

M. SCHNEIDER

A VERTIKÁLIS INGA ALKALMAZÁSA FÜGGŐVONAL- INGADOZÁSOK KIMUTATÁSÁRA

A jelenlegi mérőtechnika lehetővé teszi, hogy szabadon felfüggesztett vertikális ingáknak a földi árapály okozta kitéréseit mérhessük. A függővonal ilyen ingadozása közepes szélességeken mintegy $\pm 0,015''$ nagyságú.

A kísérleti eszköz elvileg két egymás mellett felfüggesztett 2,5 m hosszú, 20 kg tömegű rúd, amelyek kitéréseit egy vivőfrekvenciás üzemi differenciáltranszformátor mérte és az értékeket 25 m távolságra vezetékek vitte át. A regisztrálás az Alt-Elisabeth mintabányában három hónapon át folyamatosan történt. Ellenőrzésül a függővonal ingadozását klasszikus módszerrel, horizontális ingákkal is regisztrálták ugyanabban a bányában.

A harmonikus analízisek eredményei és a műszer járása azt mutatják, hogy vertikális ingákkal függővonal-észlelés tartós üzemeltetéssel lehetséges. Az árapályösszetevőknek a horizontális és vertikális ingákkal nyert közepes harmonikus állandói jobban egyeznek egymással, mint azokkal, amelyek Schweydarnak 1910–1915 között a Reiche Zeche bányában végzett függővonal-észlelései adtak. Az eltérések okait az állomás környezetében levő kőzetek termoelektikus sajátosságaiban és tektonikai rendellenességekben keressük. Ezeket csak a bánya különböző helyein végzett tartós észlelésekkel lehet tisztázni.

Az eddigi tapasztalatok módot nyújtanak arra, hogy a készülék mechanikus részének méreteit jelentősen csökkentjük, a távvezeték hosszát pedig növeljük. Megfelelő szerkesztéssel a vertikális ingák fűrőlyukba helyezhetők. Ily módon mérsékelt költséggel süríthető az árapálykutatásra és a földkéreg recens mozgásának tanulmányozására szolgáló klinométer-állomások hálózata.

М. ШНЕЙДЕР

ИЗУЧЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТВЕСА ВЕРТИКАЛЬНЫМ МАЯТНИКОМ

Существующий уровень техники измерений позволяет с хорошей воспроизводимостью измерять отклонения свободно висящего маятника, связанные с отклонением отвеса за счет земных приливов, которые для средних широт составляют около $\pm 0,015''$.

Создано опытное устройство, состоящее в принципе из двух висящих друг около друга рычагов длиной 2,5 м и массой 20 кг. Отклонения последних измерялись дифференциальным трансформатором несущей частоты и передавались проводами на место измерения, находящееся на расстоянии 25 м. При помощи этого устройства в опытной шахте „Альт-Елизабет“ в течении трех месяцев непрерывно регистрировались отклонения отвеса в двух компонентах. Для проверки этих измерений в этой же шахте были установлены горизонтальные маятники, которые одновременно измеряли отклонения отвеса обыкновенным методом.

Результатами гармонических анализов и смещением нуля выявлена принципиальная возможность наблюдения в продолжительном режиме над отклонениями отвеса, при помощи вертикальных маятников. Сопоставление средне-гармонических

постоянных для отдельных частичных приливов показывает, что данные вертикального и горизонтального маятников совпадают между собой лучше, чем с данными Швейдера, проводившего наблюдения над отклонениями отвеса в шахте „Рейхе Цехе“ в период с 1910 по 1915 г.г. Предполагается, что эти различия обусловлены локальными различиями термоупругих свойств горных пород в окружности пункта наблюдений, а также тектоническими особенностями. Они могут быть выявлены только путем одновременного проведения продолжительных измерений в различных местах шахты.

Накопившийся опыт позволяет значительно уменьшить габариты механической части устройства и практически произвольно увеличить расстояние передачи. После решения соответствующих конструкционных вопросов вертикальный маятник может использоваться в скважинах. Таким образом создается возможность без больших затрат значительно расширить клинометрическую сеть для исследования земных приливов и для изучения современных движений земной коры.

