier dargestellt werden.

Abb. 1 zeigt das Gerät in Betriebsstellung als Vertikalseismometer (*Z*-Stellung). Durch Umlegen auf die linke Stirnseite, Umsetzen der Fußschrauben (1) und Abheben des Federbügels (10) vom Pendelarm (5) durch Eindrücken des Knopfes (7) wird es in ein Horizontalseismometer (*H*-Stellung) verwandelt. Das Gehänge mit der Masse (9) von 1 kg hat die reduzierte Pendellänge ( $l = 6,3$  cm). Dementsprechend ist in *H*-Stellung  $f_0 = 2,0$  Hz. Der Federbügel, welcher in *Z*-Stellung das Gewicht des

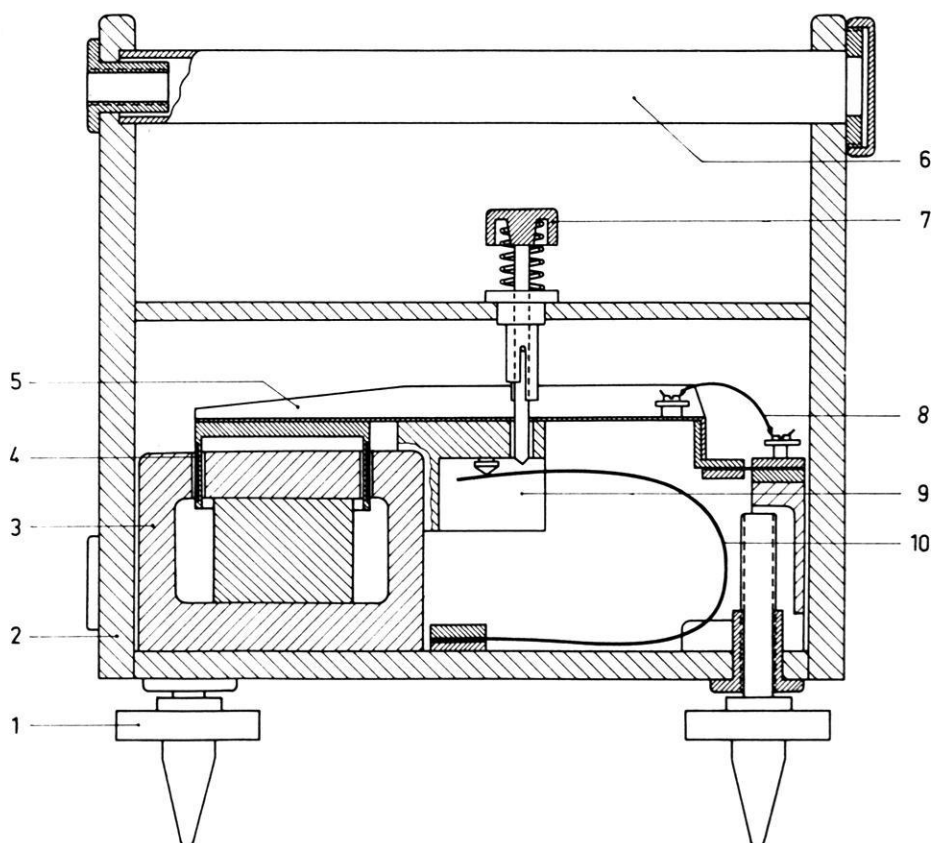


Abb. 1: Schnittzeichnung des Feldseismometers FS 60.

Section of field seismometer FS 60.

Pendels kompensiert, ist so bemessen, daß sich auch in dieser Stellung die Eigenfrequenz  $f_0 = 2,0$  Hz ergibt. Die Tauchspule (4) im Abstand  $2l$  von der Drehachse trägt zwei gleiche Wicklungen, die bei Serienschaltung einen Innenwiderstand von  $1\text{ k}\Omega$  ergeben. Die Ausgangsspannung für Frequenzen  $> 3$  Hz beträgt ca.  $2,0\text{ Vcm}^{-1}\text{s}$ . Dies genügt, um unter normalen Bedingungen selbst bei  $450\text{ m}$  langem nichtabgeschirmtem Verbindungskabel zum Registriergerät einen ausreichenden Störabstand zu erzielen. Zur Aufnahme extrem schwacher seismischer Signale kann ein in das Seismometer einbaubarer, rauscharmer Transistor-Vorverstärker mit 100facher Spannungsverstärkung verwendet werden. Der erforderliche Abschlußwiderstand für das Dämpfungsverhältnis  $23:1$  entsprechend dem Dämpfungsgrad  $\alpha = 0,7$  liegt bei  $1,5\text{ k}\Omega$ . Das Seismometer wird in Z-Stellung mit eingedrücktem Knopf (7) schwerkraftarretiert transportiert.

### 3.2 Verstärker

Die transistorisierten Vorverstärker und Modulatoren für 3 Seismometer und das Funkzeitsignal bilden einschließlich ihrer Stromversorgung eine Baueinheit. Sie wurden in ständigem engen Kontakt mit den Geophysikalischen Instituten von Ing. H. LENNARTZ, Tübingen, entwickelt und produziert.

Die Verstärker sind als zweistufige direktgekoppelte Differenzverstärker mit anschließendem Emitterfolger auf eine nominelle maximale Spannungsverstärkung von 2048 eingestellt. Der Eingangswiderstand läßt sich ohne Einfluß auf die Verstärkung im Bereich 0,1 bis 10 k $\Omega$  auf die gewünschte Seismometerbedämpfung abstimmen. Der rauscharme Doppeltransistor BCY 55 hält den elektrischen Störpegel des Verstärkers unter 0,1  $\mu\text{V}_{\text{eff}}$  bezogen auf den mit 1 k $\Omega$  abgeschlossenen Verstärkereingang. Um die quantitative Auswertung der Registrierungen zu erleichtern, wird die Verstärkung nur in festen Stufen mit dem Faktor 2 auf den gewünschten Wert geteilt. Die Ankoppelung an den nachfolgenden Modulator erfolgt kapazitiv. Dadurch wird die untere Grenzfrequenz auf 0,2 Hz ( $-3$  db Grenze) festgelegt. Für den Fall starker Netzeinstreuungen auf Seismometer oder Kabel läßt sich ein Tiefpaß mit 20 Hz Grenzfrequenz einschalten. Vor und nach jeder Registrierung können durch Tastendruck elektrische Eichsignale von 100  $\mu\text{V}$  in Verstärkungsstellung  $2^8$ — $2^{11}$  und von 1 mV in Stellung  $2^5$ — $2^7$  auf den Verstärkereingang gegeben werden.

