

cand.phys. M. PALANDT, Göttingen

"Tonbandregistrierungen erdmagnetischer Pulsationen im Bereich der Göttinger D-Anomalie"

Donnerstag, den 6. 3. 1969

Berichtet wurde über eine Apparatur, die es ermöglicht, erdmagnetische Pulsationen auf Tonband zu registrieren und sie anschließend mit Hilfe eines geeigneten Schreibers mit beliebig einstellbarer Empfindlichkeit und zeitlicher Auflösung auf einen Papierstreifen abzuspielen. Dabei wurde Wert auf große Empfindlichkeit und entsprechend hohe zeitliche Auflösung der Registrierung gelegt, um nicht auf die sonst für die Auswertung erforderliche optische Vergrößerung angewiesen zu sein, die, je nach Qualität des optischen Vergrößerungsgeräts, beachtliche Verzerrungen verursachen kann und somit eine Berücksichtigung der Phasen bei der Auswertung praktisch nicht möglich macht.

Die gesamte Apparatur besteht aus vier Teilen (siehe Abb.1)

- a) den GRENETSchen Variometern,
- b) den Verstärkern und Frequenzmodulatoren,
- c) der Registriereinrichtung (Tonbandgerät),
- d) der Abspielvorrichtung (Demodulator, Vierkanal-kompensationsschreiber).

Beschreibung der verschiedenen Baugruppen:

Aufbau und Wirkungsweise der GRENETSchen Variometer sind allgemein bekannt, so daß hier nur kurz darauf eingegangen zu werden braucht. Das Variometer wird so aufgestellt, daß seine Spulenachse, das magnetische Moment des an einem Torsionsfaden hängenden Magneten und die Richtung der zu registrierenden Magnetfeldkomponente ein rechtwinkliges System bilden. Die Spulenachse und die Magnetfeldkomponente weisen in die gleiche Richtung. Eine Änderung des Magnetfeldes verursacht eine Drehung des Magneten und diese wiederum eine Induktionsspannung

in der Variometerspule ($r = 6 \text{ cm}$, $n = 3600$, $R_i = 67\Omega$). Die in der Spule induzierte Spannung liegt etwa zwischen $1\mu\text{V}$ und $10\mu\text{V}$. Jedes der drei Signale wird photoverstärkt, indem die Spannung einem Galvanometer (Ruhstrat KSG 6 ähnlich; $T_G = 1,9 \text{ sec}$, $R_i = 60\Omega$, $C_i = 9,7 \cdot 10^{-9} \text{ Amp}/(\text{mm}/\text{m})$, $C_u = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Volt}/(\text{mm}/\text{m})$) zugeführt wird, über dessen rechteckigen Spiegel der Glühfaden einer Beleuchtungslampe auf ein Selen-Differentialphotoelement mit möglichst gleichmäßiger Leuchtdichte abgebildet wird. Bei Verschiebung des Lichtflecks erhält man einen Differenzstrom, der das Signal, je nach Beleuchtungsstärke, bis etwa um den Faktor 10 verstärkt. Die drei photoverstärkten Signale können anschließend unabhängig voneinander in Stufen 1:2 von 2^5 bis 2^{11} elektronisch verstärkt werden. Eine magnetische Störung von 2γ ($T = 30 \text{ sec}$) entspricht einer Verstärkereingangsspannung von etwa $50\mu\text{V}$. Bei einer Verstärkung von 2^{10} ergibt das eine Spannung von rund 50 mV am Verstärkerausgang bzw. am Modulatoreingang gegenüber $\pm 200 \text{ mV}$, die zur Vollaussteuerung des Modulators erforderlich sind. Zweckmäßig verwendet man für H und D die gleiche, während man für Z - entsprechend der kleineren Amplitude - eine höhere Verstärkung einstellt. Die so nun hinreichend verstärkten Signale werden dem Modulator zugeführt und dort frequenzmoduliert. Der Modulator besitzt vier Signalkanäle mit den Trägerfrequenzen 860 Hz , $2,1 \text{ kHz}$, $4,4 \text{ kHz}$ und $9,5 \text{ kHz}$, der vierte Kanal ($9,5 \text{ kHz}$) ist für das Zeitzeichen vorgesehen. Der Frequenzhub - dieser gibt die maximale Abweichung von der Trägergrundfrequenz als Folge der modulierenden niederfrequenten Schwingung an - beträgt $\pm 15\%$ bei $\pm 200 \text{ mV}$ Vollaussteuerung. Zusätzlich existiert ein Pilotkanal ($6,4 \text{ kHz}$), der zur Störkompensation und Synchronisation der Registrier-einrichtung beim Abspielen der Tonbänder dient.