M. SCHNEIDER

DAS VERTIKALPENDEL ALS INDIKATOR FÜR LOTSCHWANKUNGEN

Im Jahre 1643 versuchte der provencalische Edelmann Alexander CALIGNON DE PEYRINS mit Pendeln bis zu 30 Fuß Länge zeitliche Änderungen der Lotrichtung nachzuweisen. Trotz der unzureichenden meßtechnischen Mittel wurden die Versuche von zahlreichen anderen Forschern und mit unterschiedlichen Ergebnissen bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts fortgesetzt. Auch den Gebrüdern DARWIN mißlang der experimentelle Nachweis für die Existenz der aus der Theorie bekannten Lotschwankungseffekte. Als v. REBEUR-PASCHWITZ nach 1890 den lunaren Einfluß auf die Richtung des Lotes mit Horizontalpendeln messen konnte, verlor das Vertikalpendel als Indikator für Lotschwankungen an Interesse. Trotz weitgehender konstruktiver Vervollkommnung der Horizontalpendel sind jedoch gewisse prinzipielle Schwierigkeiten hinsichtlich der Konstanz der Gleichgewichtslage sowie der Stabilität und Bestimmung der Neigungsempfindlichkeit, vor allem aber in Fragen der Aufstellung erhalten geblieben. Denn die Aufstellung kann im allgemeinen nur in speziell hergerichteten isothermen Meßkammern, meist in bergbaulichen Anlagen, erfolgen.

Der gegenwärtige Stand der Meßtechnik läßt nun die konstruktiven Vorteile des Vertikalpendels in Anbetracht der Schwierigkeiten bei der Bedienung der Horizontalpendel in neuem Lichte erscheinen. Als GRAF im Jahre 1958 vorschlug, ein frei hängendes Pendel für die Lotschwankungsbeobachtungen zu verwenden, lag der Gedanke nahe, diese mit einer Fernübertragung der Meßwerte zu verbinden und in Zukunft in Bohrlöchern auszuführen. Im Jahre 1962 gelangen am Institut für theoretische Physik und Geophysik der Bergakademie Freiberg Versuche, die Lotschwankungen mit einem 2,5 m langen frei hängenden Stab als Verschiebung des unteren Endes gegen eine feste Bezugsmarke über längere Zeit zu messen. Die erdzeitenbedingte Änderung der Lotrichtung beträgt in Freiberg ca. $\pm 0,015$, d. h. die Verschiebung des Pendelendes $\pm 0,2 \mu\text{m}$. Dieser Schwankungsbetrag wurde auf etwa $2 \mu\text{m}$ reproduzierbar erfaßt. Als Meßwertübertrager diente ein trägerfrequent betriebener Differentialtransformator.

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet eine Vertikalpendelapparatur, deren Konstruktionsprinzip GRAF das erste Mal auf der Generalversammlung der

Iugg in Berkeley 1963 zusammen mit Ergebnissen von Registrierversuchen in einem Bohrloch bekanntgegeben hat.

Ohne zunächst Messungen in einem Bohrloch zu beabsichtigen, d. h. ohne auf eine räumliche Beschränkung Wert zu legen, wurde in Freiberg eine verbesserte Apparatur zur gleichzeitigen Messung von Lotschwankungen in zwei Komponenten entwickelt und in der Lehrgrube Alt-Elisabeth der Bergakademie erprobt. Das Ziel der Arbeiten waren meßmethodische Untersuchungen und der Nachweis für die prinzipielle Eignung im Dauerbetrieb. Die Versuchsanlage besteht aus einem elektronischen und einem mechanischen Meßteil. Der Aufbau ist für die beiden Komponenten völlig gleichartig.

Abb. 1 zeigt den voll transistorisierten elektronischen Meßteil. Er ist feuchtigkeitsdicht gekapselt und enthält im wesentlichen den Generator für die 5 kHz Trägerfrequenz, ein Abgleichglied für die Festlegung des elektrischen Arbeitspunktes, einen Resonanzverstärker, einen phasenempfindlichen Gleichrichter und einen Tiefpaß zur Beseitigung kurzperiodischer Störspannungen. Die Signalspannung wird mit einem elektronischen Kompensationsbandschreiber registriert.

