

I. SCHEELKE, Braunschweig

"Ergebnisse magnetotellurischer Messungen im Rheingraben"

Mittwoch, den 15.9.1971

Es sollen nachfolgend einige Ergebnisse magnetotellurischer Messungen im Bereich des Rheingrabens vorgestellt werden. Zunächst ein paar allgemeine Bemerkungen zu Fig. 1.

Es wurden magnetotellurische Messungen auf zwei etwa senkrecht zum Rheingraben verlaufenden Profilen durchgeführt. Das Südprofil umfaßt insgesamt 12 Meßpunkte; es wurde in dem Bereich des Grabens gelegt, in dem von der Bundesanstalt für Bodenforschung zahlreiche Geoelektrikmessungen durchgeführt worden waren. Das Nordprofil besteht aus 8 Stationen und fällt mit einer Linie zusammen, auf der vom Münchner Institut elektrische und vom Göttinger Institut magnetische Variationen aufgezeichnet wurden. Auf diese Weise bestehen für beide Profile Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Messungen.

Die Messungen wurden im Herbst 1968 auf dem Südprofil mit 3 etwas weit auseinanderliegenden Stationen begonnen. Ergänzungsmessungen an 4 Zwischenpunkten wurden dann im Sommer 1969 durchgeführt. Im Stätherbst 1969 wurden die Sondierungen an den eingezeichneten Punkten von Profil II vorgenommen. Zum Abschluß wurde das Südprofil im Herbst 1970 mit 5 Stationen nach Frankreich hinein verlängert. Mit einer durchschnittlichen Meßdauer von einer Woche pro Station ergibt sich eine Gesamtdauer von knapp einem halben Jahr.

Jetzt einiges über die Richtungsbestimmung einer möglicherweise vorhandenen zweidimensionalen Leitfähigkeitsstruktur. Für jede Meßstation wurde im Periodenbereich von 8 bis 1024 sec der optimale Drehwinkel berechnet. Obwohl theoretisch eine Periodenabhängigkeit des Drehwinkels möglich ist, konnte sie für keine Station beobachtet werden, wie auch in Fig. 2 zu erkennen ist. Die Drehwinkel ändern sich in vielen Fällen nur sehr wenig mit der Periode,