Die mathematische Untersuchung der Frequenzmodulation ergibt, daß um den Träger herum zahlreiche Seitenfrequenzen gruppiert sind. Diese treten in Abständen auf, die Vielfache vom Wert der Modulationsfrequenz sind. Da für Pulsationen der Frequenzbereich ($3 \cdot 10^{-3} \text{ Hz}$ bis 1 Hz) sehr klein im Vergleich zu den Trägerfrequenzen des Modulators ist, befindet sich in einem sehr schmalen Seitenfrequenzband um den Träger herum die gesamte Information des Signals. Dies äußert sich beim Abspielen des Tonbands in einer naturgetreuen Wiedergabe der registrierten Effekte.

Die vier modulierten Trägerfrequenzen werden gemischt, und das Frequenzgemisch wird auf das Tonband gespielt. Benutzt wird ein Stereo-Zweispurgerät (HiFi-Studio-Tonbandgerät 600 SH, SABA). Seine besonderen Vorzüge sind:

- a) Aufnahme, Wiedergabe und Löschen in beiden Laufrichtungen,
- b) die Automatik zur Laufrichtungs- und Spurumschaltung am Bandende und
- c) die automatische Endabschaltung, die es gestattet, das Gerät auf Außenstationen sich selbst zu überlassen.

Bei Verwendung von Spulen mit 22 cm Durchmesser und Tripelbändern erreicht man eine Bandlänge von etwa 1640 m und bei einer Bandgeschwindigkeit von 9,5 cm/sec eine Spieldauer von 9 1/2 Stunden.

Beim Abspielen der Signale vom Tonband auf den Schreiber wird das Frequenzgemisch über einen Stereoverstärker zunächst den Demodulatoren zugeführt. Die vier Demodulatoren - zu jeder Trägerfrequenz gehört ein Demodulator - unterscheiden sich durch die jeweils am Eingang liegenden Bandpässe, die frequenzbestimmenden Glieder der Demodulatoren und durch die Laufzeitgleichglieder, die so bemessen sind, daß die Laufzeiten der verschiedenen Bandpässe einander angeglichen werden. Als Bezugswert dient der 860 Hz-Kanal, der die größte Laufzeit hat (1,59 ms). Die Demodulatoren machen den Modulationsvorgang rückgängig, d.h. sie trennen die ursprünglichen Signale von den frequenzmodulierten Trägerfrequenzen. Alle Demodulatoren haben ein Ausgangsfilter für den Signalfrequenzbereich von 0 Hz bis 100 Hz. Dahinter liegt das bereits erwähnte Laufzeitglied, das, um es noch einmal anders zu sagen, dafür sorgt, daß die vier Signalspannungen an den Ausgängen der einzelnen Kanäle phasengleich auftreten.

Erwähnt wurde bereits der im Modulator eingebaute Quarzoszillator (6,4 kHz), der als Pilotton dient. Der zugehörige Pilotkanal im FM-Demodulator liefert bei Tonbandaufzeichnung eine den Tonhöschwankungen des Bandgeräts - welche bei Gleichlaufschwankungen auftreten - proportionale Spannung, die den Differenzverstärkern am Ausgang der Demodulatoren zugeführt

wird und eine Kompensation der Tonhöenschwankung bewirkt. Der Pilotkanal kompensiert Gleichlaufschwankungen bis zu einigen Prozent.

Die Signalspannungen werden jetzt auf einen Vierkanal-Kompensationsschreiber gegeben. Der Signalspannung wird eine stabilisierte Vergleichsspannung entgegengeschaltet, die von einem Präzisions-Potentiometer abgegriffen wird. Das Potentiometer wird so lange durch einen Servo-Motor verstellt, bis die Differenzspannung kleiner als die Ansprechspannung des Verstärkers geworden ist. Die Stellung des Potentiometers ist somit nach erfolgtem Abgleich ein direktes Maß für die anliegende Spannung und wird über einen Seilzug auf den Federschlitten übertragen. Die Einstellgeschwindigkeit beträgt 25 cm/0,8 sec.