### 3.3 Modulatoren

Die Trägerfrequenzen der 4 Signalkanäle sind so gewählt, daß bei einem Modulationsgrad von  $\pm 15\%$  auftretende Summen- oder Differenzfrequenzen nicht in die Signalbänder fallen und jeder Kanal Signalfrequenzen zwischen 0 und 100 Hz übertragen kann. So ergeben sich die Trägerfrequenzen: 860 Hz, 2,1 kHz, 4,4 kHz, 9,5 kHz. Zwischen den beiden letzteren liegt noch ein quarzstabilisierter Pilotkanal mit 6,4 kHz.

Kernstück jedes Modulators ist der spannungsgesteuerte Oszillator (VCO). Er arbeitet hier nach dem Prinzip des astabilen Multivibrators (Abb. 2), dessen Frequenz durch die Kapazitäten C und die als spannungsabhängige Widerstände wirkenden Transistoren  $T_2$  bestimmt und proportional zur angelegten Signalspannung moduliert wird. Eine viergliedrige LC-Kette befreit die Grundfrequenz von höheren Harmonischen. Die Signalträger und der Pilotton werden in einem Operationsverstärker additiv und verzerrungsfrei gemischt. Im Ausgangssignal sind die einzelnen Träger mit 0,1  $\text{V}_{\text{eff}}$  enthalten. Ein Signal von  $\pm 200$  mV am Modulatoreingang erzeugt einen Trägerfrequenzhub von  $\pm 15\%$ . Mit dem eingebauten Meßgerät können die Trägerfrequenzen, die Ausgangspegel einzeln und gemischt sowie die stabilisierte Versorgungsspannung und die Batteriespannung geprüft werden.

Die 3 Verstärker und 4 Modulatoren sind einschließlich der für 8—10 Betriebsstunden ausreichenden 6 Flachbatterien mit je 4,5 V in einem spritzwasserdichten Stahlblechgehäuse von  $34 \times 25 \times 22,5$  cm eingebaut. Das Gewicht beträgt 14 kg. Neuerdings hat die Firma LENNARTZ das Gerät auf etwa halbe Bauhöhe reduziert.

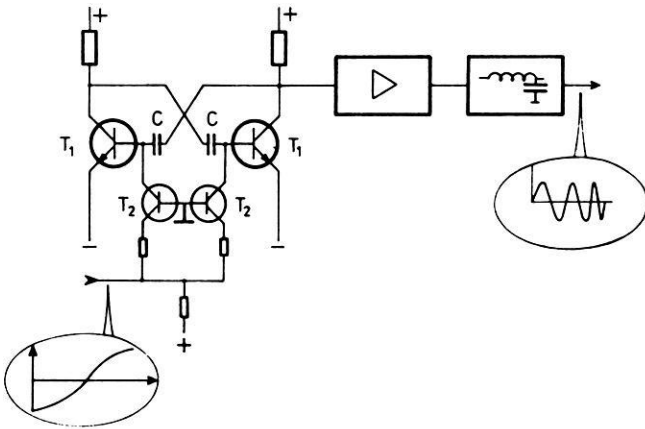


Abb. 2: Spannungsgesteuerter Oszillator (VCO).

Voltage controlled oscillator (VCO).

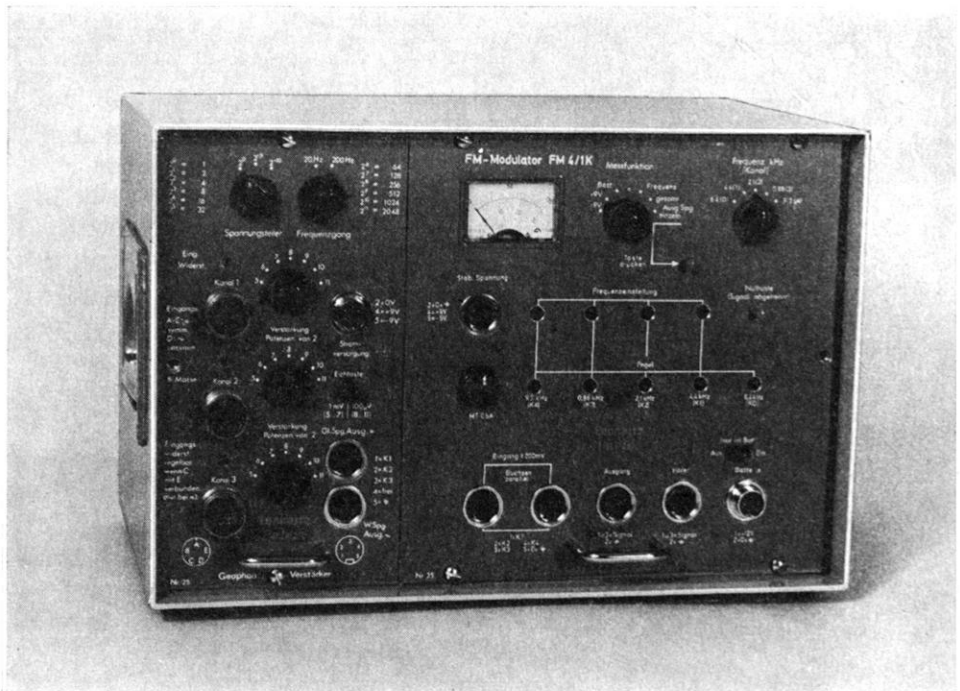


Abb. 3: Frontansicht der Verstärker- und Modulator-Einheit.