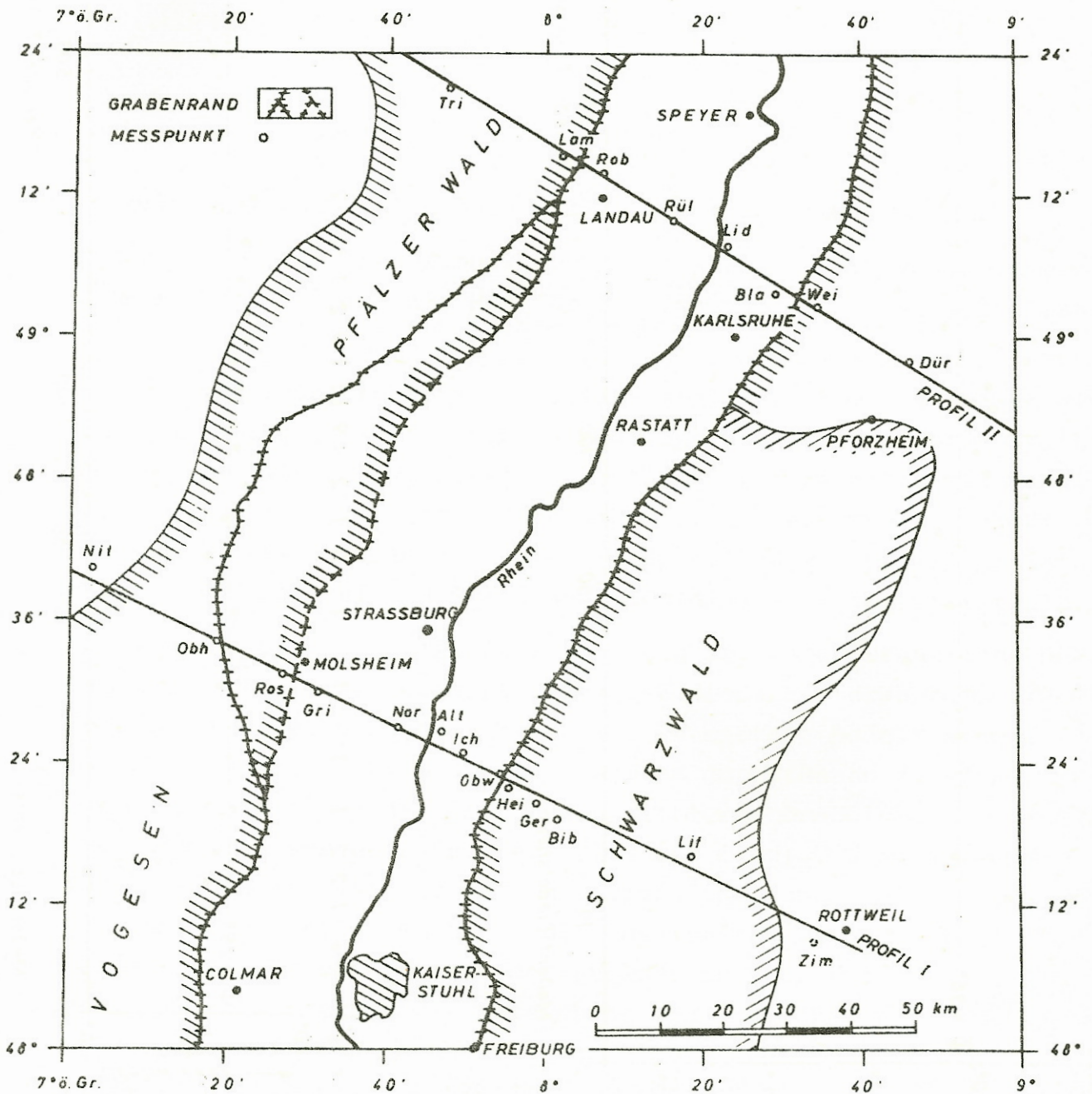


Fig. 1

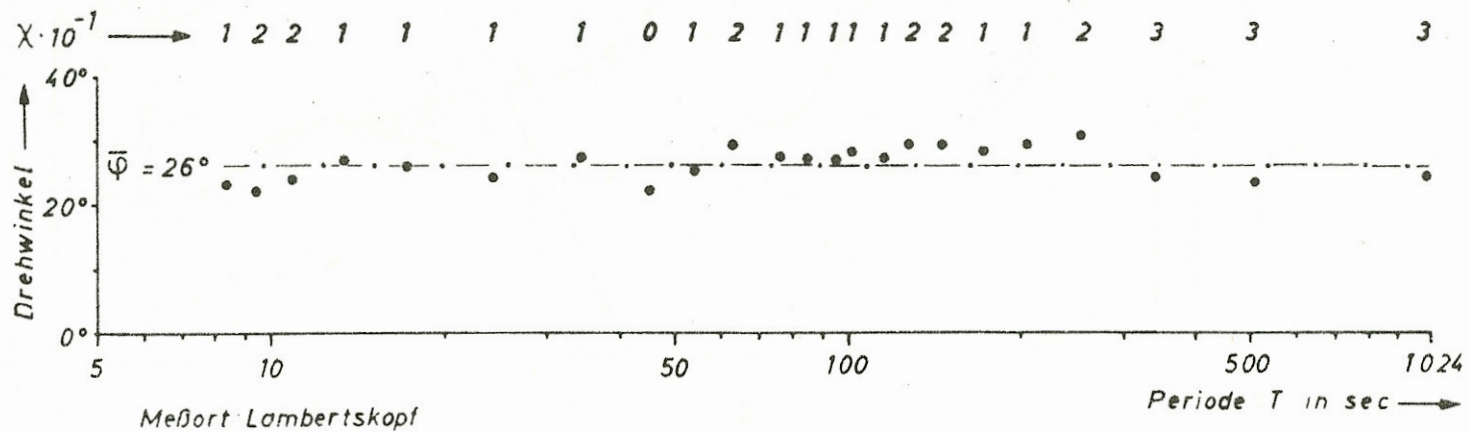
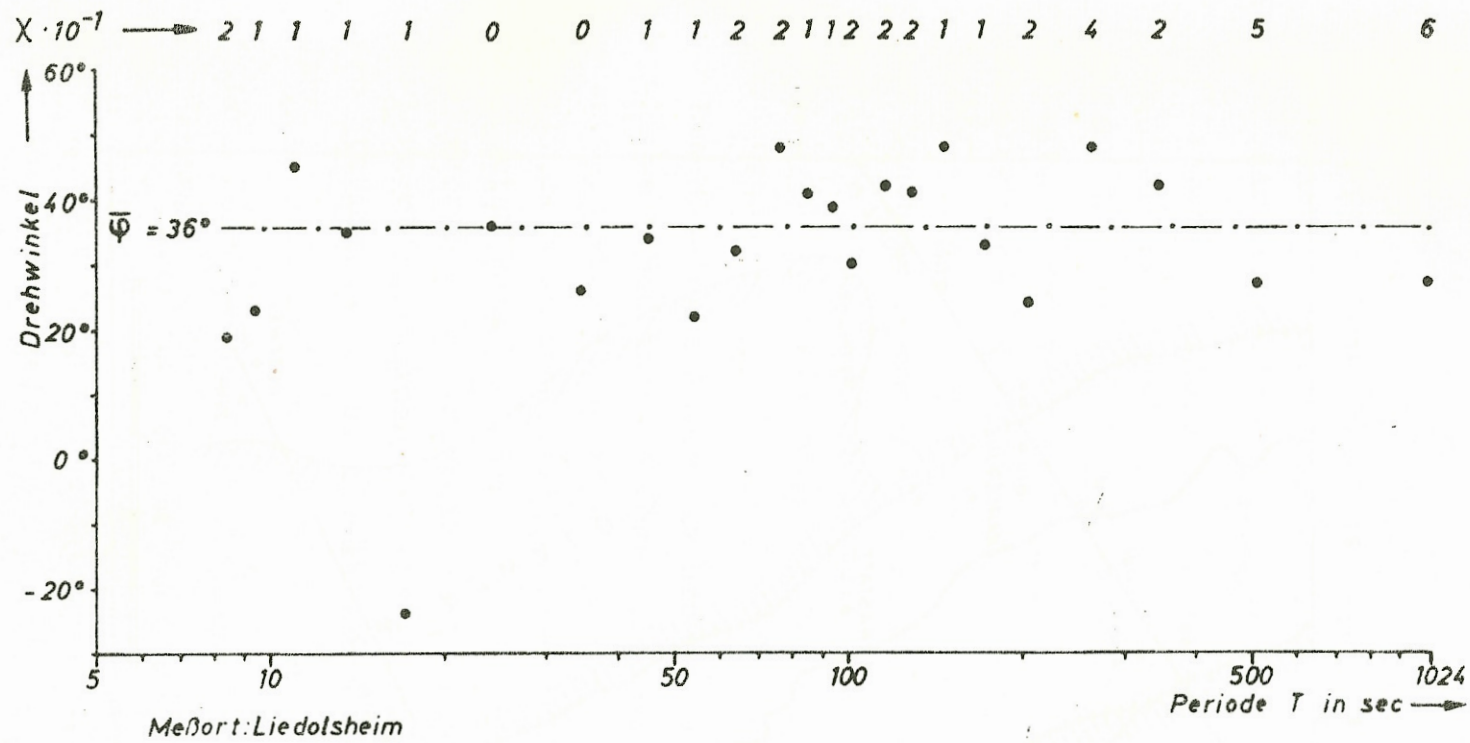


Fig. 2

so daß ohne weiteres ein mittlerer Wert berechnet werden kann. Auch bei größeren Streuungen war die beste Ausgleichsfunktion immer eine Konstante.

Mit dem Drehwinkel wurde ein Anisotropiekoeffizient folgendermaßen bestimmt:

Invariant gegen eine Rotation sind die Beziehungen (SWIFT 1967)

$$Z'_{11} + Z'_{22} = Z_{11} + Z_{22} ,$$

$$Z'_{12} - Z'_{21} = Z_{12} - Z_{21} .$$

Im rein 2-dimensionalen Fall sollte $Z'_{11} + Z'_{22}$ verschwinden.

Normiert man diesen Ausdruck durch $Z'_{12} - Z'_{21}$, so bekommt man eine Invariante, die sich als Maß für die Zweidimensionalität auffassen läßt.

Der Anisotropiekoeffizient sollte möglichst klein sein; so gibt SWIFT (1967) an, daß für Werte $> 0,3$ der zugehörige Drehwinkel bedeutungslos wird. Dies konnte eigentlich nicht bestätigt werden, denn auch Drehwinkel mit größerem Koeffizienten streuten nicht stärker (s. Fig. 2). Im ganzen ist die Bedingung der Zweidimensionalität für die meisten Stationen nach diesem Kriterium erfüllt.

Es wurde also für alle Stationen ein mittlerer Drehwinkel berechnet, wobei sich herausstellte, daß diese Mittelwerte für jedes Profil nur relativ schwach streuten. Um spätere Modellrechnungen für ein einheitliches Hauptachsensystem durchführen zu können, wurde deshalb für jedes Profil ein mittlerer Drehwinkel aus den Stationsmittelwerten berechnet. Dies ist in Fig. 3 zu erkennen. Für jede Station ist der mittlere Drehwinkel und damit die Hauptachsenrichtung eingezeichnet. Die Gesamtmittelwerte stimmen für beide Profile recht gut mit der geologischen Grabenrichtung überein. Die Zahlen geben die Abweichung des Stationsmittel vom Grabenmittel an. Auf diese einheitlichen Grabenrichtungen wurden alle Tensoren vor- bzw. zurückgedreht. Aus diesen Tensorwerten wurden anschließend ρ_s - und Phasenfunktionen berechnet. In den Fig. 4 und 5 sind Beispiele dargestellt.

Alle ρ_s -Funktionen sind mit Streuungen behaftet, die bei einer Interpretation nicht berücksichtigt werden können. Es schien da-

... ein ...
 ... der ...
 ... der ...
 ... der ...
 ... der ...

