

"Das Verhalten von Amplitude und Richtung des zeitlich variablen erdelektrischen und erdmagnetischen Feldes an Stationen in Süddeutschland und ihr Einfluß auf einige, für diese Stationen berechnete φ_g -Kurven der Magnetotellurik."

Donnerstag, den 30.9.1965

1. Einleitung.

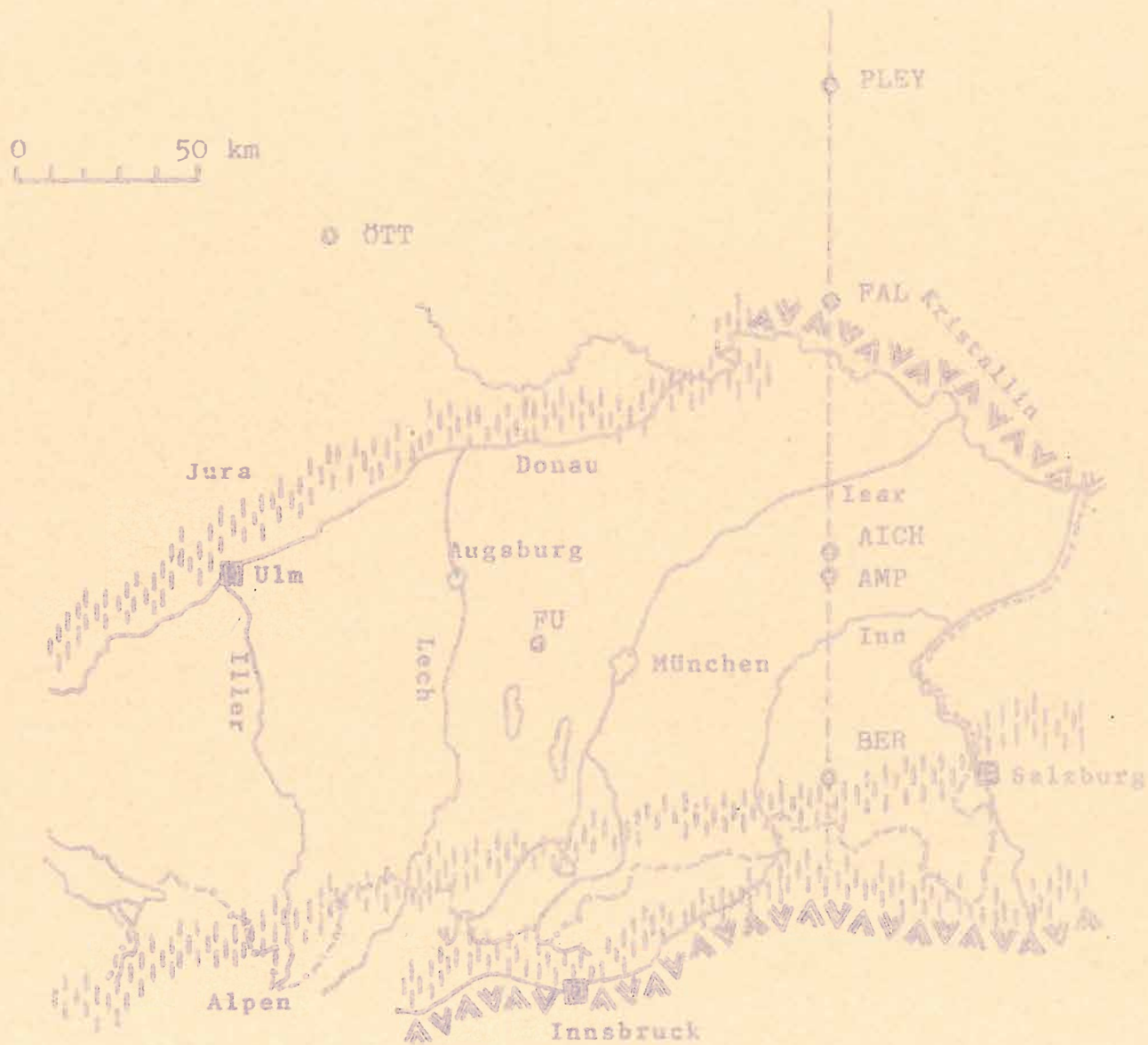
In den Jahren 1962-65 wurden in Süddeutschland entlang von Profilen und an einzelnen Stationen die Variationen des erdelektrischen Feldes und an mehreren Orten gleichzeitig die Variationen des erdmagnetischen Feldes registriert. Einige der dabei erhaltenen Ergebnisse, die das unterschiedliche Verhalten des elektrischen und magnetischen Feldes im Meßgebiet zeigen, werden in Abschnitt 2 und 3 besprochen.