Front view of amplifier- and modulator unit.

Nachjustierungen haben sich bei monatelangem Betrieb im allgemeinen als überflüssig erwiesen. Abb. 3 zeigt die Verstärker- und Modulareinheit mit ihren Bedienungselementen.

### 3.4 Magnetbandaufnahmegerät

Prinzipiell eignet sich jedes batteriebetriebene  $\frac{1}{4}$ "-Einkanal-Tonbandgerät mit Bandgeschwindigkeiten von 9,5 und 19,05 cm/s für die Aufnahme des Trägergemischs. Fast ein Dutzend Geräte verschiedener in- und ausländischer Hersteller wurden auf ihre Eignung hinsichtlich der mechanischen und elektronischen Zuverlässigkeit, des Störpegels und insbesondere hinsichtlich des Verhaltens bei tiefen und hohen Umgebungstemperaturen geprüft. In seiner Preisklasse hielt lediglich der Typ 4000 Report-L der Firma UHER-München allen Anforderungen stand. Die Geräte konnten ohne jede Änderung verwendet werden und haben sich bei mehr als 1000 Registrierungen seither bewährt. Eine qualitative Beurteilung der Stärke des seismischen Signals ist mit etwas Übung während und nach der Aufnahme durch Abhören der Tonhöhenchwankungen der Träger auch ohne Demodulation leicht möglich. Die „Beschriftung“ der Magnetbänder erfolgt am Meßort durch Aufsprechen der wesentlichen Daten über Mikrofon.

### 3.5 Zeitsignalempfänger

Seit etwa 4 Jahren strahlt der Langwellensender HBG bei Genf auf der Frequenz 75,0 kHz im A1-Betrieb kontinuierlich Sekundensignale mit Minuten- und Stundenkennung aus. Der Spezialempfänger T75A der Firma PATEK PHILIPPE erlaubt mit seiner eingebauten Ferritstabantenne einwandfreien Zeitsignalempfang im Bereich der Bundesrepublik und im gesamten Alpenraum. Selbst in Schweden und Süditalien war, sofern sich keine Störquellen in der Nähe befanden, noch guter Empfang möglich. Der Empfänger hat als Ausgangsstufe einen Schmitt-Trigger, wodurch die Sekundensignale unabhängig von der Empfangsfeldstärke als Rechteckimpulse von 0,1 s Dauer und 8 V Spitzenhöhe geliefert werden. (Minuten sind durch Doppelimpulse, Stunden durch Dreifachimpulse gekennzeichnet). Über einen Spannungsteiler wird der 9,5 kHz-Kanal des Modulators damit voll angesteuert. Jede Aufnahmeapparatur ist mit einem Empfänger T 75 A ausgestattet. Gelegentlich wird auch das von Potsdam auf Kurzwelle (4525 kHz) ausgestrahlte Zeitzeichen benutzt, wobei die von der Firma PFITZNER in Bergen-Enkheim hergestellten Universalempfänger TELETRON KLE 304 T verwendet werden.

Die gesamte Aufnahmeapparatur ist mit Ausnahme der Seismometer und Kabel in einer wetterfesten Transportkiste eingebaut und kann von einem Mann getragen werden. Das Blockschaltbild Abb. 4 zeigt das Zusammenwirken der Teile der Aufnahmeapparatur. Zur Zeit verfügen die deutschen Institute über etwa 50 Aufnahmegeräte des beschriebenen Typs.



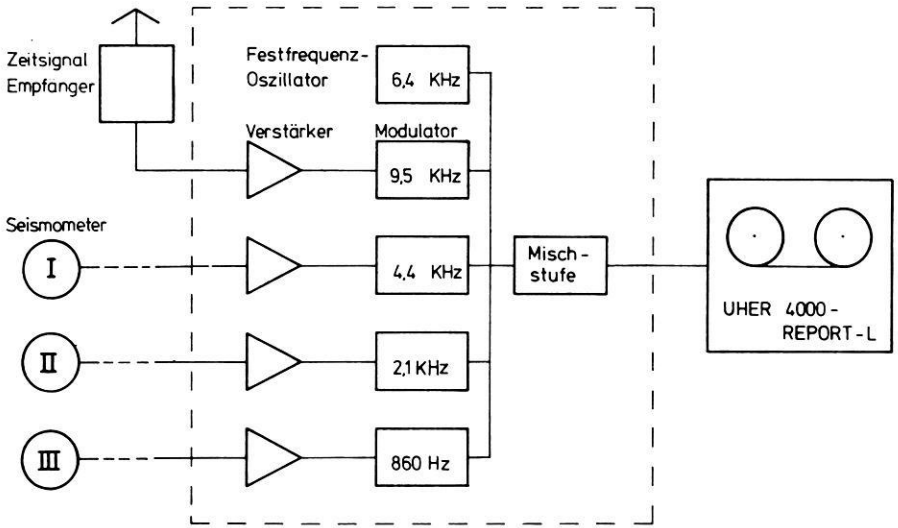


Abb. 4: Blockschaltbild der Aufnahmeapparatur MARS 66.

Bloc diagram of recording unit MARS 66.