Die Vor- und Nachteile der Apparatur sind sofort zu überblicken. Von Nachteil ist:

- a) Die Apparatur ist netzabhängig. Das Tonbandgerät mit 100 W und die Beleuchtungslampen mit zusammen 75 W stellen einen recht hohen Leistungsverbrauch dar.
- b) Die Laufzeit der Tonbänder ist trotz der Umschaltautomatik noch zu kurz. Man ist gezwungen, eventuell zweimal am Tag auf Außenstation zu fahren, um ein neues Band aufzulegen; die Apparatur ist also nicht für Dauerregistrierung geeignet.
- c) Die Nachteile einer Photoverstärkung sind allgemein bekannt. Es ist vorgesehen, sie demnächst durch rein elektronische Verstärkung zu ersetzen.

Als Vorteile der Tonbandregistrierung gegenüber der herkömmlichen Filmregistrierung wären zu nennen:

- a) Man kann die interessanten Effekte vom Aufnahmeband auf ein anderes Band überspielen; man kann sie speichern, oder man kann sie auch gleich mit verschiedenen Empfindlichkeiten auf den Schreiber abspielen.
- b) Man kann Vektogramme anfertigen, indem man statt des x-t-Schreibers einen x-y-Schreiber benutzt.
- c) Es besteht die Möglichkeit, ein Bandpaßfilter einzuschalten, das es gestattet, nichtsinusförmige Effekte - wie sie

bei hoher magnetischer Aktivität, z.B. bei einem Sturm, auftreten - in ihre harmonischen Anteile zu zerlegen, die dann nach jeweils interessierenden Gesichtspunkten untersucht werden können.

- d) Durch den gleichzeitigen Einsatz der Bonanomi-Zeitzeichenempfänger an verschiedenen Stationen lassen sich Phasenvergleiche zwischen gleichen Komponenten durchführen. Außerdem kann man auch infolge der hohen zeitlichen Auflösung, die man beim Abspielen der Registrierung auf den Schreiber ohne weiteres erreichen kann, recht genaue Phasenvergleiche der einzelnen Komponenten untereinander anstellen.

Registriert wurde mit zwei Aufnahmeapparaturen in der Zeit vom August bis Dezember 1968 an den Stationen Göttingen, Esebeck und Barterode. Soweit es sich durchführen ließ, wurde immer an zwei Stationen gleichzeitig registriert. Der Abstand der Stationen Göttingen-Esebeck beträgt per Luftlinie 8 km und für Göttingen-Barterode 12,5 km. Die für die drei Stationen ermittelten Induktionspfeile nach WIESE sind in Abb. 2 eingetragen. Man erhält folgende Richtungswinkel:

Göttingen : $\theta = 112^\circ$,

Esebeck : $\theta = 148^\circ$,

Barterode : $\theta = 153^\circ$,

für $T = 20$ bis 320 sec.

Der Auswertung der Registrierungen lag folgende Idee zu Grunde. Es sollte untersucht werden, wie sich der Phasenwinkel χ zwischen dem horizontalen magnetischen Feldvektor $U = U_e + U_i$, der senkrecht auf der Leitfähigkeitsanomalie steht, und der vertikalen Z-Komponente in Abhängigkeit von der Periode T ändert. Der Winkel χ ergibt sich aus der Formel