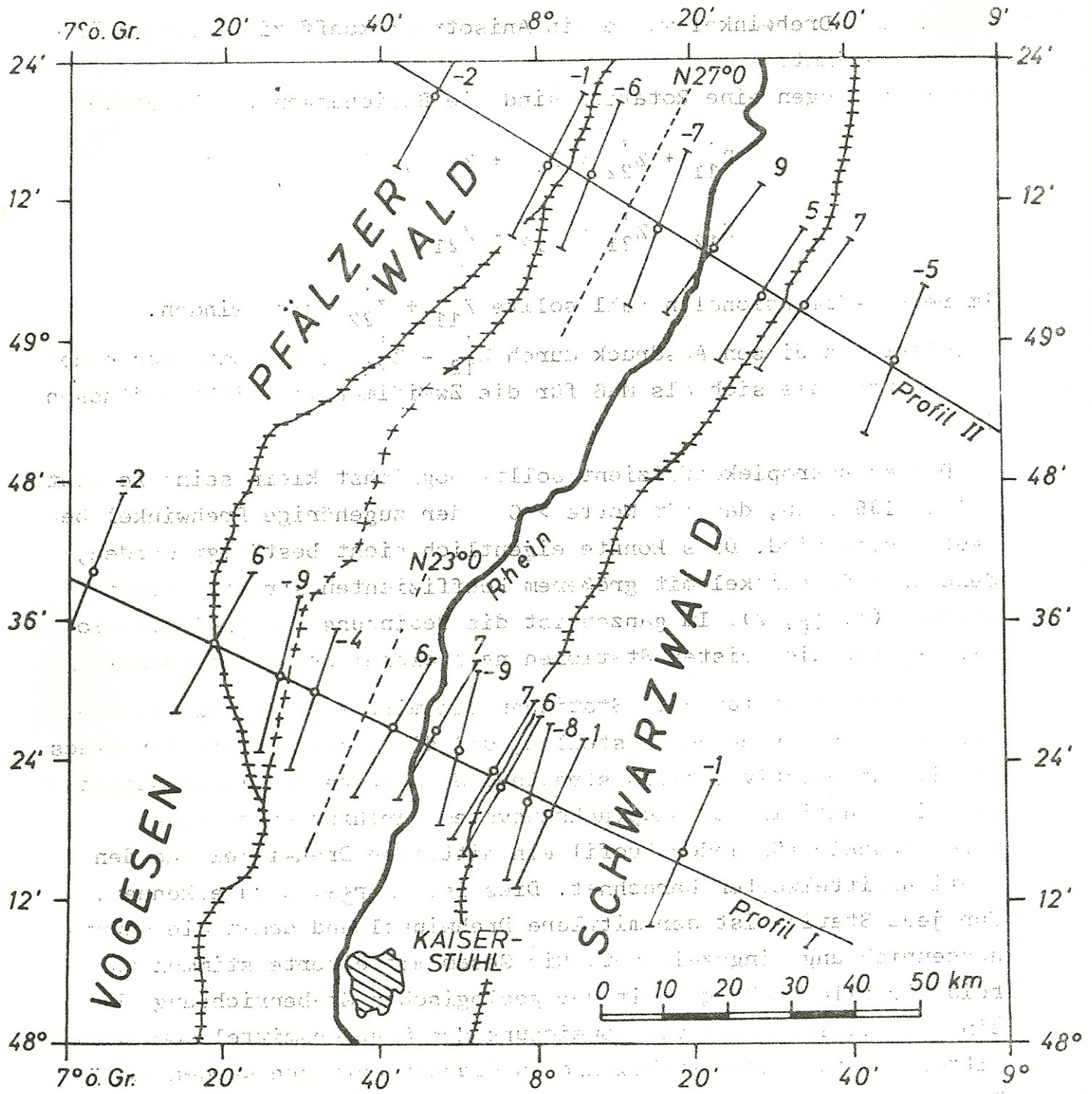


Fig. 3

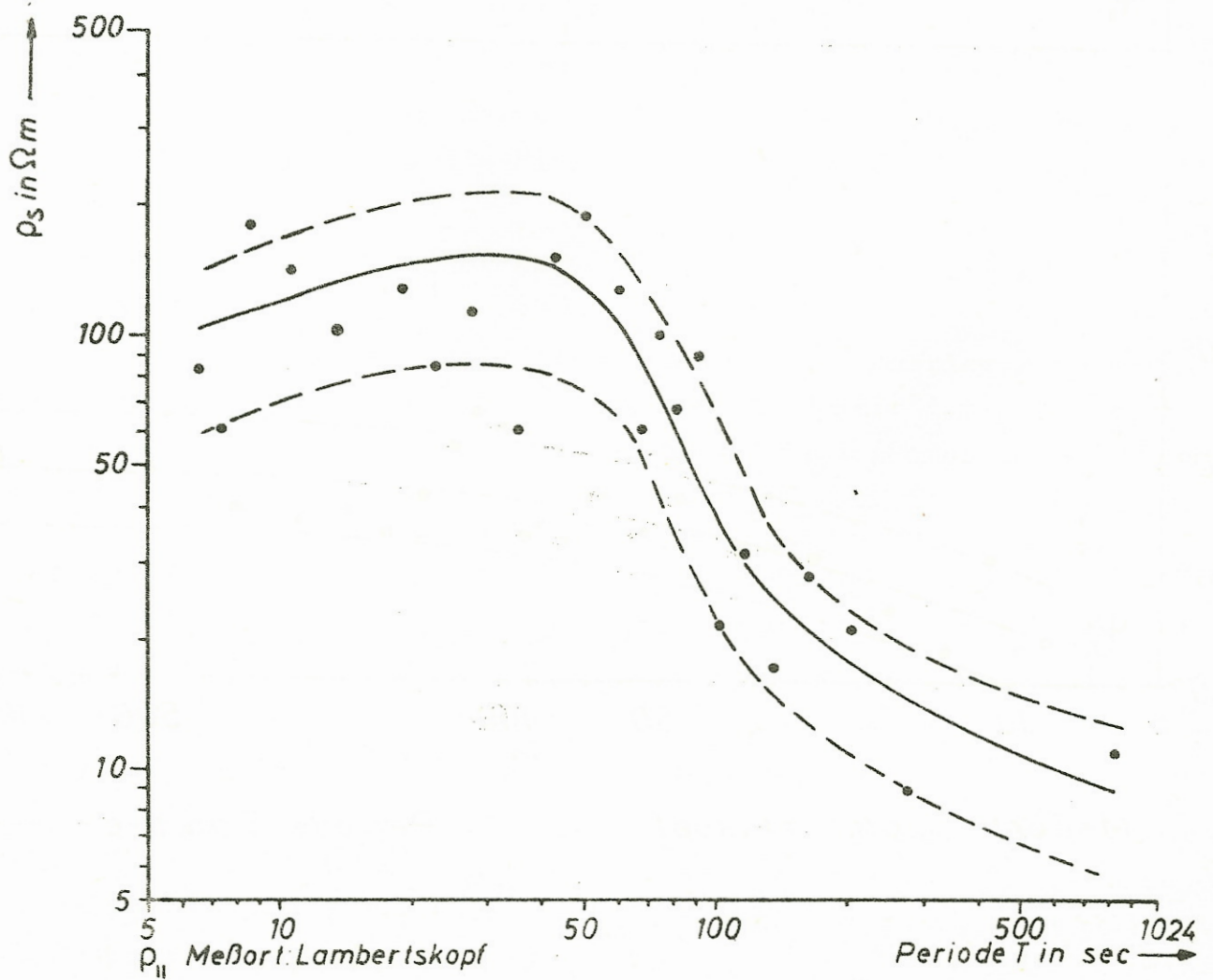
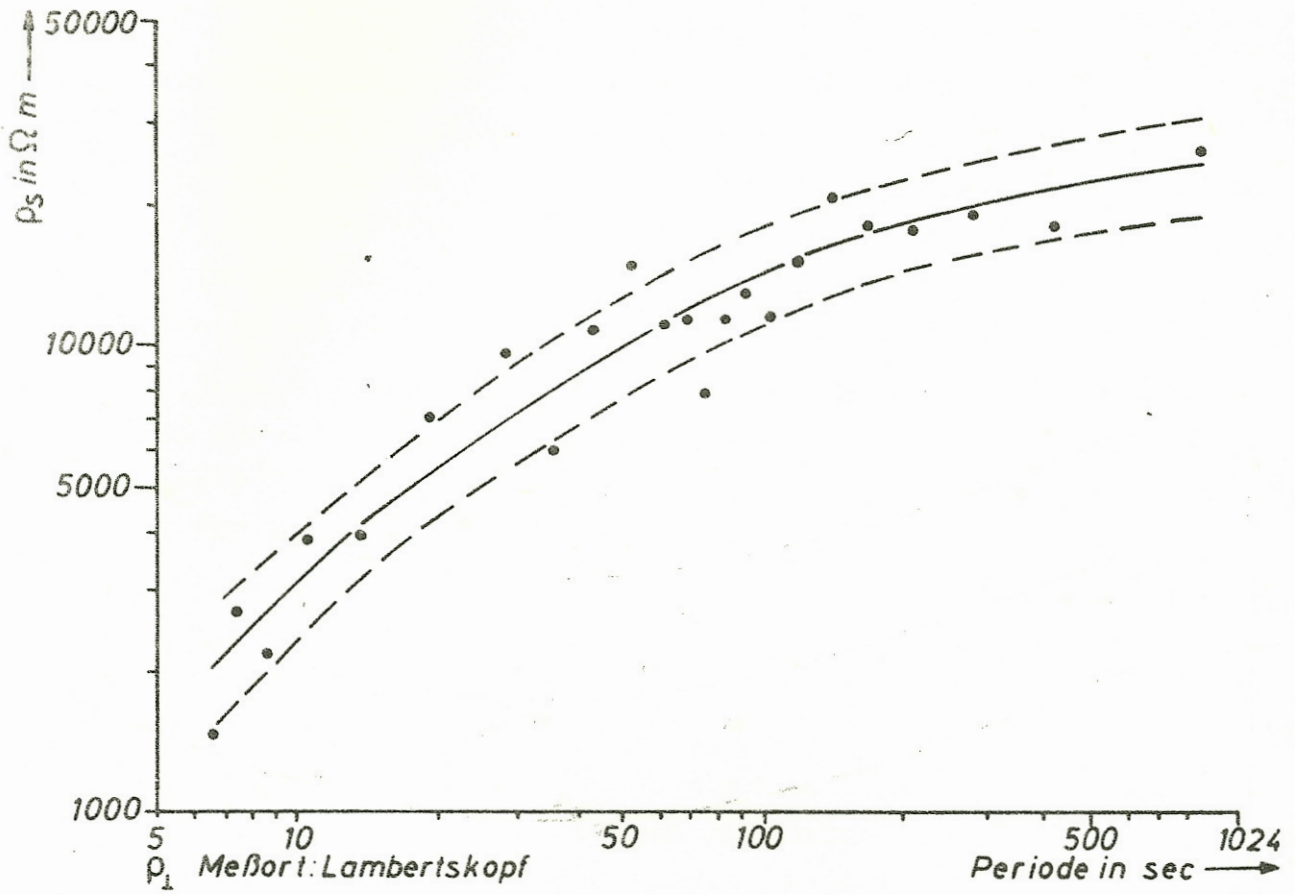
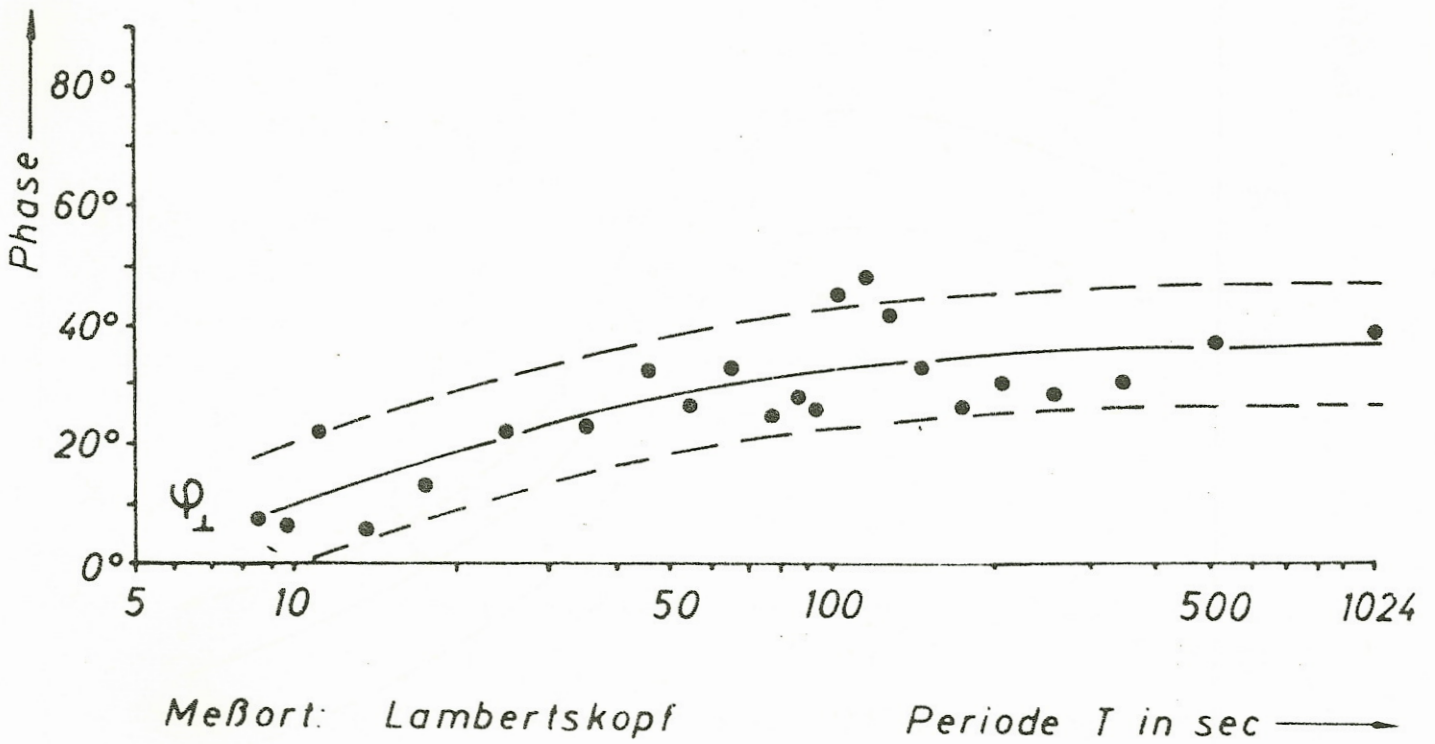
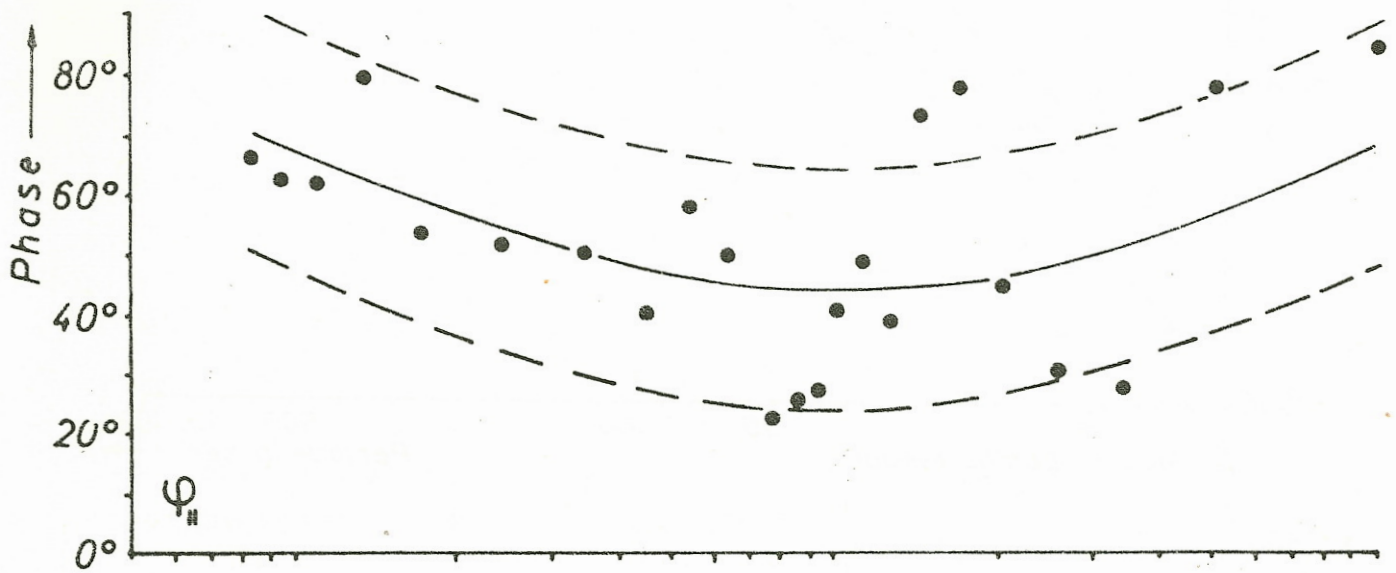