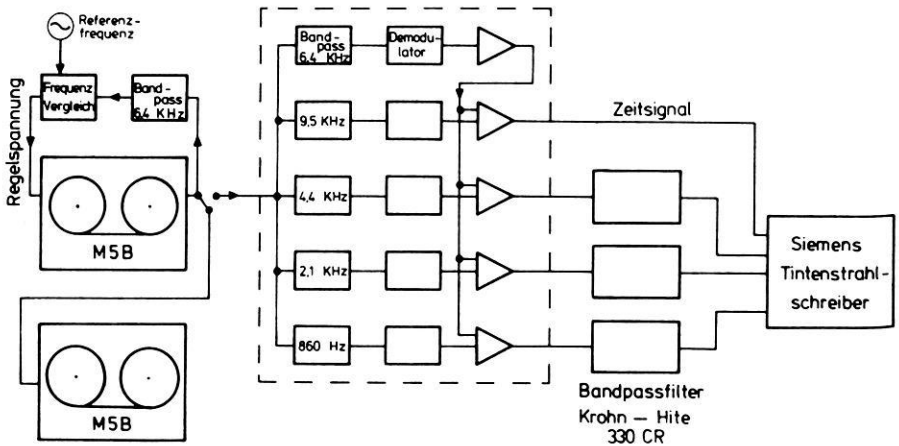


Abb. 5: Blockschaltbild der Wiedergabeanlage.

Bloc diagram of playback unit.

#### 4. Abspielanlage

Obwohl jedes der 11 an dem Forschungsprogramm partizipierenden Institute über eine eigene Abspielmöglichkeit verfügt, werden prinzipiell alle Magnetbänder an die Abspielzentrale im Geophysikalischen Institut der Universität Frankfurt a. M. geschickt. Dort werden sie auf längere Archivbänder überspielt und dann nach den Wünschen des jeweiligen Auswerters mit analog elektrischen Verfahren weiter bearbeitet. Ferner besteht am Geophysikalischen Institut der Universität Hamburg die Möglichkeit zur automatischen Digitalisierung der Meßdaten und Umsetzung auf IBM-kompatibles Magnetband.

Es folgt eine Beschreibung der wesentlichen Bestandteile der zentralen Abspielanlage, die im Blockschaltbild Abb. 5 dargestellt sind.

##### 4.1 Magnetbandwiedergabegeräte

Die Abspielung der Magnetbänder geschieht auf einer Studiomaschine vom Typ TELEFUNKEN M5, die mit dem Nachsteuergerät R91T der Firma LENNARTZ ausgerüstet ist. Damit läßt sich die Abspielgeschwindigkeit automatisch mit der Bandgeschwindigkeit bei der Aufnahme synchronisieren. Es können also auch bei unterschiedlichen Aufnahmegeschwindigkeiten keine Laufzeitfehler auftreten. Zur Synchronisation dient die auf dem Band gespeicherte Pilotfrequenz von 6,4 kHz. Sie wird im Verhältnis 1 : 2<sup>7</sup> geteilt und mit einer Referenzfrequenz von 50 Hz verglichen. Das Regelsystem des Tonrollenantriebs sorgt dafür, daß Pilotfrequenz und Referenzfrequenz stets in Phase sind. Zusammen mit einem zweiten Magnetbandgerät desselben Typs, jedoch ohne Nachsteuergerät, werden die Seismogramme auf Archivbänder umkopiert, wo sie für die spätere Bearbeitung zur Verfügung stehen.

##### 4.2 Demodulatoren

Das aus dem Magnetbandgerät kommende Frequenzgemisch wird zunächst mit Hilfe von Bandpaßfiltern wieder in die ursprünglichen einzelnen Signalträger aufgespalten. Im Demodulator (Abb. 6) wird das Trägersignal begrenzt und dann durch einen Schmitt-Trigger in eine Rechteckschwingung verwandelt. Diese wird differenziert und gleichgerichtet bei gleichzeitiger Verdoppelung der Impulszahl. In der anschließenden Transistorstufe werden die Impulse in solche konstanter Dauer umgewandelt. Aus ihnen wird durch Mittelwertbildung in dem nachfolgenden Tiefpaß das Meßsignal zurückgewonnen. Obwohl alle Demodulatoren einheitlich am Ausgang ein Tiefpaßfilter für den Signalfrequenzbereich 0—100 Hz besitzen, sind die verschiedenen Trägerfrequenzkanäle dennoch nicht völlig gleichwertig, da die Bandpaßfilter am Ausgang der Modulatoren und am Eingang der Demodulatoren unterschiedliche Laufzeitverzögerungen bewirken. H. LENNARTZ, Konstrukteur und Hersteller der Demodulatoren, hat insbesondere im Hinblick auf optimale Kompensation der Gleichlaufschwankungen durch zusätzliche Verzögerungsglieder eine Laufzeitübereinstimmung aller Kanäle auf  $\pm 1$  ms erzielt.

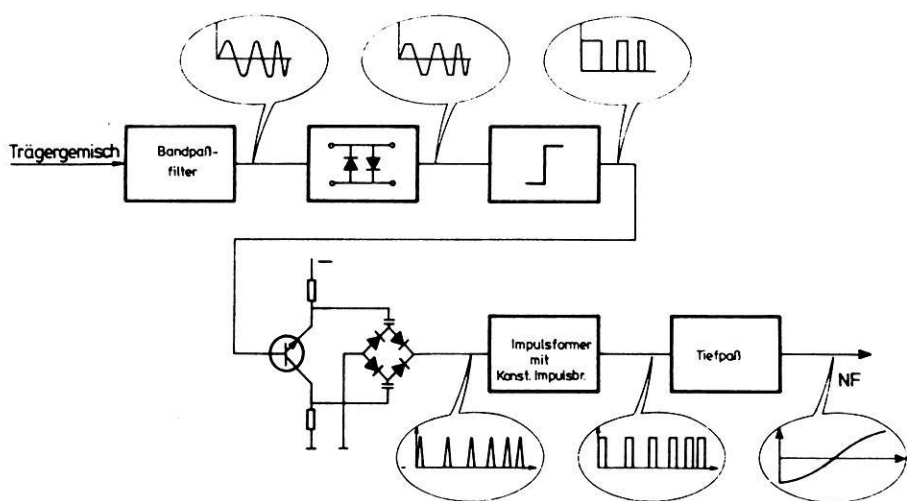


Abb. 6: Demodulator im Blockschaltbild.