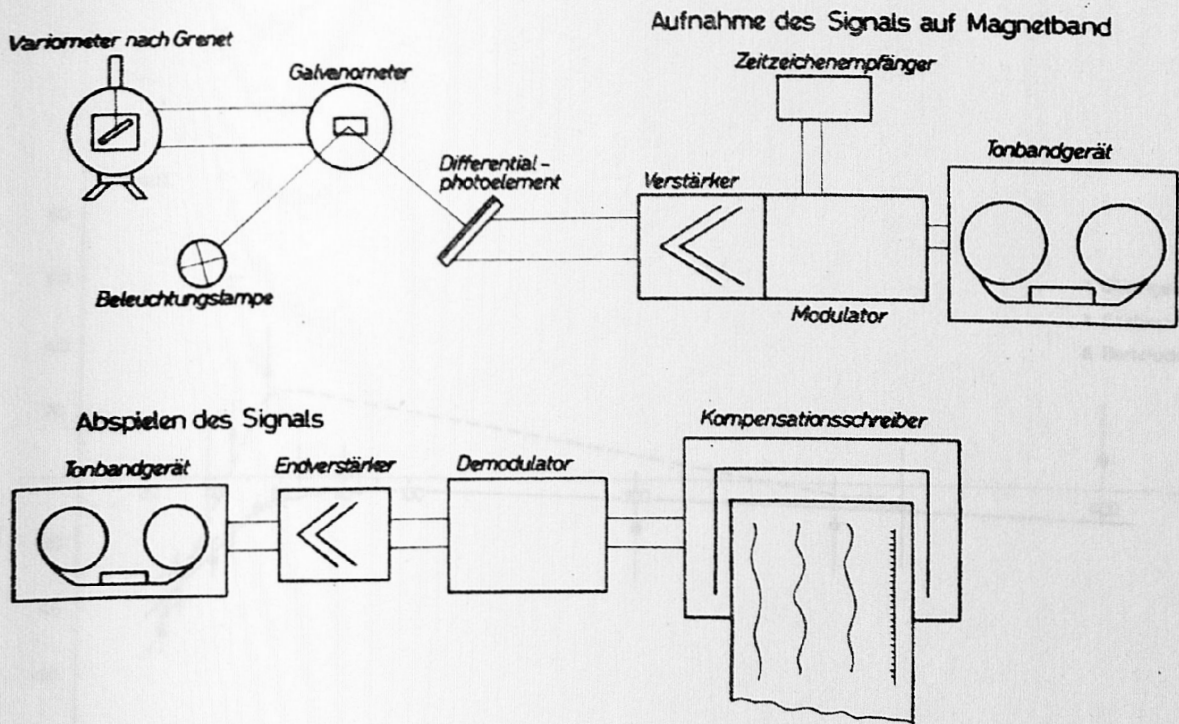
$$\tan \chi = \frac{H_o \sin \xi \cos \theta + D_o \sin \eta \sin \theta}{H_o \cos \xi \cos \theta + D_o \cos \eta \sin \theta}$$

(Vgl. Vortrag M. SIEBERT: Zur Verwendung von Induktionspfeilen bei der erdmagnetischen Tiefensondierung, S.163 dieses Protokolls)

Ausgewertet wurden nur sinusförmige Störungen, aus denen sich die Phasen ξ und η mit genügender Sicherheit bestimmen ließen. Die für jeden Effekt berechneten χ -Werte wurden nach Periodengruppen zusammengefaßt und anschließend der Gruppenmittelwert mit Streuung bestimmt.

In Abb. 3 ist der Zusammenhang zwischen χ und T für pc's an den Stationen Göttingen, Esebeck und Barterode dargestellt. Man erkennt an allen drei Registrierorten einen Anstieg der Kurve mit wachsender Periode T. Für den Periodenbereich T = 20 bis 100 sec besitzen die Kurven von Göttingen und Esebeck annähernd gleichen Verlauf, soweit man die Streuung der berechneten Punkte berücksichtigt. Man sieht, daß hier für etwa 80 sec die Phasendifferenz χ zwischen U und Z am geringsten ist. Für lange Perioden (T > 100 sec) ist der Verlauf der Kurven auf Grund der geringeren Anzahl der Effekte unsicher.

In Abb. 4 erkennt man noch einmal die entsprechende Darstellung für pt's in Göttingen. Auch hier verringert sich mit wachsender Periode T die Phasendifferenz χ . Bei etwa T = 70 sec ist χ annähernd Null. Der Winkel α gibt den zur jeweiligen Periodengruppe gehörigen Mittelwert der Richtung des Induktionspfeils an, der nach dem UNTIEDT'schen Verfahren ermittelt wurde. Man stellt fest, je mehr χ gegen Null geht, umso weniger unterscheiden sich die Richtungswinkel α und θ ($\theta = 112^\circ$).