Fig. 4



her sinnvoll, eine möglichst glatte Kurve durch die Punkte zu legen. Gleichzeitig ließen sich empirische Vertrauensgrenzen einzeichnen und zwar so, daß 80% der Werte in dem gestrichelten Bereich liegen. Die Grenzen wurden nach der jeweiligen Streuung der Meßpunkte gewählt, wodurch sie manchmal breiter, manchmal schmaler erscheinen. In gleicher Weise wurden die Phasenfunktionen behandelt.

Für jede Station wurde dann für bestimmte Perioden der Wert der glatten Kurve mit den zugehörigen Vertrauensgrenzen genommen und über dem Profil aufgetragen. In Fig.6 sind für 3 Periodenwerte die Phasen für H-polarisiert und E-polarisiert von Profil II aufgetragen. Linksseitig sind Phasen im Fall der H-Polarisation für 1000 sec etwa konstant; sie sinken im Graben etwas ab und steigen dann rechtsseitig ziemlich stark an. Für 100 sec Periode haben die Phasen besonders auf der rechten Seite einen unregelmäßigen Verlauf. Die Phasenwerte für 10 sec sind außerhalb des Grabens auf beiden Seiten niedrig und steigen zur Mitte hin stark an. Im Fall der E-Polarisation liegen die Phasen bis auf die östlichste Station ziemlich dicht zusammen; es ist also keine ausgeprägte Periodenabhängigkeit zu erkennen.

Auch die lateralen Änderungen sind vergleichsweise schwach: an den Rändern liegt jeweils ein Maximum und in der Mitte ein flaches Minimum.

In Fig.7 ist der scheinbare Widerstand für E-polarisiert aufgetragen.

Außerhalb des Grabens zeigt sich ein leichter Anstieg, innerhalb ein leichtes Absinken. Die laterale Abhängigkeit ist nicht sehr deutlich, was wegen der Stetigkeit der Parallelkomponente des elektrischen Feldes auch nicht zu erwarten ist. Anders sieht es für die H-Polarisation aus, wie Fig.8 zeigt. Der scheinbare Widerstand weist an den Grabenrändern ausgeprägte Sprungstellen auf. Dieser Sprung ist auf der linken Seite höher und umfaßt rund 4 Zehnerpotenzen verglichen mit dem Wert in der Grabenmitte. Ein solches Verhalten läßt sich theoretisch durch die Unstetigkeit der Normalkomponenten des E-Feldes erklären.