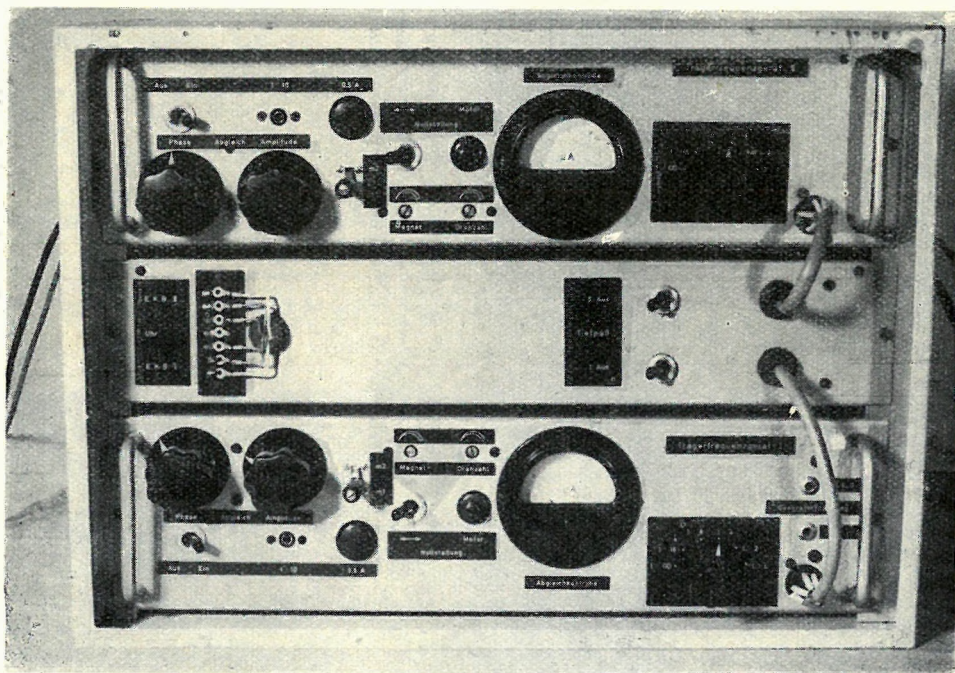


Abb. 1. Trägerfrequenzgerät mit zwei Kanälen

I. ábra. Kétesatornás vivőfrekvenciás műszer

Фиг. 1. Двухканальный прибор несущих частот

Abb. 2 zeigt eine Gesamtansicht des mechanischen Meßteiles vor der Installation. Er besteht aus einem Trage teil, den nebeneinander hängenden Pendelstangen und dem Basisaufbau. Jedes Pendel besteht aus einem 20 kg

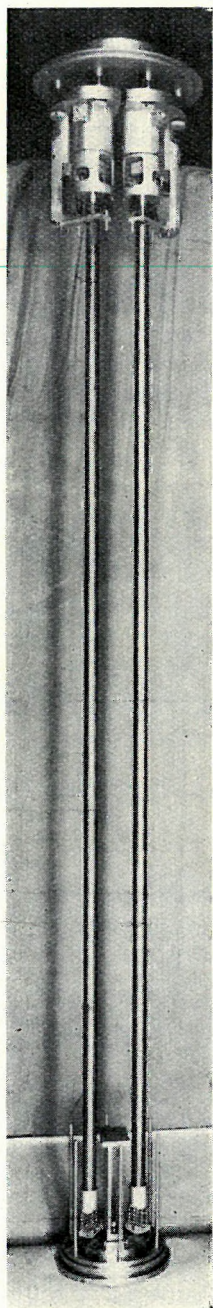


Abb. 2. Gesamtansicht des mechanischen Messteiles vor der Installation

2. ábra. A berendezés mechanikai mérőegységének képe

Фиг. 2. Общий вид механической измерительной части аппаратуры

schweren und 2,5 m langen Messingstab, der an einer Blattfeder aufgehängt ist. Das Tragteil wurde an einem kräftigen Hydronalium-Stück befestigt, das in der Firste der Strecke einbetoniert war.