Bloc diagram of the demodulator.

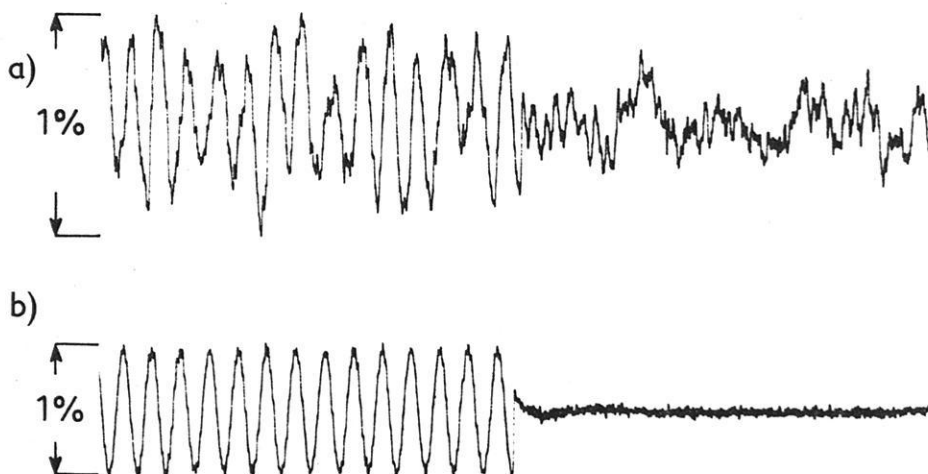


Abb. 7: Effekt der Band Ungleichlaufkompensation.

- a) 1% Signal 5 Hz, ohne Kompensation,  
 b) 1% Signal 5 Hz, mit Kompensation.

Effect of flutter and wow compensation.

- a) 1% signal 5 cps, no compensation,  
 b) 1% signal 5 cps, with compensation.

Der Pilotton von 6,4 kHz wird in derselben Weise demoduliert wie die eigentlichen Signalträger. Sein Ausgangssignal ist eine den Gleichlaufschwankungen des Bandgerätes proportionale Spannung, die den Differenzverstärkern am Ausgang der FM-Demodulatoren zugeführt wird (siehe Abb. 5). Auf diese Weise läßt sich bei allen Signalkanälen eine nahezu ideale Kompensation des durch Band-Ungleichlauf bedingten Störpegels erreichen. Es können noch Signale mit einem Amplitudenverhältnis 1 : 1000 übertragen werden, was einem Dynamikumumfang von 60 db entspricht. Dies ist als außerordentlicher Gewinn gegenüber der früher gebräuchlichen photographischen Registriertechnik anzusehen, wo kaum mehr als 40 db erreichbar waren. Ein Vergleich von Abb. 7a und 7b demonstriert überzeugend das durch die Kompensation erzielte Resultat bei 1%iger Signalaussteuerung des Modulators. Die Demodulatoren liefern beim Abschluß mit 100  $\Omega$  eine Ausgangsspannung von  $\pm 1$  V für den Frequenzhub von  $\pm 15\%$ .

Bezüglich der Weiterverarbeitung der demodulierten Signale sei auf die unter 7 folgenden Beispiele verwiesen.

## 5. Kalibrierung

Sämtliche 50 Aufnahmeapparaturen wurden zusammen mit dem Demodulator nach einheitlichen Richtlinien kalibriert. Die Seismometereigenfrequenz liegt innerhalb der Grenzen  $f_0 = 2 \text{ Hz} \pm 10\%$ . Das Dämpfungsverhältnis des Seismometergehänges wurde auf 12 : 1  $\pm 10\%$  entsprechend  $\alpha = 0,62$  festgelegt. Die Empfindlichkeit der Gesamtapparatur wird am Aufnahmeverstärker so einjustiert, daß bei der höchsten Verstärkerstufe ( $2^{11}$ ) die Schwinggeschwindigkeiten von 1  $\mu\text{m/s}$  eine Ausgangsspannung an dem mit 100  $\Omega$  abgeschlossenen Demodulator von 1,0 V, also Vollaussteuerung, liefert. Die Prüfung erfolgt auf dem Schütteltisch.

Bei dem Dynamikumumfang von 60 db ist demnach der kleinste noch erfaßbare Wert der Bodenschwinggeschwindigkeit 1 nm/s. Dies entspricht bei der typischen Signalfrequenz von 5 Hz einer Bodenamplitude von ca. 0,04 nm = 0,4 Å. Wegen der stets vorhandenen Bodenunruhe wird es nur unter extrem günstigen Stationsbedingungen möglich sein, diesen instrumentell gegebenen Grenzwert zu erreichen.

Der auf dem Schütteltisch gemessene Frequenzgang der Übertragungsfunktion der Gesamtapparatur ist in Abb. 8 dargestellt.

## 6. Optimale Verstärkungseinstellung

Die Wahl der Verstärkungseinstellung bei der Registrierung sprengseismischer Wellen ist dank des großen Dynamikumumfangs der Apparatur relativ unkritisch. Der häufig praktizierte Grundsatz, die Verstärkung so groß zu wählen, wie es die örtliche Bodenunruhe zuläßt (eine gerade noch hörbare Trägermodulation durch die Bodenunruhe bedeutet etwa 10%ige Aussteuerung des Modulators), wird aber besonders bei kleinerem Schußpunktabstand oder starken Sprengungen zur Übersteuerung des

Modulators durch das seismische Signal führen. Es erschien deshalb nützlich, aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial mit kalibrierten Instrumenten eine empirische Faustformel für die optimale Verstärkungseinstellung als Funktion von Entfernung, Ladung und Sprengmethode abzuleiten.