Es wurde jetzt versucht, die Meßwerte anzupassen durch 2-dimensionale Modellkurven, die mit einem von Herrn Dr. SCHMUCKER (Institut für Geophysik, Universität Göttingen) entwickelten Rechenprogramm erhalten wurden.

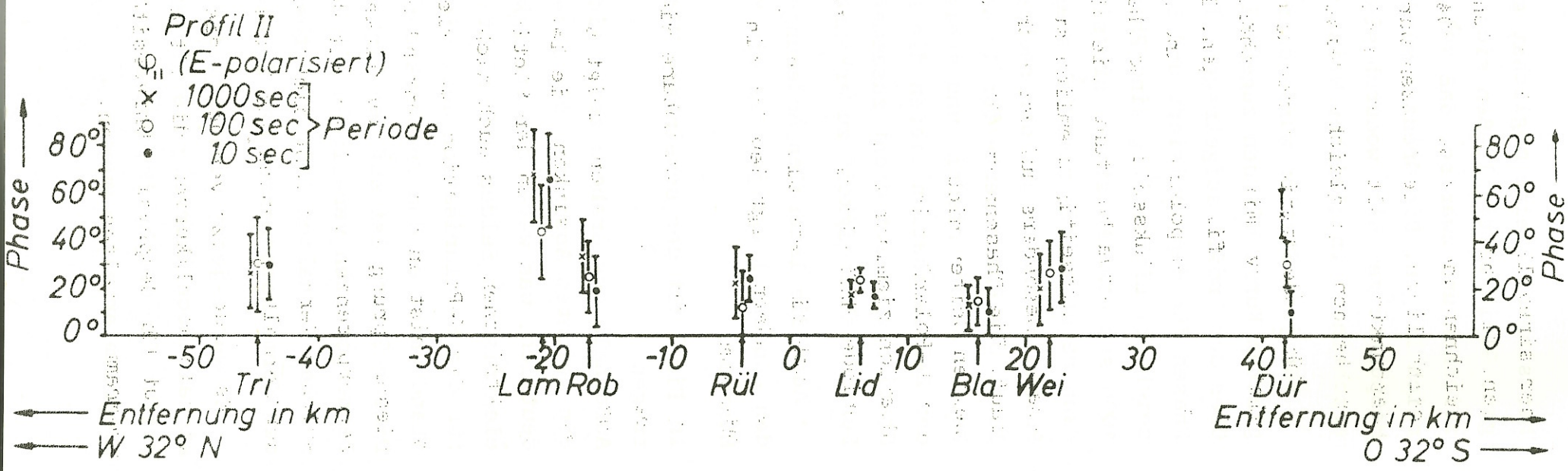
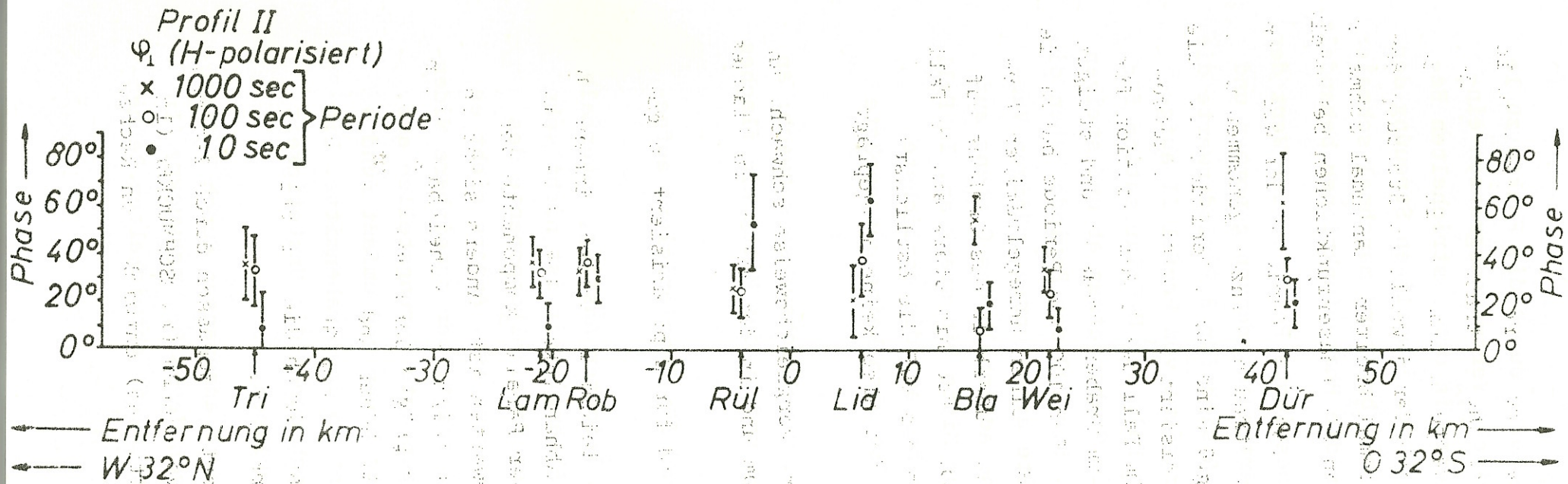