Abb. 3 zeigt den Basisaufbau. Am unteren Ende des Pendels befindet sich ein Teller, von dem Zusatzmassen von 120 mg zur Eichung des Systems mit Hilfe kleiner Elektromagneten abgehoben werden können. Am Pendel befindet sich ein Kern aus μ -Metall. Er ragt in einen handelsüblichen Differentialtransformator hinein. Die Verschiebung des Kerns infolge der Pendelbewegung moduliert die Amplitude der Trägerfrequenz. Der Differentialtransformator ist fest mit dem Basisaufbau verbunden und stellt die Bezugs-lage dar. Er kann mit einem Kreuzschlitten durch einen Motor justiert werden. Justierung und Eichung erfolgten durch Fernbedienung. Das Pendel war zur Eliminierung der seismischen Bodenunruhe mit Öl gedämpft. Die mittlere Dämpfungszahl betrug $= 28$, die Eigenperiode war 2,69 s. Die Rückstellmomente infolge der Blattfederaufhängung und des Differentialtransformators konnten bei den gewählten Dimensionen völlig gegen das Rückstellmoment infolge des Eigengewichtes der Pendel vernachlässigt werden.

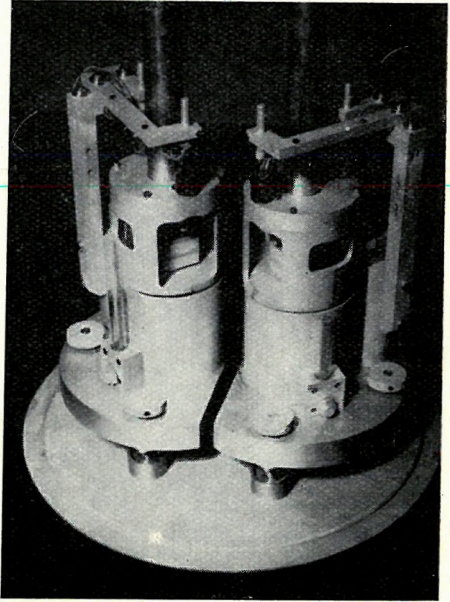


Abb. 3. Basisaufbau der Vertikalpendel-Ver-suchsapparatur

3. ábra. A kísérleti vertikális inga alapjának felépítése

Фиг. 3. Конструкция основания вертикаль-ных весов

Abb. 4 zeigt den Meßplatz mit dem Trägerfrequenzgerät, dem elektronischen Kompensationsbandschreiber, einer Kontaktuhr und einem Stromver-sorgungsgerät. Der Meßplatz lag 25 m vom Meßort, an dem die Pendel installiert waren, entfernt. Die Signalspannung wurde mit Leitungen über-tragen.

Abb. 5 zeigt das Meßort mit dem installierten mechanischen Meßteil. Die Pendel sind durch eine Blechumhüllung gegen Feuchtigkeit geschützt. Es herrschte nahezu 100%ige Luftfeuchtigkeit. Der Basisaufbau steht auf einem Eisenträger. Die Kammer konnte hermetisch von der Umgebung ab-geschlossen werden. Sie wurde 5 Monate lang nicht betreten, bis sich Korro-sionsschäden an den Leitungen bemerkbar machten. Sie lag in 77 m Tiefe in einer alten Strecke, 75 m vom Schacht entfernt. Das umgebende Gestein ist außerordentlich fester Gneis.

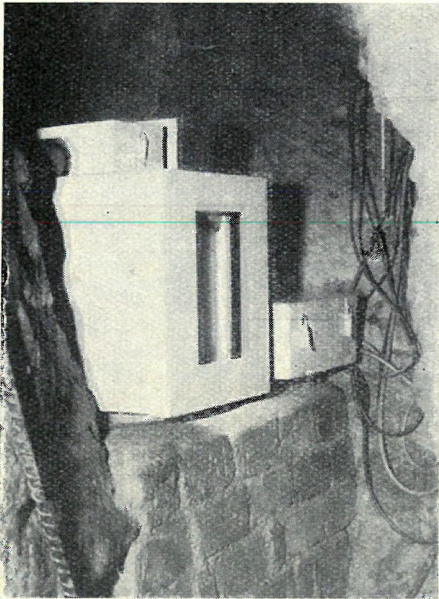


Abb. 4. Untertägiger Messplatz mit elektronischem Kompensationsbandschreiber, Trägerfrequenzgerät, Kontaktuhr und Messgerät
 4. ábra. Földalatti mérőhely elektronikus kompenzációs regisztrálóval, vivőfrekvenciás műszerrel, kapcsolóórával és mérőműszerrel
 Фиг. 4. Подземное рабочее место с электронным компенсационным регистратором, прибором несущих частот, контактными часами и измерительным прибором