Als optimale Verstärkung wird diejenige bezeichnet, bei welcher die mittlere zu erwartende Maximalamplitude der Schwinggeschwindigkeit eine 40%ige Aussteuerung des Modulators bewirkt. Häufig wird die Maximalamplitude nicht im ersten Einsatz, sondern z. B. in der Gruppe der Weitwinkelreflexionen oder der Oberflächenwellen liegen. Die Amplituden der ersten Vorläufer betragen oft nur etwa 5–10% der

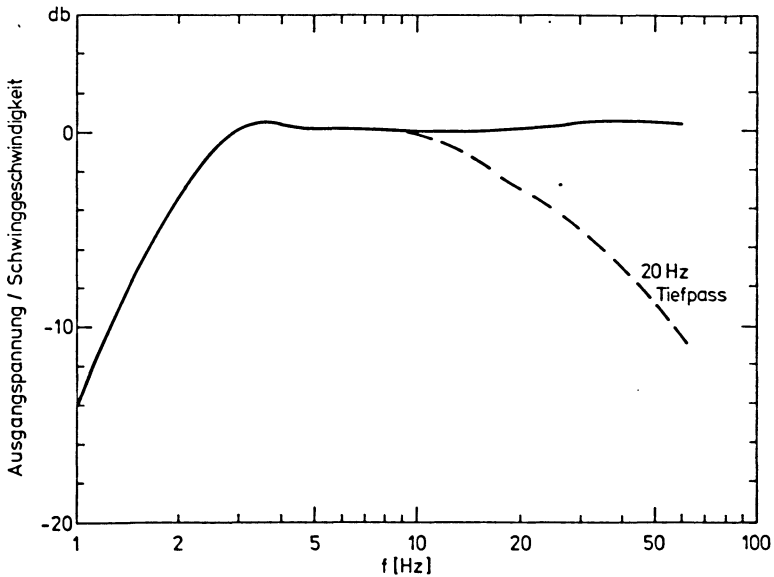


Abb. 8: Gemessener Frequenzgang der Gesamtanlage.

Over all frequency characteristic (measured).

Maximalamplitude des Seismogramms. Unter Berücksichtigung des Dynamikumfangs der Apparatur von ca. 60 db (1 : 1000) und der Erfahrungstatsache, daß eine 50%ige Übersteuerung des Modulators noch keine störende Signalverzerrung verursacht, folgt aus der obigen Definition, daß bei optimaler Verstärkung das tatsächliche Signal von dem mittleren zu erwartenden Signal in seiner Amplitude um den Faktor 4 nach oben oder unten abweichen darf.

Für die Bestimmung der mittleren zu erwartenden Maximalamplitude wurden mehr als 250 Seismogramme aus dem Schußpunktentfernungsbereich 4 km bis 900 km bei Ladungsmengen zwischen 100 kg und 22 t ausgewertet. Weiterhin wird unter-

Tabelle 1 : Zur Berechnung der optimalen Verstärkungseinstellung.  
For the determination of optimum magnification.

1a	Schußpunktentfernung km	Verstärkerstufe (bezogen auf Kammersprengung 1 t)
	2	3
	4	4
	8	5
	12	6
	16	7
	22	8
	30	9
	45	10
	70	11
	120	11,5
	170	12
	210	12,5
	250	13
	320	13,5
	400	14
	560	15
1b	Ladung (t)	Verstärkungszuschlag
	0,1	+ 3
	0,2	+ 2
	0,5	+ 1
	1	0
	2	- 1
	5	- 2
	10	- 3
	25	- 4
1c	Sprengart:	
	Kammersprengung	0
	Bohrlochsprengung (Prospektionstechnik)	- 2
	Unterwassersprengungen in Inlandseen	- 3
	Unterwassersprengungen im Küstengebiet	- 4

Beispiel: Unterwassersprengung im Küstengebiet, Ladung 2 t, Beobachtungsentfernung 220 km

aus 1 a 12,5

1 b - 1

1 c - 4

optimale Verstärkungseinstellung 7-8

schieden zwischen Kammersteinbruchsprengungen in festem Fels, Bohrlochsprengungen nach Art der Prospektionsseismik (Messungen im Rheinischen Schiefergebirge), Sprengungen in Inlandseen (Alpen) und Unterwassersprengungen auf dem ozeanischen Schelf (Skandinavien). Aus Kammersprengungen zwischen 3,5 und 22 t ergab sich der Zusammenhang zwischen Amplitude  $A$  der Schwinggeschwindigkeit und Ladungsmenge  $W$

$$A \sim W^{0,9}$$

in guter Übereinstimmung mit den in [MÜLLER, STEIN und VEES 1962] zusammengestellten Werten anderer Autoren.

In der Tabelle 1 (s. S. 13) sind die optimalen Verstärkungsstufen (als Exponenten der Basis 2) angegeben. Die Entfernungs-Verstärkungs-Tabelle 1a bezieht sich auf Kammersprengungen der Ladung 1 t. Zur Umrechnung auf die tatsächliche Ladungsmenge ist der entsprechende Wert von Tabelle 1b zu addieren. Zur Berücksichtigung der Art der Sprengung ist außerdem der Wert von Tabelle 1c zu addieren. Aus der Summe von 1a, 1b, 1c ergibt sich unmittelbar die optimale Verstärkungsstufe. Bei der nach Tabelle 1 ermittelten Verstärkungseinstellung würde keines der 250 zur statistischen Bearbeitung benutzten Seismogramme aus dem Meßbereich der Apparatur herausfallen. In jedem Fall ist darauf zu achten, daß durch die örtliche Bodenunruhe keine Übersteuerung der Apparatur erfolgt.

## 7. Beispiele für Registrierung und Datenverarbeitung

Abb. 9 ist der Typ des Standardseismogramms einer Meßstation 160 km vom Sprengpunkt bei Breitbandabspielung 1—20 Hz. Die drei Vertikalseismometer waren längs der Profillinie in Abständen von 400 m aufgestellt. Die demodulierten Signale wurden über drei Krohn Hite Bandpaßfilter mit dem Tintenstrahlschreiber SIEMENS OSCILLOMINK E aufgezeichnet.