Die Registrierungen des E- und F-Feldes an einem Ort wurden auch nach dem Verfahren von Cagniard ausgewertet. Dabei ergaben sich Fragen, die nicht zu klären sind, wenn das E- und F-Feld nur eines Ortes betrachtet werden. Dagegen läßt sich eine Erklärung geben, wenn man das Verhalten von Amplitude und Richtung des E- und F-Feldes im gesamten Meßgebiet berücksichtigt (Abschnitt 4).

Es werden hauptsächlich Messungen an folgenden Stationen besprochen: Stationen Pleystein (PLEY) und Falkenstein (FAL) im Kristallin des Oberpfälzer bzw. Bayerischen Waldes, Stationen Aich und Ampfing (AMP) im Mittelteil der östlichen Molasse Süddeutschlands, Station Bernau (BER) am Chiemsee nahe den Alpen, Station Öttingen (ÖTT) nördlich des Nördlinger Rieses im Jura und Messungen aus dem Geophysikalischen Observatorium Fürstfeldbruck (FU) in der Mitte der Molasse. Die Lage der Stationen zeigt Fig. 1.

2. Die Registrierungen des zeitlich variablen erdelektrischen Feldes.

Der überwiegende Teil der Stationen, an denen bisher das E-Feld registriert wurde, liegt längs eines Profiles von den Alpen durch den Ostteil der Bayerischen Molasse und durch den Bayerischen Wald bis zum Oberpfälzer Wald. Für diese Stationen wurde Stat. Falkenstein im Kristallin des Bayerischen Waldes als Basisstation benutzt.



Figur 1: Lage der Stationen, an denen das E- und das R-Feld gemessen wurde.

(Eine ausführlichere Beschreibung der Messergebnisse dieses Profils findet sich in der Diplomarbeit von K. P. Sengpiel, der auch die Fig. 2, 3 und 5 entnommen wurden, in den Vortrageszusammenfassungen zum Symposium Salzgitter-Lebenstedt 1963 und in der Diplomarbeit des Autors.)

In folgenden werden die Amplituden der Variationen an den Wanderstationen verglichen mit den Amplituden der Variationen an der Basisstation Falkenstein (Fig. 2 mit 5). In Fig. 2 bis 4 ist auf der Ordinate das Verhältnis