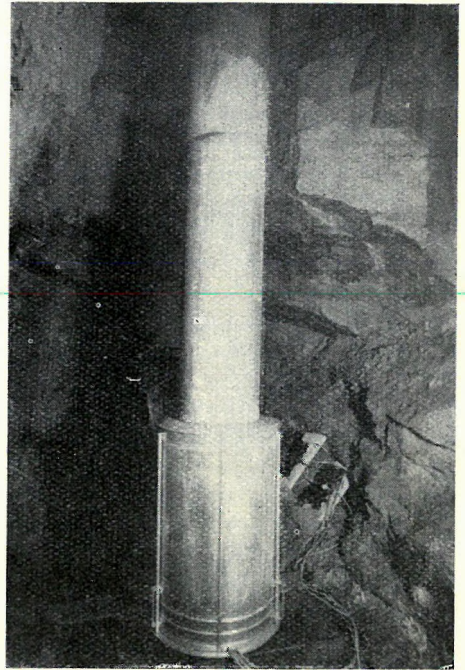


Abb. 5. Messkammer mit betriebsbereit installierter Vertikalpendelapparatur

5. ábra. Mérőkammer felállított, üzemkész vertikális ingával

Фиг. 5. Измерительная камера с установленными вертикальными весами

Abb. 6 zeigt die Apparatur in betriebsbereitem Zustand. Die Schutzhülle ist hochgehoben.

Die Lotschwankungsmessungen mit den Vertikalpendeln wurden mit Hilfe von Horizontalpendeln kontrolliert. Dazu wurde in etwa 250 m Entfernung von der Vertikalpendelstation in 154 m Tiefe eine Meßkammer angelegt. Abb. 7 zeigt den Betonsockel, auf dem drei Horizontalpendel nach TOMASCHEK – ELLENBERGER aufgestellt sind. Die beiden äußeren Pendel arbeiten zur gegenseitigen Kontrolle im nahezu gleichen Azimut, das mittlere dazu senkrecht. Die Registrierung der Lotschwankungen erfolgte photographisch mit Lichtzeigern von 5 m Länge in einem anderen Raum. Die Neigungsempfindlichkeit der Instrumente wurde aus den Schwingungszeiten bestimmt.

Für beide Stationen liegen von 6. 9. bis 6. 12. 1963 auswertbare Registrierungen vor. Die Abb. 8 und 9 zeigen gleichzeitige Ausschnitte. Die Breite der Registrierstreifen beträgt 25 cm für die Vertikalpendel und 18 cm für die Horizontalpendel. Da zur Zeit der Beispiele Neumond herrschte, wird ein Ein-