Abb. 10 zeigt die Seismogramm-Montage eines 10 km langen Refraktionsprofils im Nördlinger Ries. Die Messungen wurden 1968 vom Institut für Angewandte Geo-

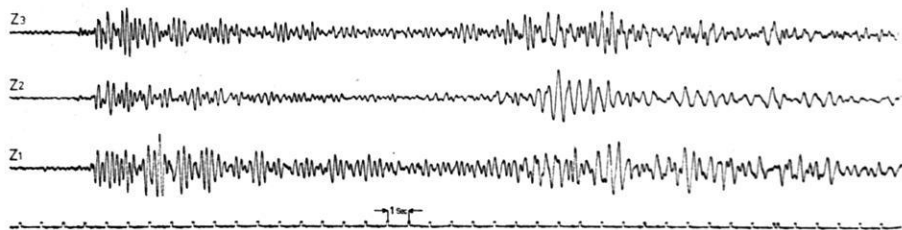


Abb. 9: Standardseismogramm einer Meßstation. Schußpunktabstand 160 km.

Standard seismogram of a station. Shot point distance 160 km.

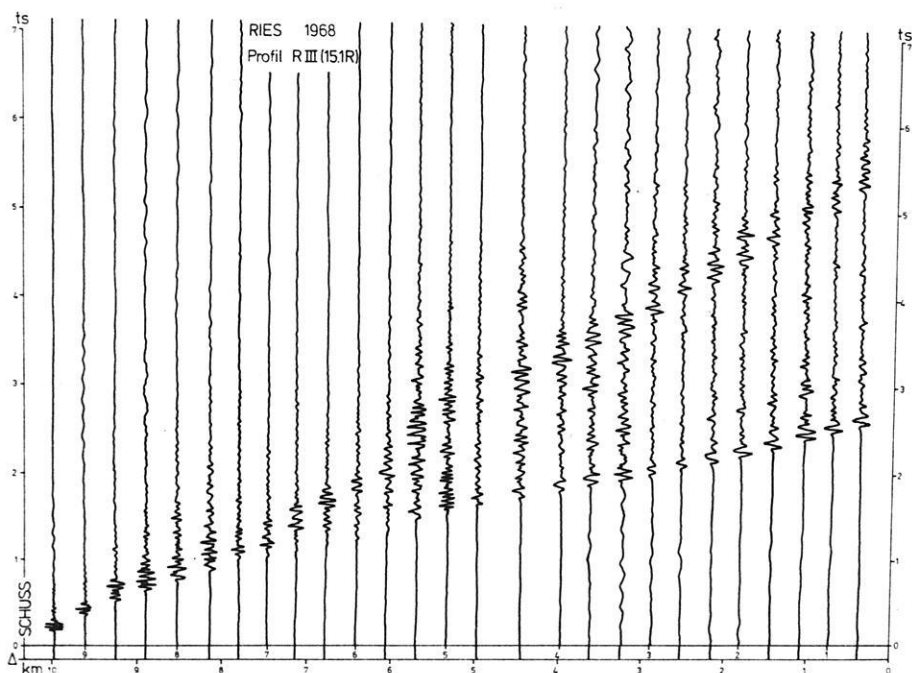


Abb. 10: Seismogramm-Montage eines Profils im Nördlinger Ries.

Seismogram section of a profile in the Nördlinger Ries.

physik der Universität München ausgeführt. Der Seismometerabstand betrug hier ca. 350 m. Das Beispiel zeigt, daß bei dieser Aufstellung eine Phasenkorrelation der Einsätze möglich ist.

Abb. 11 ist ein überzeugendes Beispiel für den Informationsgewinn durch einfache Frequenzfilterung. Das Seismogramm ist durch elektrische Einstreuungen aus dem Netz der Bundesbahn ( $16\frac{2}{3}$  Hz) bis zur Unkenntlichkeit überdeckt. Durch zweckmäßige Wahl der oberen Grenzfrequenz des Band Paß Filters (8 Hz) ließ sich ein auswertbares Seismogramm gewinnen.

Abb. 12 zeigt ein Beispiel für Signalanalyse und Verbesserung des Signal-Störverhältnisses mit digitalen Methoden.  $Z$  und  $H_{\parallel}$  sind die Komponenten der Bodenbewegung in der durch Lotrichtung und Herdrichtung definierten Einfallsebene. Die Seismogramme wurden mit einem Analog-Digitalkonverter in diskrete Werte verwandelt. Nach SHIMSHONI und SMITH [1964] stellt das Produkt

$$M^m = \sum_{i=0}^m H_{\parallel}^i \cdot Z^i$$



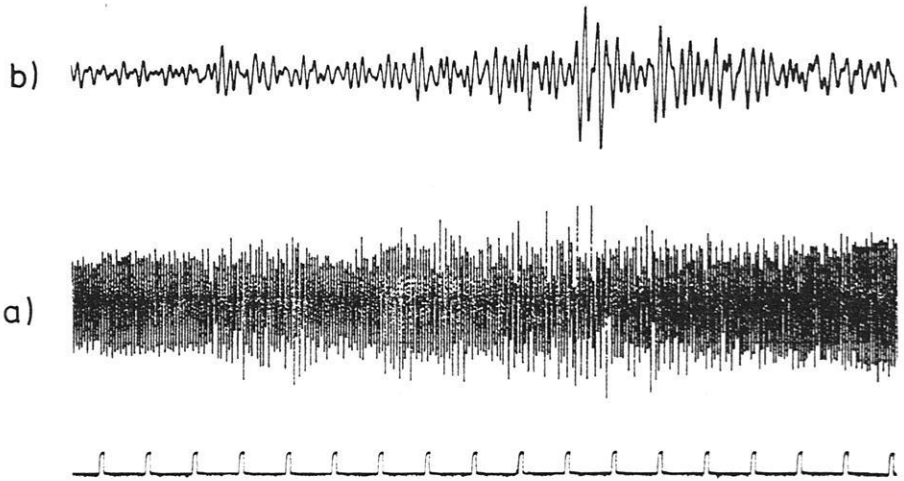


Abb. 11: Beispiel für Informationsgewinn durch Frequenzfilterung.