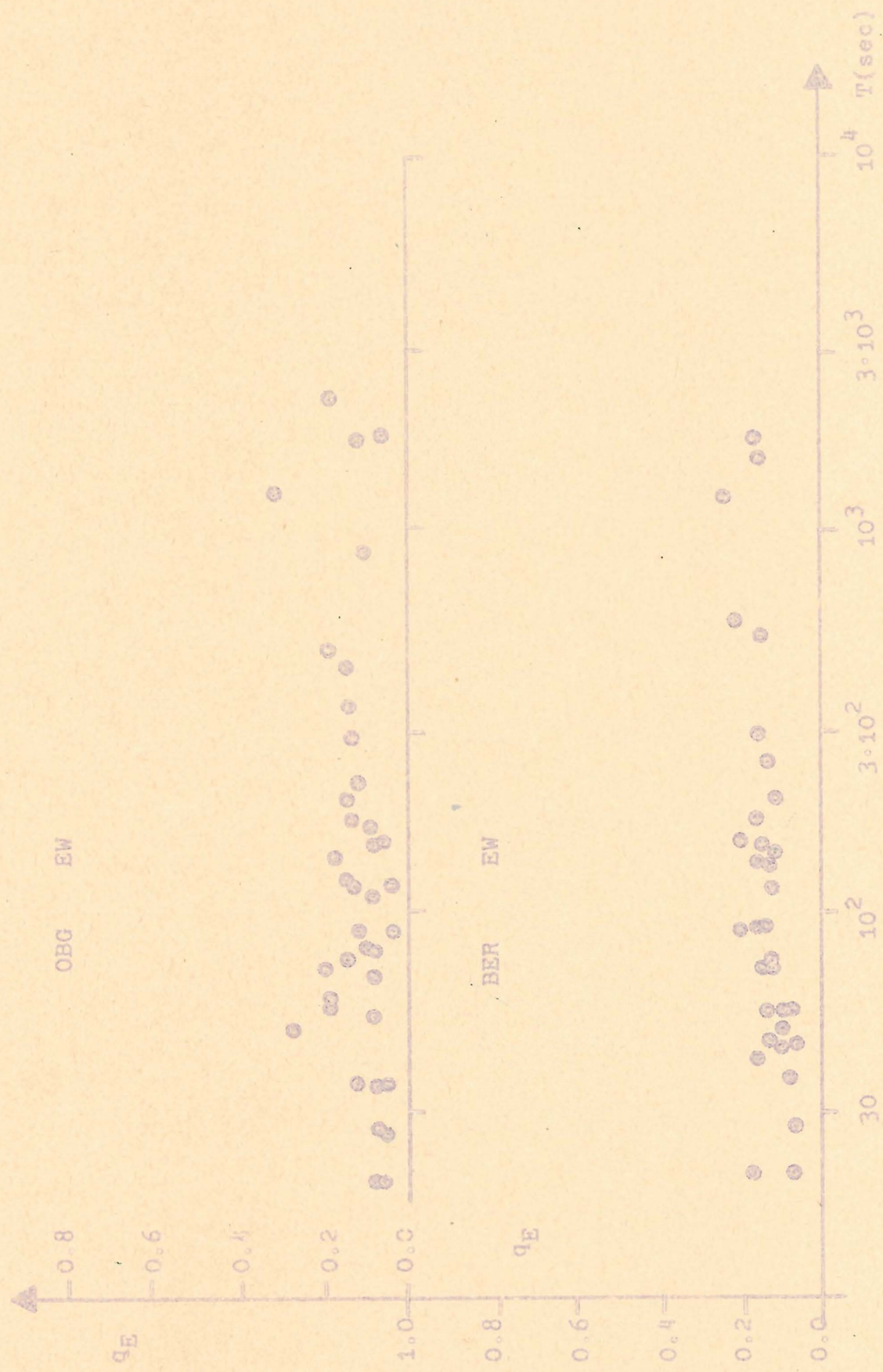
$$q_E = \frac{E_{EW}(\text{Wanderstat.})}{E_{EW}(\text{Falkenstein})} \quad \text{bzw.} \quad q_N = \frac{E_{NS}(\text{Wanderstat.})}{E_{NS}(\text{Falkenstein})}$$

auf der Abszisse die Periode der Variationen von 10 bis 10^4 sec aufgetragen. Aus Fig. 2 bis 4 kann entnommen werden, daß die Amplitudenverhältnisse q_N bzw. q_E im ausgewerteten Periodenbereich von $50 - 10^4$ sec keine Perioden-Abhängigkeit zeigen, d. h. daß die Amplituden der langen Perioden in der Molasse im selben Verhältnis kleiner werden wie die Amplituden der kurzen Perioden. Es war deshalb möglich, für jede Station ein mittleres q_N bzw. q_E zu bilden. Diese sind in Fig. 5 über dem Profil aufgetragen. (Die q_E -Werte sind auf q_N an Station Falkenstein bezogen.) Man sieht, daß die Amplituden der Variationen stark von der Leitfähigkeit der obersten km abhängen. Sie sind im Kristallin am größten und nehmen mit wachsender Sedimentmächtigkeit unter den Wanderstationen um mehr als eine Zehnerpotenz ab. So sind z. B. die Amplituden der Variationen an der Station Bernau ungefähr 30 mal kleiner als die an der Basisstation Falkenstein.