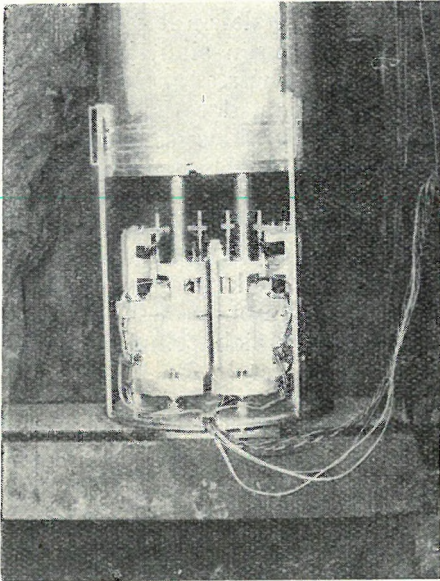


Abb. 6. Betriebsbereite Vertikalpendelapparatur mit abgehobener Schutzumkleidung

6. ábra. Üzemkész vertikális inga védőburkolat nélkül

Фиг. 6. Готовые к действию вертикальные весы без предохранительного кожуха

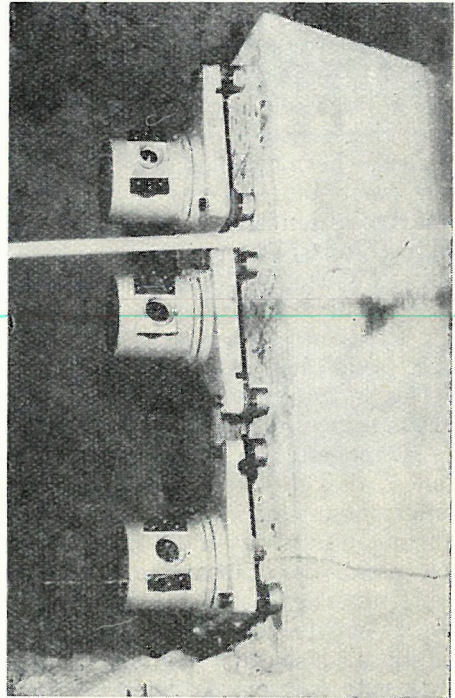


Abb. 7. Horizontalpendel nach Tomaschek-Ellenberger in der Kontrollstation

7. ábra. Tomaschek – Ellenberger-féle horizontális inga az ellenőrző állomáson

Фиг. 7. Горизонтальные весы системы Томашек – Эллиенбергера на контрольной станции

druck von den Maximalamplituden vermittelt. Der mittlere Skalenwert für die Vertikalpendelregistrierungen betrug $1,5 \cdot 10^{-3}/\text{mm}$, für die Horizontalpendelregistrierungen $6 \cdot 10^{-3}/\text{mm}$. Die Empfindlichkeit der Horizontalpendel wurde so gering gewählt, um wegen der Instabilität des Untergrundes größere Nullpunktgänge zu vermeiden und um die Anhängigkeit der Eigenperiode von der Amplitude möglichst vernachlässigen zu können. Der Skalenwert der Horizontalpendelregistrierungen blieb während der ganzen Registrierdauer praktisch konstant, die der Vertikalpendelregistrierungen nahmen um 20% zu. Letzteres wurde durch Alterungsvorgänge im elektronischen Meßteil und durch Korrosionserscheinungen in den Meßleitungen hervorgerufen. Die Nullpunktgänge der Vertikal- und Horizontalpendel sind miteinander nach Richtungssinn und Betrag nicht vergleichbar. Sie betragen etwa 0,6 für das dreimonatige Registrierintervall bei den Vertikalpendeln; bei den Horizontalpendeln sind sie kleiner als 0,1 im Meridian, aber 2,5 im ersten Vertikal, besitzen aber für die beiden parallelen Pendel entgegengesetzte Vorzeichen.

Die mittleren harmonischen Konstanten, d.h. die Verminderungsfaktoren und die Phasenverschiebungen, für die wichtigsten Partialtiden zeigt die Ta-

belle. Es sind gleichzeitig die Ergebnisse der klassischen Messungen von SCHWEYDAR aus den Jahren 1910–1915 in Freiberg aufgenommen. Mit $V_{1,2}$ sind die Vertikalpendel und mit $J_{1,2,3}$ die Horizontalpendel bezeichnet. Wenn man berücksichtigt, daß die Vertikalpendel und Horizontalpendel nicht an der gleichen Stelle gearbeitet haben und dadurch verschiedenen lokalen, insbesondere thermoelastischen Einflüssen unterworfen gewesen sind, kann man von einer befriedigenden Übereinstimmung der Ergebnisse sprechen. Besonders in den Halbtagstiden M_2 und S_2 ist festzustellen, daß die neuen Ergebnisse untereinander besser übereinstimmen als mit den klassischen Werten SCHWEYDARS. Die mit den Vertikalpendeln gewonnenen Ergebnisse sind daher als reell anzusehen.

Es kann nicht beurteilt werden, welche Werte für Freiberg als repräsentativ anzusehen sind, die alten von SCHWEYDAR oder die unweit von seiner Meßstelle entfernt gefundenen neuen. Die Unterschiede können auf lokale tektonische und thermoelastische Ursachen zurückzuführen sein.