Blockschaltbild zur Registrierung von elektrischen Signalen auf Magnetband

Abb. 1

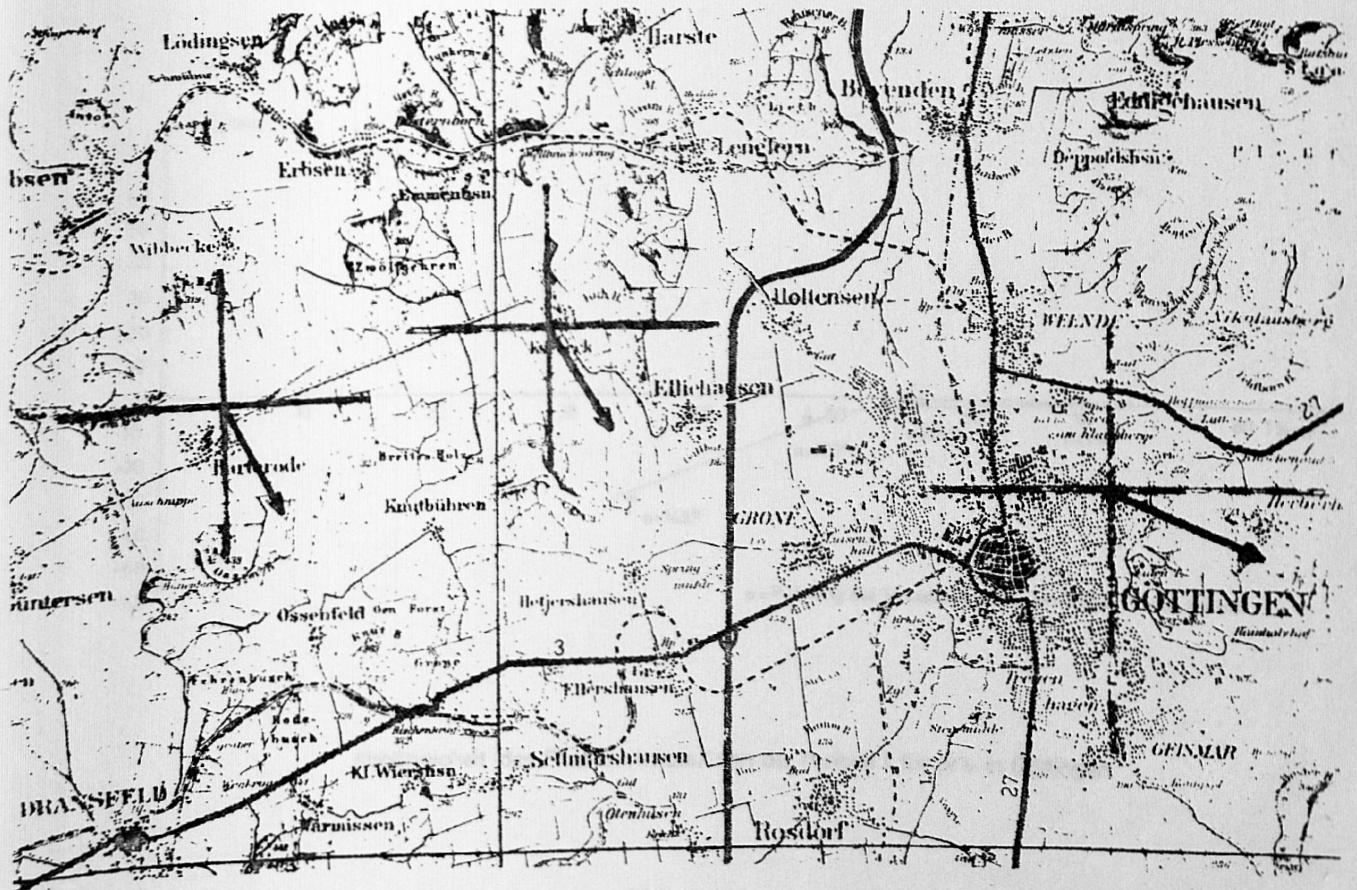


Abb. 2