- a) Seismogramm überlagert von elektrischen Einstreuungen,
- b) Nach Anwendung eines Tiefpaßfilters.

Example for gain of information by frequency filtering.

- a) Seismogram obscured by electric infiltration,
- b) After low pass filtering.

ein Maß für die totale Signalstärke und den Grad der linearen Polarisation in der Einfallsebene dar.  $M$  verschwindet für Rayleigh-Love- und SH-Wellen und damit auch für wesentliche Anteile der Bodenunruhe. Für P-Wellen ist  $M$  positiv, für SV-Wellen ist  $M$  negativ. Durch die Produktbildung  $M \cdot Z$  werden die linear polarisierten P-Wellengruppen bei fast vollständiger Unterdrückung der Bodenunruhe sehr klar herausgearbeitet.

Dieses Beispiel stammt aus den systematischen Untersuchungen über seismischen Fernempfang durch das Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal und zeigt besonders deutlich den Vorteil der elektrischen Meßwerterfassung.

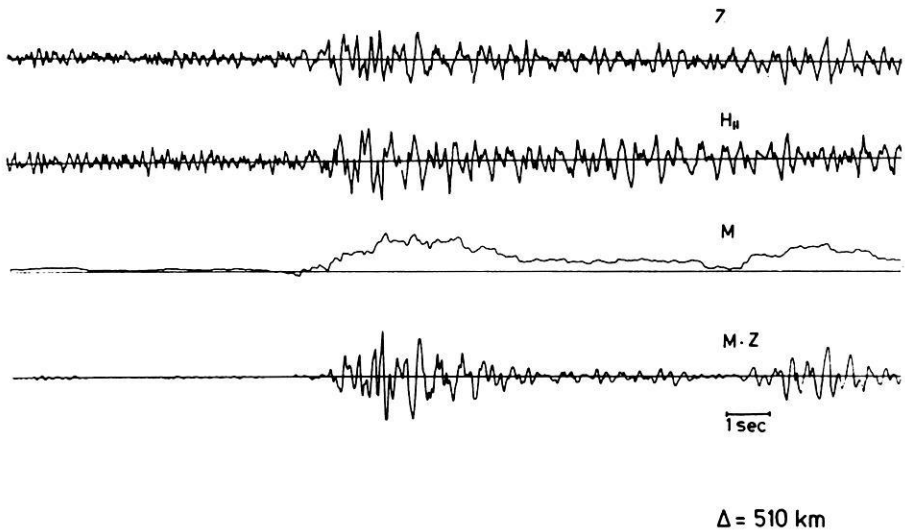


Abb. 12: Verbesserung des Signal-Störverhältnisses durch Anwendung der Polarisationsfiltermethode von SHIMSHONI und SMITH.

Improvement of signal/noise ratio by application of polarisation filter method of SHIMSHONI and SMITH.

### Schlußwort und Danksagung

Die Entwicklung der Apparatur MARS 66 (Magnetband-Apparatur für Refraktionsseismik Baujahr 1966) ist aus der engen Zusammenarbeit der im Forschungskollegium für die Physik des Erdkörpers (FKPE) zusammengeschlossenen geophysikalischen Institute und Herrn Ingenieur Herbert LENNARTZ und seinen Mitarbeitern hervorgegangen. Die Entwicklung und die Beschaffung der Geräte wurde ermöglicht durch die großzügige Unterstützung der STIFTUNG VOLKSWAGENWERK. Die Untersuchungen von Erdkruste und Erdmantel mit diesen Geräten erfolgen vorwiegend in dem von der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT getragenen Schwerpunktprogramm „Unternehmen Erdmantel“.

**Literatur**

- BAULE, H.: Seismische Registrierungen auf Magnetband mit Impulslängenmodulation. 2. Stuttgarter DFG-Kolloquium, 24. N. 30, 5 S., 1963
- : Erfahrungen mit batteriebetriebenen Magnetbandgeräten. Bad Kreuznacher DFG-Kolloquium, 12. V. 36, 4 S., 1964
- BEHRENS, J.: Die Magnetbandapparatur des Instituts für Geophysik der Bergakademie Clausthal. 2. Stuttgarter DFG-Kolloquium, 24. N. 31, 4 S., 1963
- BEHRENS, J. und ST. PETÖFALVI: Erfahrungen mit Magnetbandregisrierungen. Bad Kreuznacher DFG-Kolloquium, 12. V. 37, 4 S., 1964
- BERCKHEMER, H.: Aufzeichnung seismischer Signale auf Magnetband. 2. Stuttgarter DFG-Kolloquium, 24. N. 32, 3 S., 1963
- : Tätigkeitsbericht der Arbeitsgruppe „Magnetbandgerät“. Bad Kreuznacher DFG-Kolloquium, 12. V. 35, 4 S., 1964
- MÜLLER, ST., A. STEIN and R. VEES: Seismic Scaling Laws for Explosions on a Lake Bottom. Z. Geophys. 28, 258—280, 1962
- PAULAT, A.: Untersuchungen über das Pulsdauermodulationsverfahren. Bad Kreuznacher DFG-Kolloquium, 12. V. 39, 3 S., 1964
- SCHIEDER, R.: Versuche und Erfahrungen mit FM bei Magnetbandspeicherung. Bad Kreuznacher DFG-Kolloquium, 12. V. 38, 5 S., 1964
- SHIMSHONI, M. and S. W. SMITH: Seismic Signal Enhancement with Three-Component Detectors. Geophysics 29, 664—671, 1964