Ohne auf die Einzelheiten näher einzugehen, läßt sich prinzipiell feststellen, daß die Vertikalpendel in der beschriebenen Gestalt für Lotschwankungsmessungen im Dauerbetrieb geeignet sind. Nach den vorliegenden Erfahrungen lassen sich die Dimensionen des mechanischen Teiles noch beträchtlich herabsetzen und die Übertragungstrecke vergrößern. Nach geeigneter konstruktiver Gestaltung der Vertikalpendel können diese in Bohrlöchern eingesetzt werden. Dadurch kann man das Netz der klinometrischen Stationen für die Erdzeitenforschung und für das Studium rezenter Bewegungen der Erdkruste mit erträglichem Kostenaufwand erheblich verdichten.

Mittlere Ergebnisse der Lotschwankungsbeobachtungen in Freiberg

Ost – West-Richtung

Pendel bzw. Quelle	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
V ₁	0,623	+ 2° 0	0,661	- 7° 6	0,756	- 7° 7	0,730	- 7° 4
	35	2,7	49	10,7	8	0,2	21	1,4
J ₁	0,773	- 30° 8	0,861	- 25° 1	0,807	- 10° 0	0,783	- 9° 6
	41	3,7	28	2,0	13	0,5	45	1,9
J ₃	0,695	+ 24° 2	0,793	+ 14° 2	0,815	- 4° 9	0,735	- 6° 8
	40	2,6	50	3,6	12	1,0	41	2,5
SCHWEYDAR	0,788	- 0° 6	0,810	- 1° 6	0,607	+ 0° 8	0,667	+ 4° 6
	40	4,4	18	0,3	18	1,6	48	3,2

Nord – Süd-Richtung

Pendel bzw. Quelle	O ₁		K ₁		M ₂		S ₂	
	γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
V ₂	0,730	+ 19° 4	0,433	- 7° 8	0,678	- 4° 1	0,725	- 3° 5
	275	10,6	38	7,6	17	1,2	23	2,1
J ₂	0,991	- 11° 3	1,043	- 8° 2	0,674	- 5° 0	0,662	- 4° 6
	71	4,8	115	8,2	26	1,3	39	2,6
SCHWEYDAR	1,321	+ 186° 9	0,502	+ 138° 9	0,540	- 12° 5	1,086	+ 31° 1
	291	5,1	116	13,1	19	1,0	50	3,1