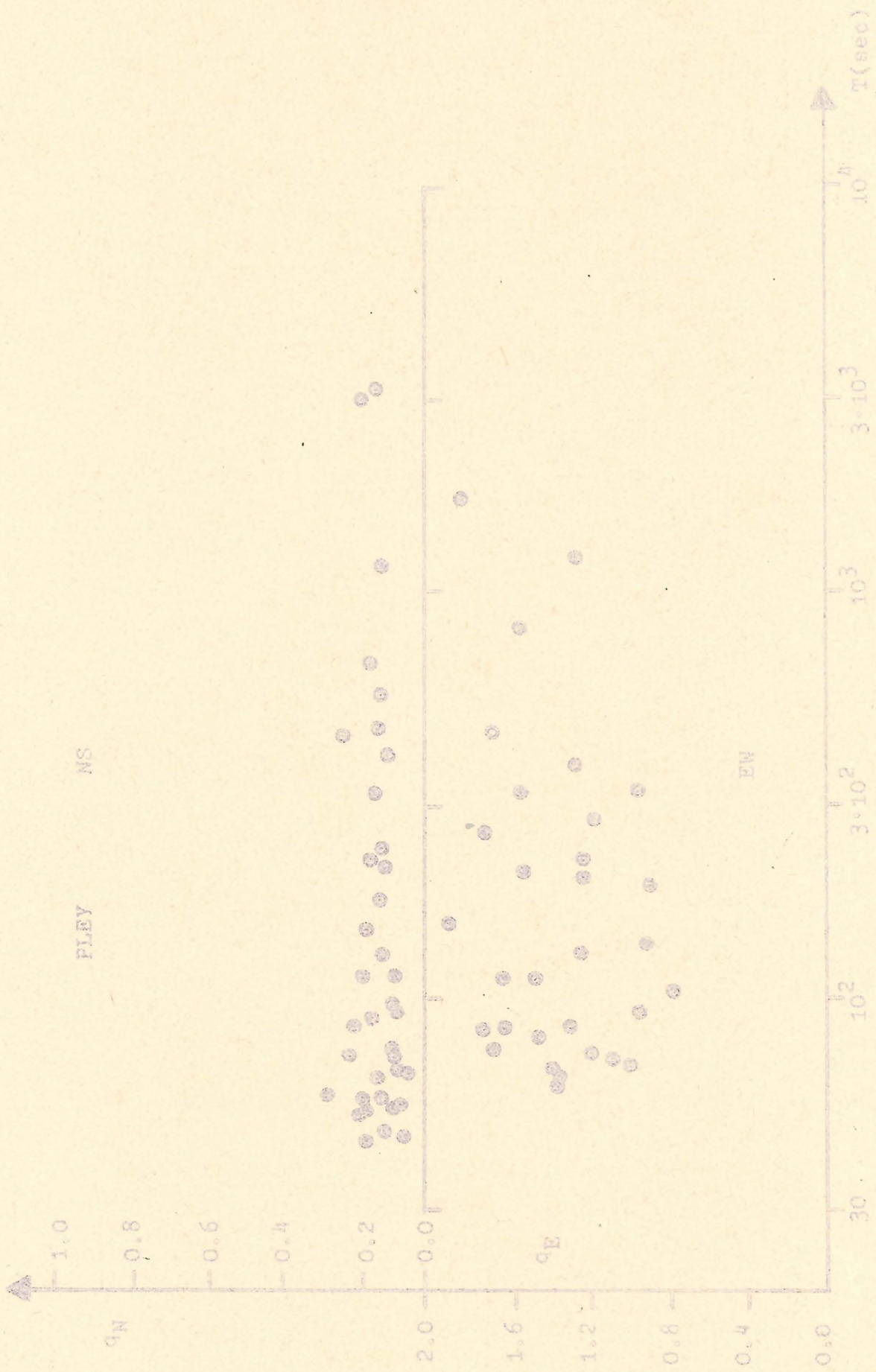
Wie sich aus unseren Messungen und denen anderer Autoren ergeben hat, besitzt die horizontale Komponente des E-Feldes an den meisten der bisher vermessenen Stationen eine gut definierte Vorzugsrichtung. (Die Schleifen der Vektordiagramme können durch schlanke Ellipsen angenähert werden. Die Richtungen der großen Achsen sind innerhalb der Fehlergrenze im Periodenbereich von $50 - 10^4$ sec unabhängig von der Periode. Die über obigen Periodenbereich gemittelte Richtung der großen Achsen wird Vorzugsrichtung genannt.) Die Schleifen der horizontalen Komponente des F-Feldes sind meist nicht schlank. Wenn beim F-Feld auch für einzelne Periodengruppen Vorzugsrichtungen vorhanden sein mögen, so läßt sich eine solche über den ganzen Periodenbereich von $50 - 10^4$ sec nicht bestimmen.