Fig. 6

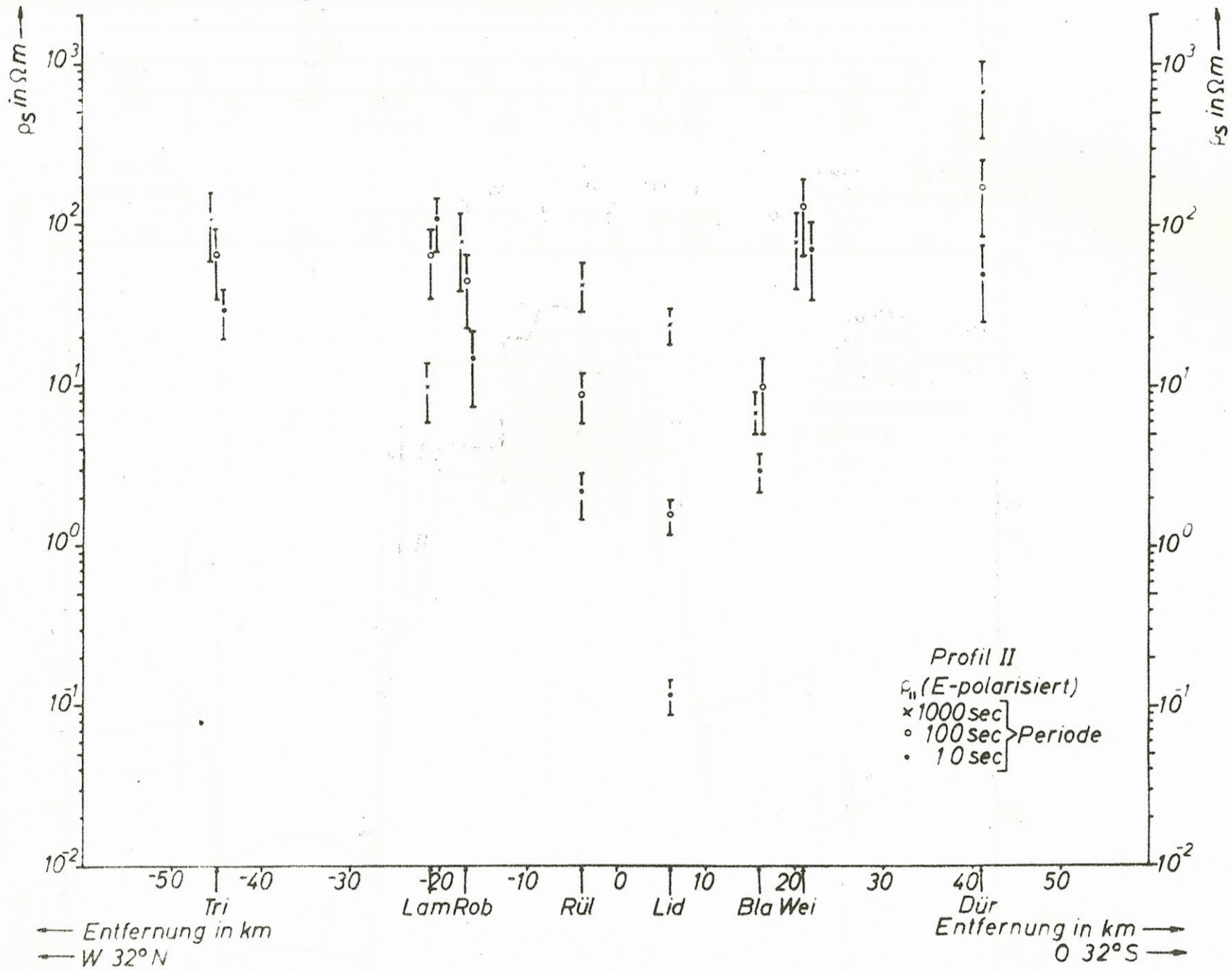


Fig. 7

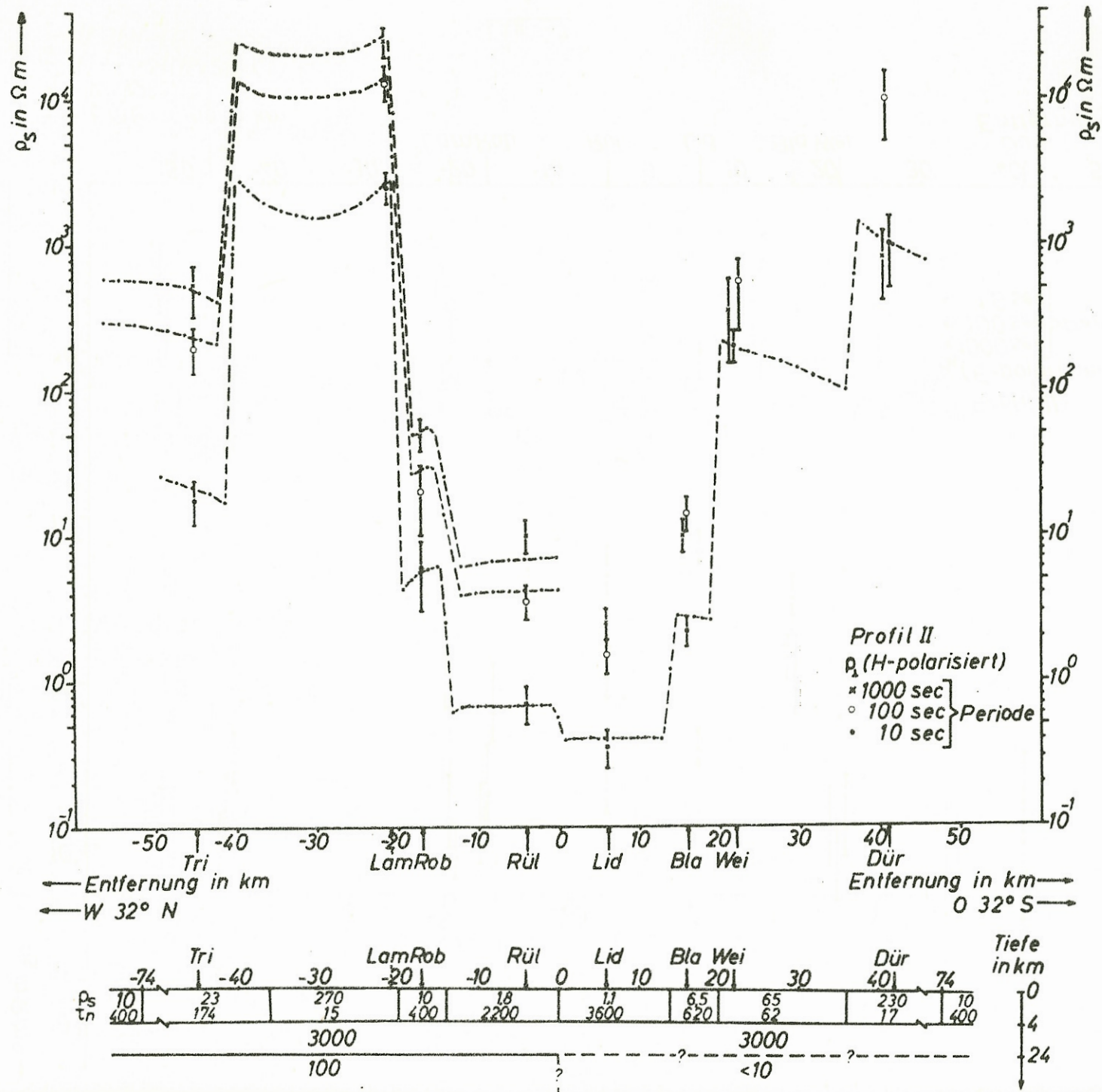


Fig. 8

Für die Periode von 10 sec sieht das Ergebnis so aus: Die gefundenen Widerstandsänderungen lassen sich vollständig durch die Deckschicht erklären. Die gezeigte Modellkurve ist das Ergebnis vieler Versuche und als optimal zu bezeichnen. Das Modell besteht zunächst aus einer 4 km dicken Deckschicht; wird sie dünner gewählt, so muß der Widerstand erniedrigt werden, damit die integrierte Leitfähigkeit konstant bleibt.

Für die Perioden von 100 und 1000sec konnten die Modellrechnungen vorerst nur für die linke Seite zu einem gewissen Abschluß gebracht werden. Danach sind die Sprünge in ρ_g durch die gleichen Widerstandsänderungen in der Deckschicht erklärbar. Die Periodenabhängigkeit außerhalb des Grabens erfordert dann aber einen schlechten Leiter von ca. 3000 Ωm und in etwa 24 km Tiefe den Beginn eines besseren Leiters mit ca. 100 Ωm .

In Fig.9 sind die Modellkurven für die Phasen aufgetragen. Für 10 sec Periode konnte wieder eine gute Übereinstimmung erzielt werden. Für 1000 sec paßt die Modellkurve außerhalb des Grabens ebenfalls gut. Im Graben steigt die Modellphase leicht an, während die berechneten Werte etwas absinken. Meß- und Modellwerte stimmen jedoch noch innerhalb der Vertrauensgrenzen überein. Bei 100 sec Periode liegt die Modellkurve am Rand der Vertrauensgrenzen für die Stationen außerhalb des Grabens; die gemessenen Werte sind dort zu groß. Im Graben streuen die Meßwerte zu stark; ein eindeutigeres Bild hätte sich nur durch mehr Meßpunkte gewinnen lassen.

Es ist zu beachten, daß am rechten Rand für 1000 sec die Phase stark ansteigt, was auf einen guten Leiter in der Tiefe hindeutet. Diese Vermutung wird auch durch das Verhalten des scheinbaren Widerstandes bestärkt, da der Wert für 1000 sec niedriger ist als derjenige für 100 sec. Hieraus ist auf eine unsymmetrische Verteilung des Widerstandes unter dem Rheingraben zu schließen. Aus den bisherigen Modellrechnungen ergibt sich zunächst wieder ein schlechter Leiter mit ca. 3000 Ωm und danach ein guter Leiter mit höchstens 10 Ωm . Der Beginn dieser Schicht läßt sich noch nicht angeben, liegt aber wahrscheinlich unter 24 km. Die laterale Erstreckung unter dem Graben ist nur schwierig zu ermitteln, da die Variationen betrachteten Periodenbereich durch die gutleitenden