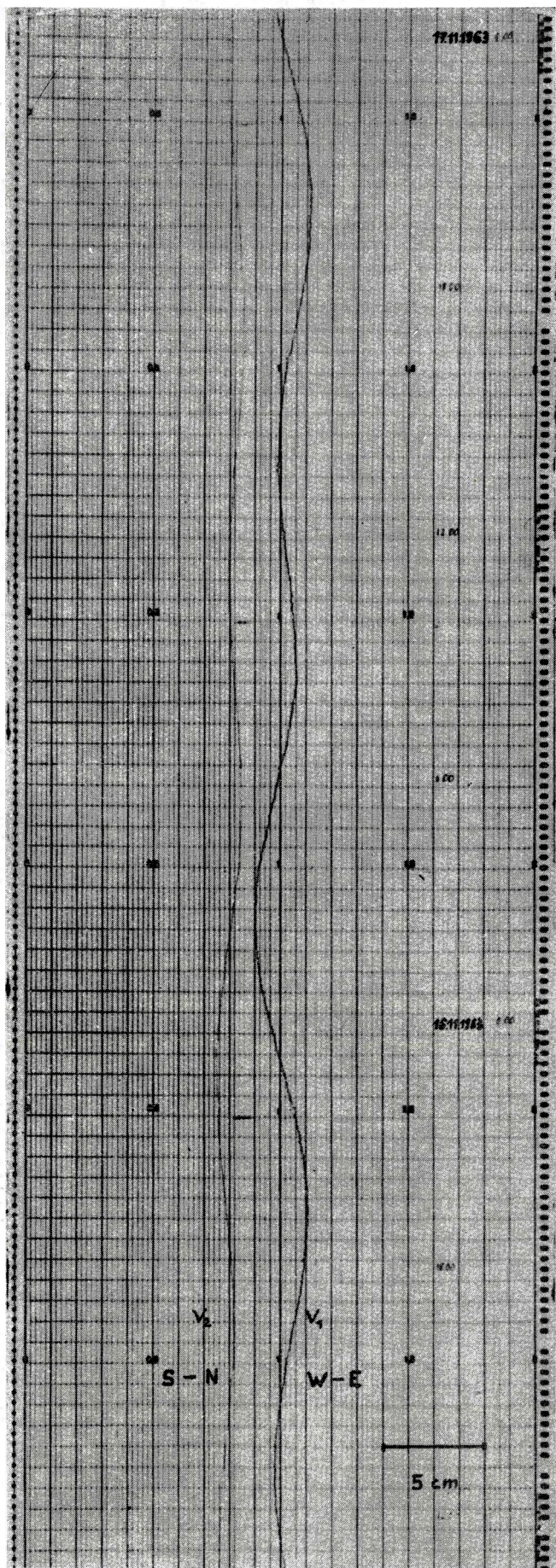


Abb. 8. Ausschnitt aus einer
Vertikalpendelregistrierung
8. ábra. Részlet egy vertikális ingával
készített felvételtől
Фиг. 8. Отрезок записи, полученной
вертикальными весами

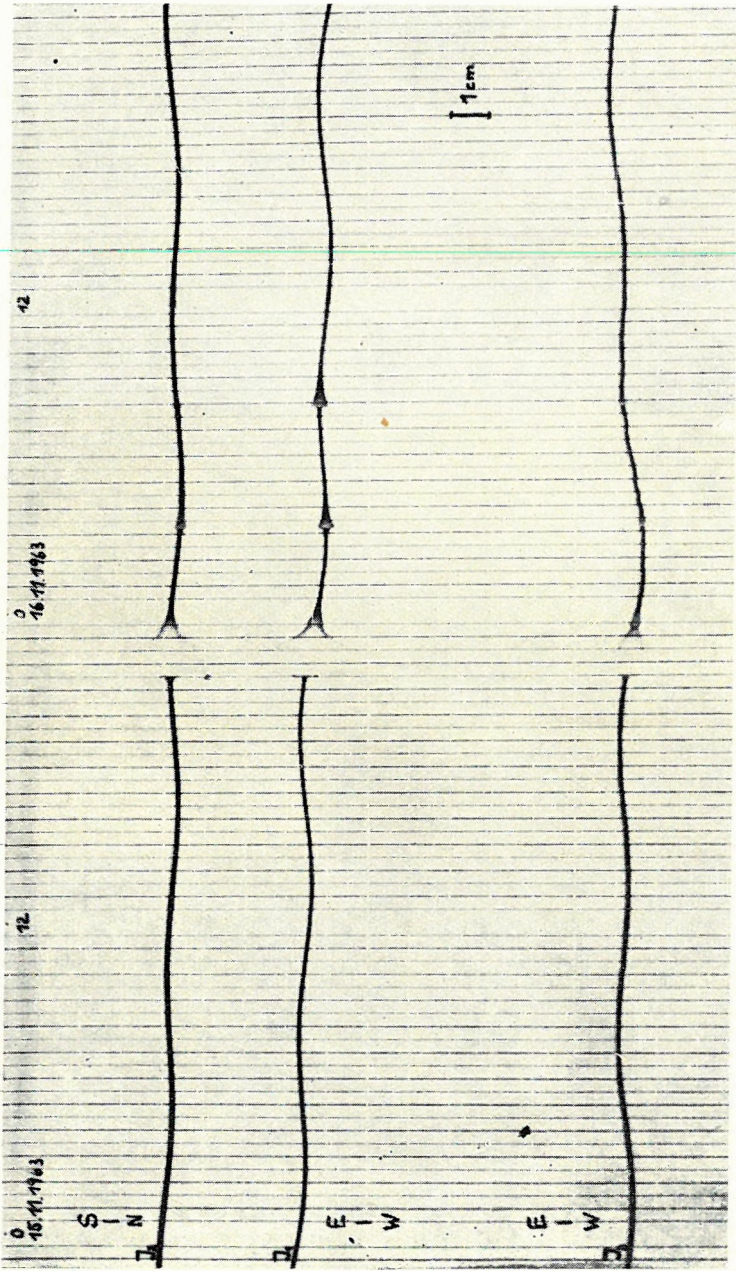


Abb. 9. Ausschnitt aus der gleichzeitigen Horizontalpendelregistrierung
9. ábra. Részlet a horizontális ingával egyidejűleg készített felvételből
Фиг. 9. Отрезок записи, полученной одновременно горизонтальными весами