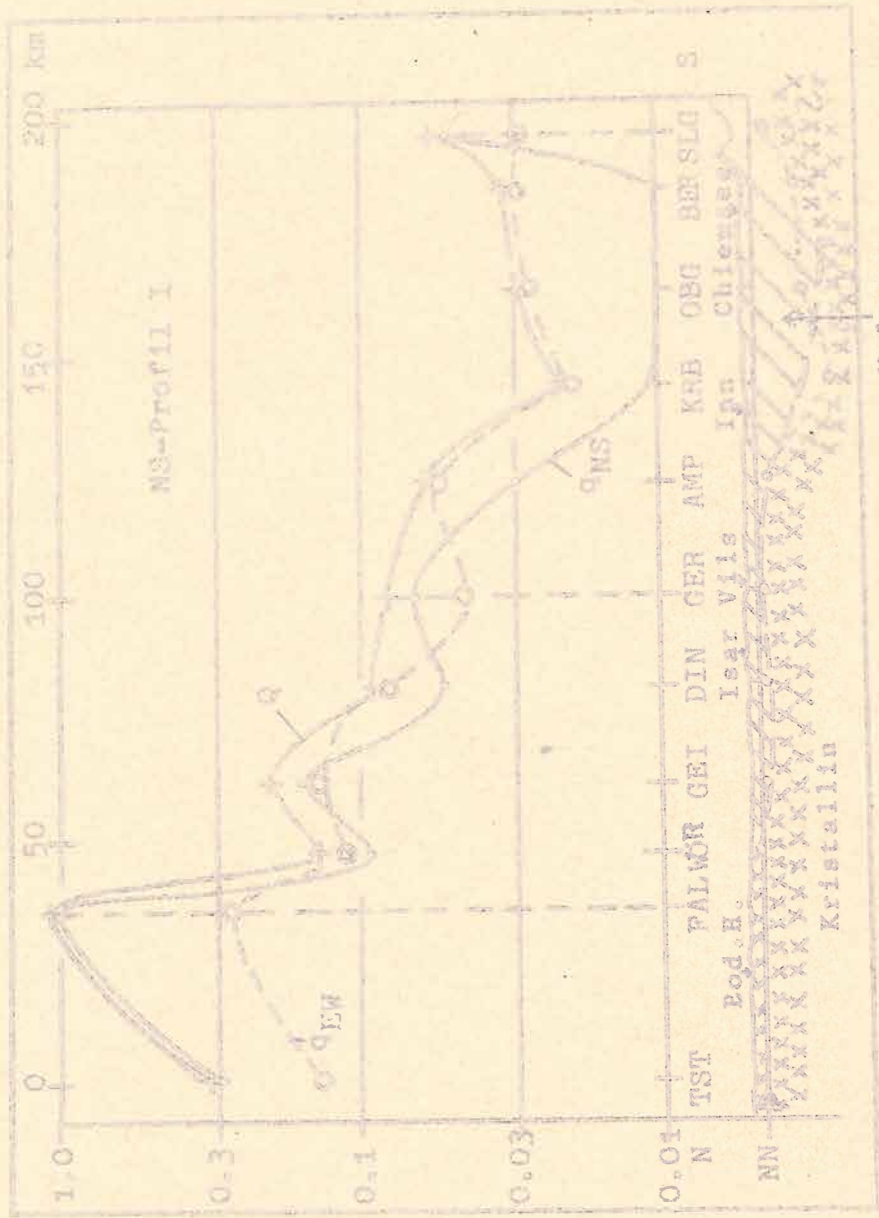
Figur 2: Gemessene Amplitudenverhältnisse q_E und q_N für die Station Ampfing.



Figur 3: Gemessene Amplitudenverhältnisse q_E für die Station Bernau und eine nördlich davon gelegene Station.



Figur 4: Gemessene Amplitudenverhältnisse q_E und q_N für die Station Playstein.