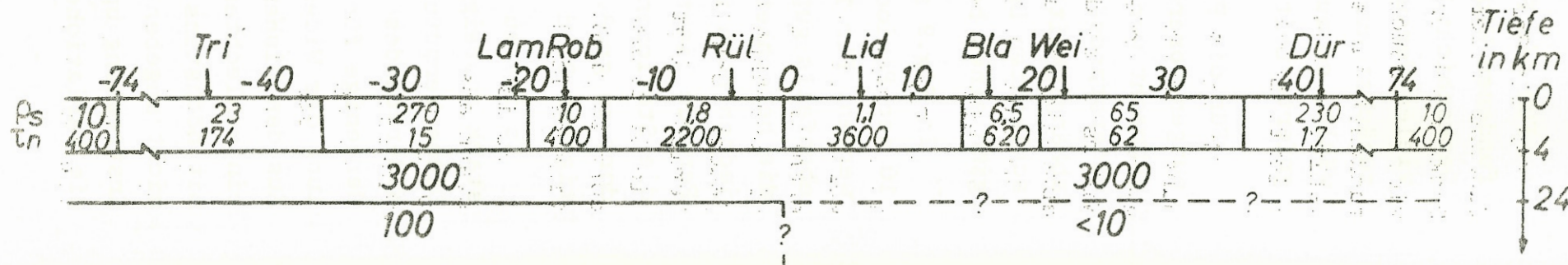
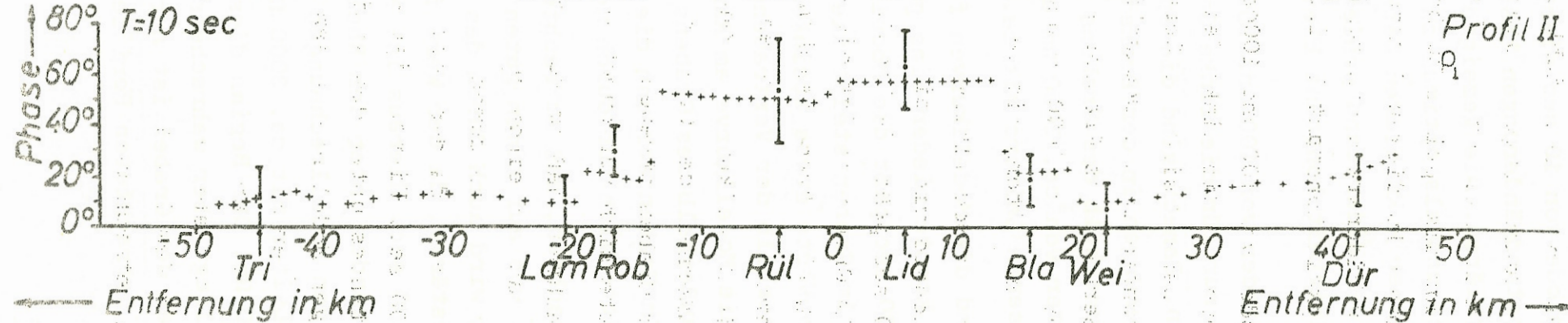
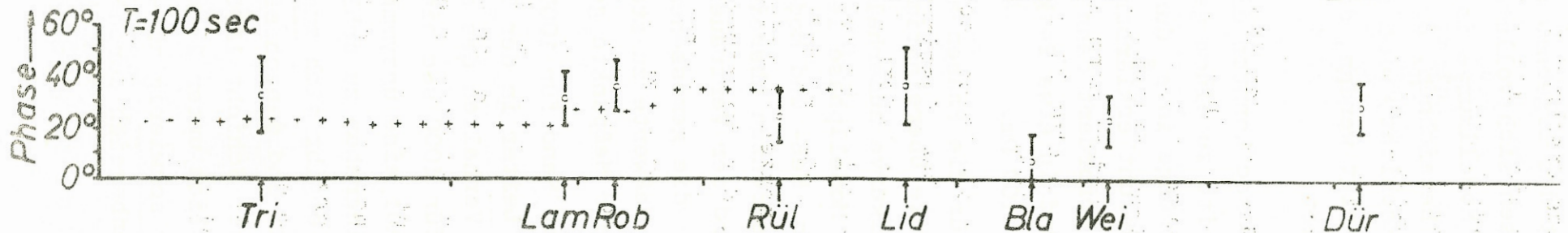
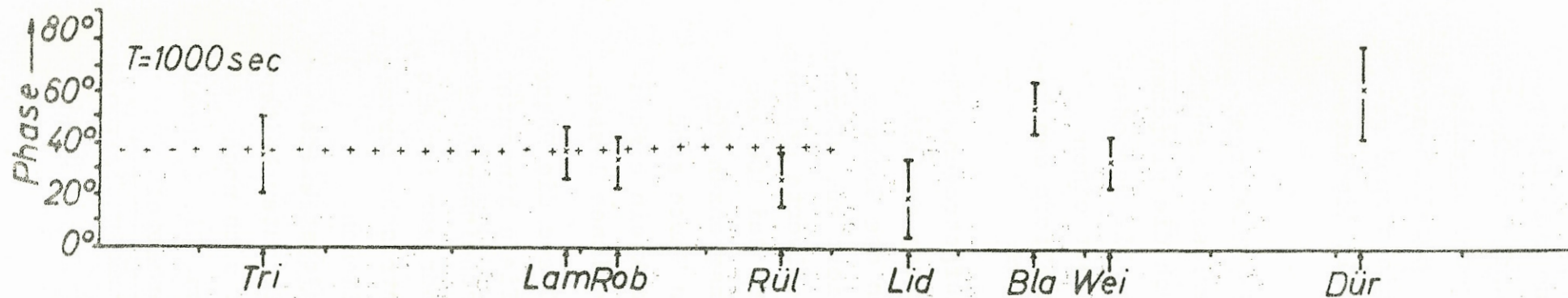