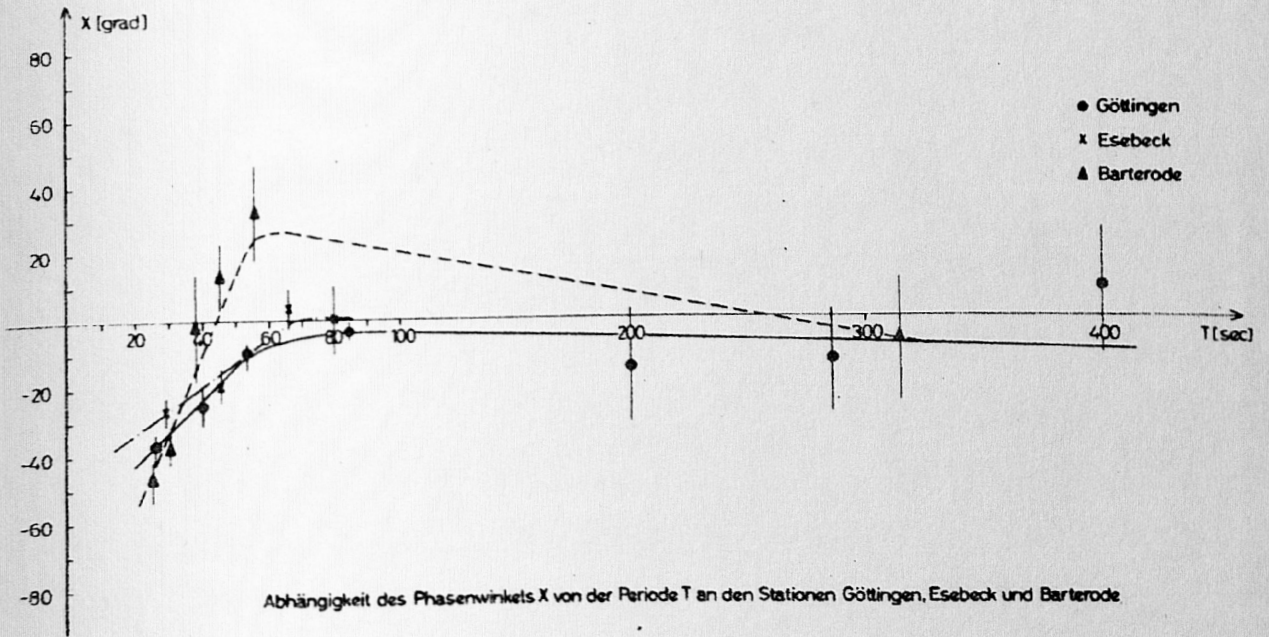
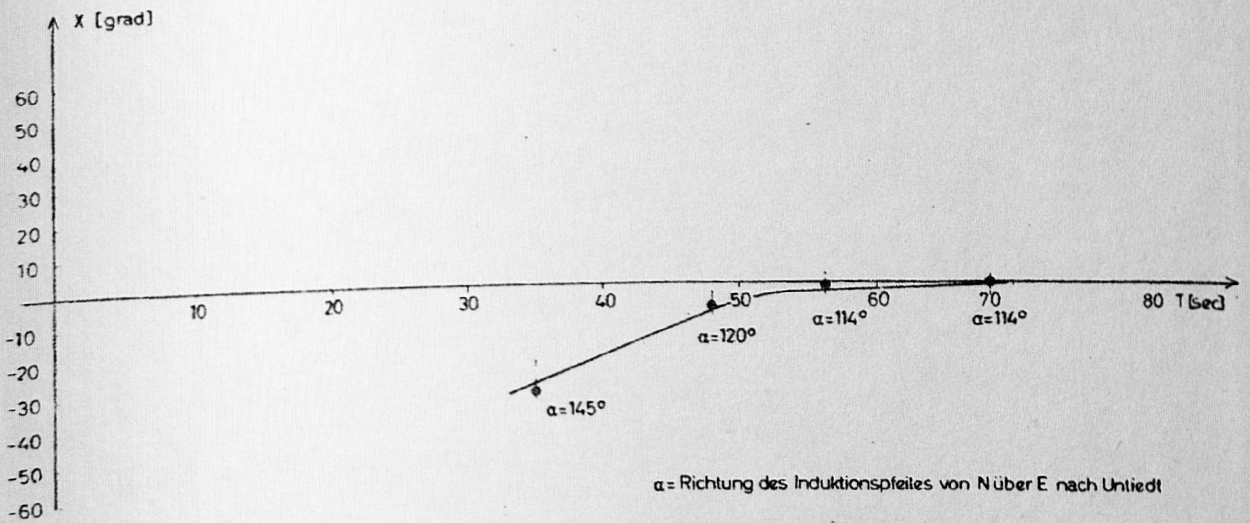


Abb. 3



Abhängigkeit des Phasenwinkels X von der Periode T für pt's in Göttingen

Abb. 4