Fig. 3

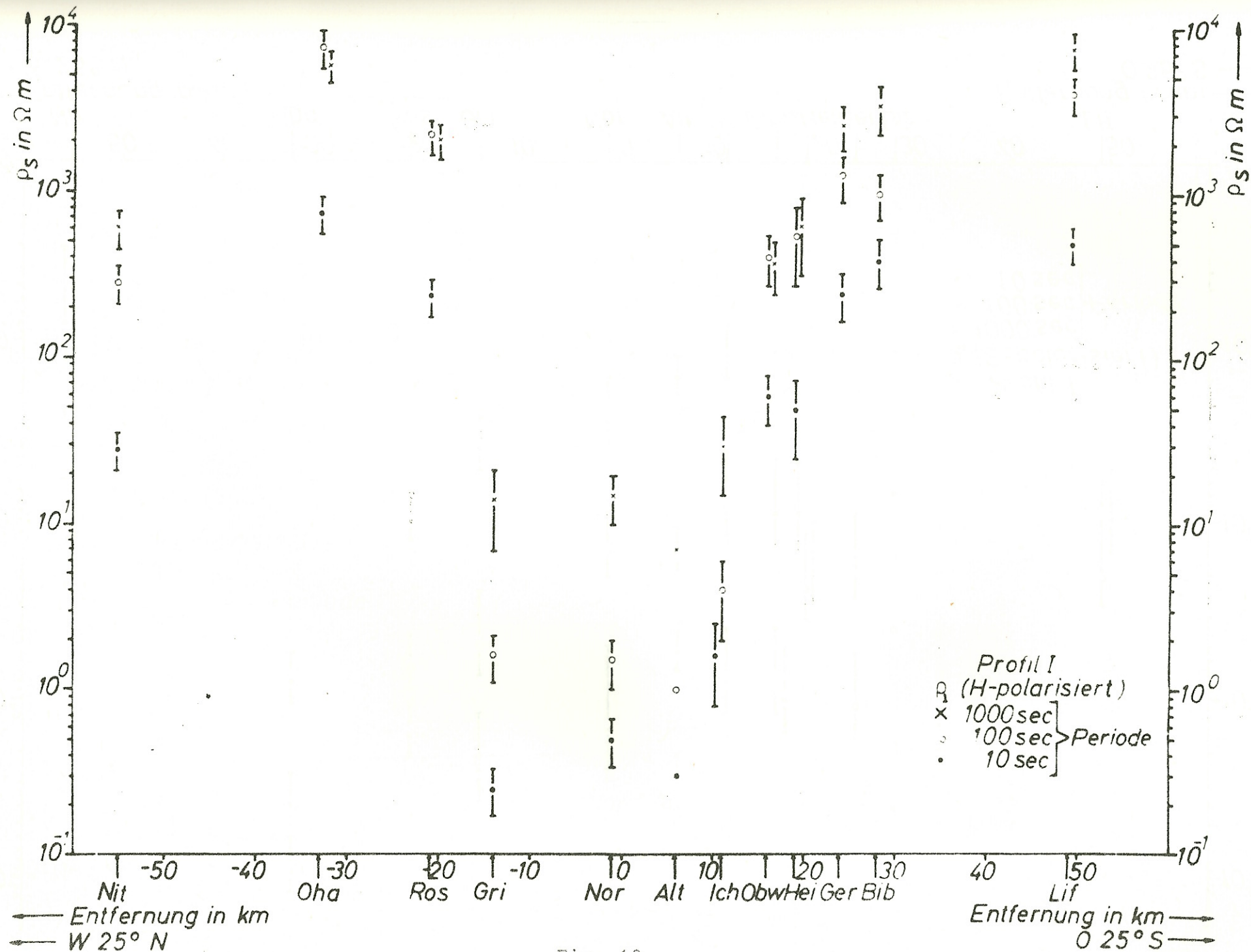


Fig. 10

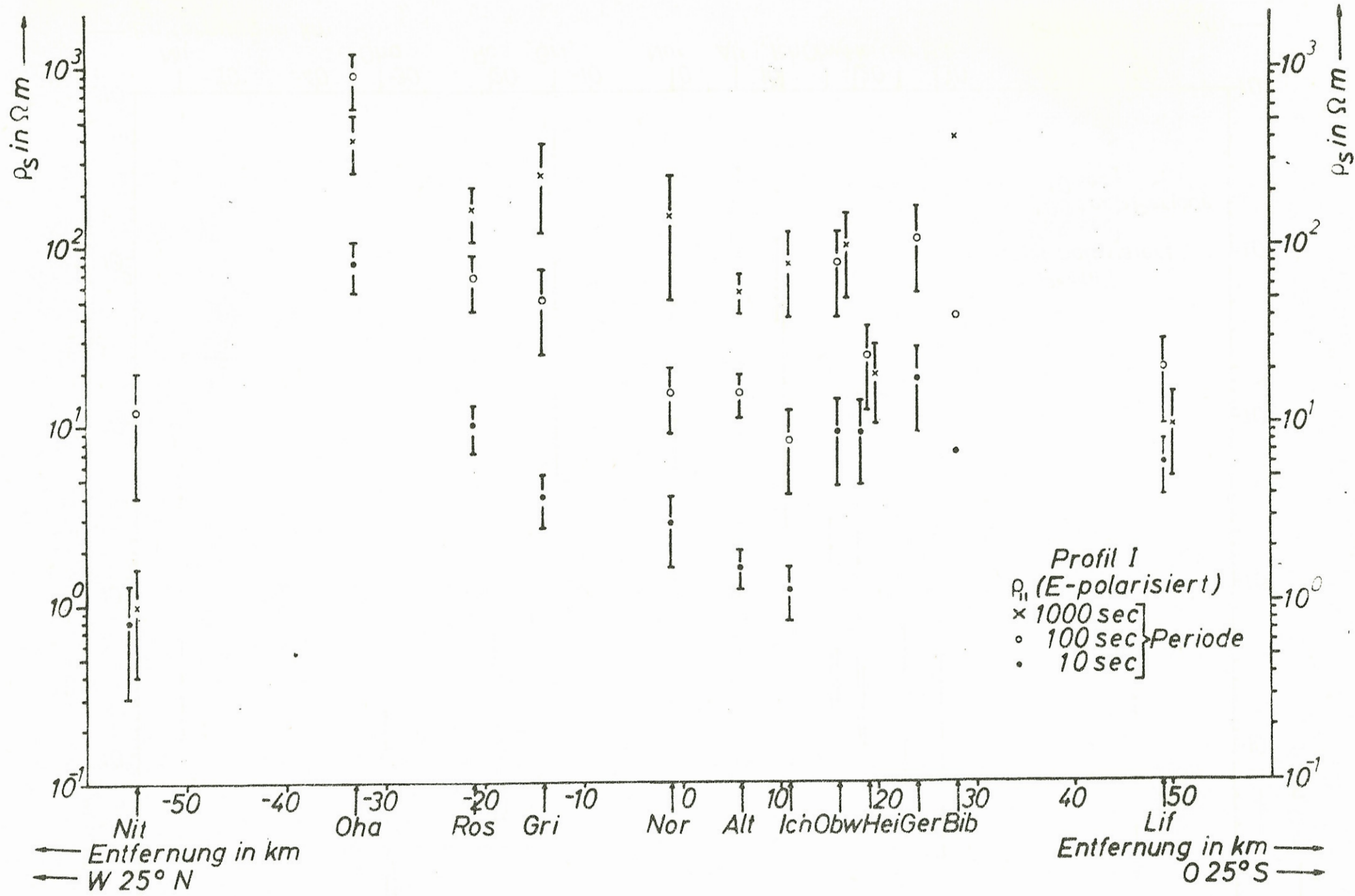
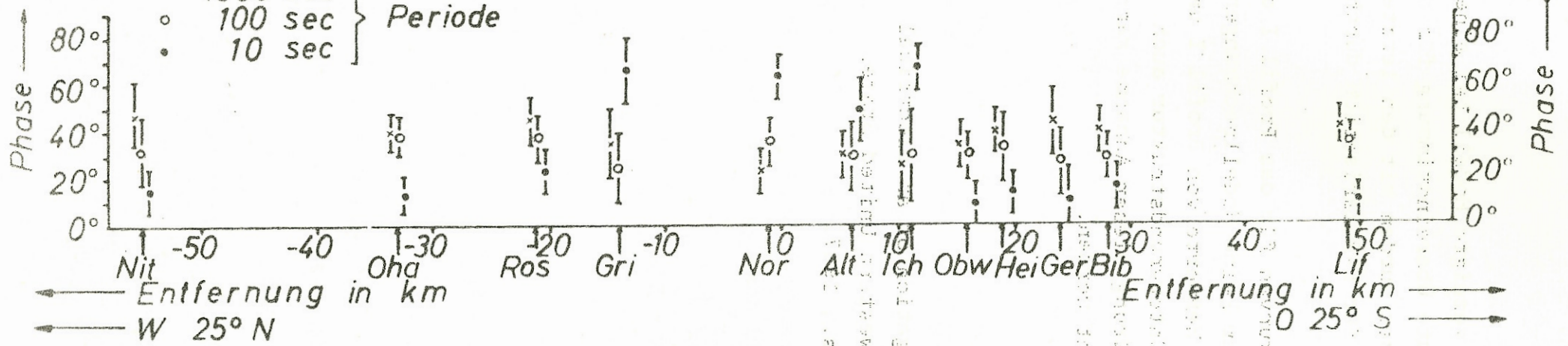


Fig. 11

PROFIL I

ϕ_1 (H = polarisiert)

* 1000 sec } Periode
 o 100 sec
 • 10 sec



PROFIL I

ϕ_1 (E = polarisiert)

* 1000 sec } Periode
 o 100 sec
 • 10 sec

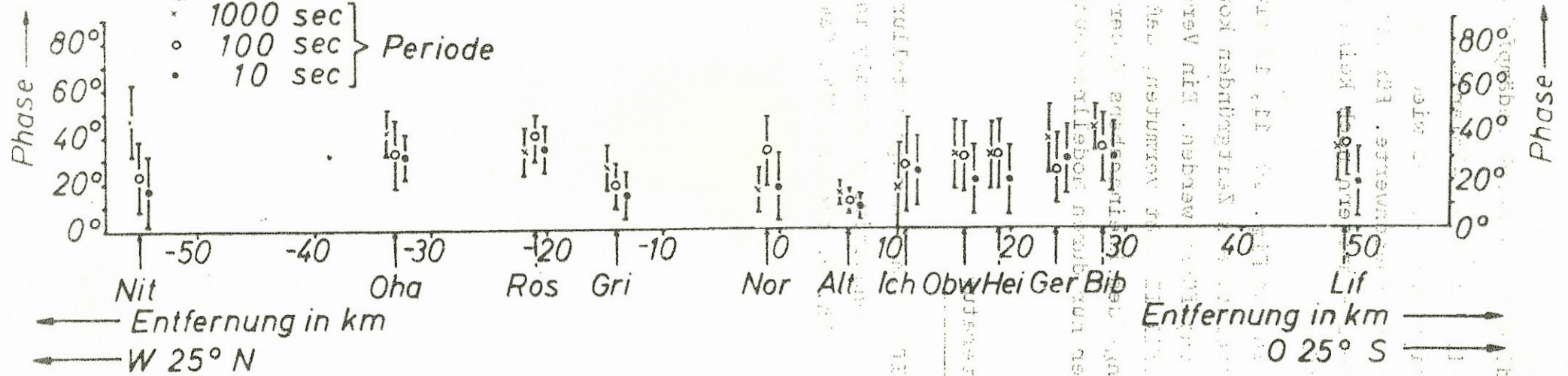


Fig. 12

Sedimente zu stark gedämpft werden.

Im Fall von E-Polarisation gibt das gezeigte Modell bei einer Periode von 10 sec wieder eine recht gute Übereinstimmung für die ρ_s - und Phasenwerte. Für 100 und 1000 sec wurden mit den letzten Modellparametern noch keine Rechnungen für E-Polarisation durchgeführt.

In den Fig. 10, 11, 12 sind die Meßkurven für das Profil I dargestellt. Aus Zeitgründen konnten bisher keine Modellrechnungen durchgeführt werden. Ein Vergleich der Meßwerte von Profil I und Profil II läßt vermuten, daß sich die Untergrundstruktur auch längs des Rheingrabens ändert. Eine Klärung dieser Annahme kann aber nur durch Modellrechnungen erbracht werden.

Literatur

- SWIFT, C.M.: A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States.
Ph. D. thesis, MIT, Cambridge Mass., 1967.