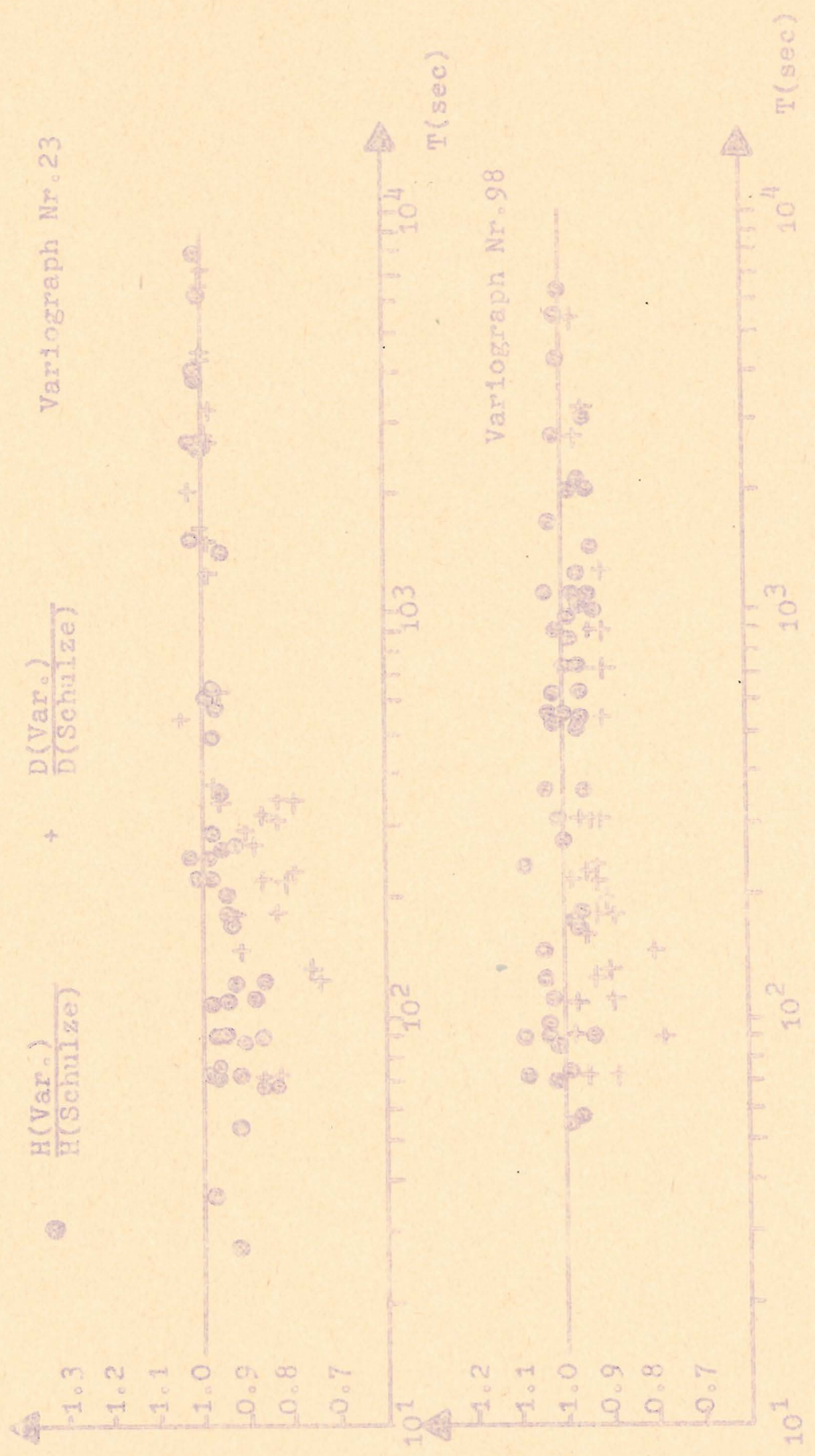
Figur 5: NS-Profil I. Über dem Profil sind die Amplitudenverhältnisse des elektrischen Feldes q_{NS} und q_{EW} - bezogen auf die NS-Komponente an der Station Falkenstein - aufgetragen.

Ursache für die Vorzugsrichtungen des E-Feldes in der Molasse dürfte die großräumige inhomogene Leitfähigkeitsverteilung in horizontaler Richtung sein. Vor allem der große Kristallinkomplex des Molassnubikums und die Alpen scheinen die Vorzugsrichtung in der Molasse zu bestimmen. Anzeichen für eine großräumige Anisotropie der Leitfähigkeit in der Molasse, die auch Ursache für eine Vorzugsrichtung wäre, liegen nicht vor. (Ein einfaches Modell, bei dem die horizontale Komponente des E-Feldes linear polarisiert, die des F-Feldes aber nicht linear polarisiert ist, diskutiert G. Angenheister.)

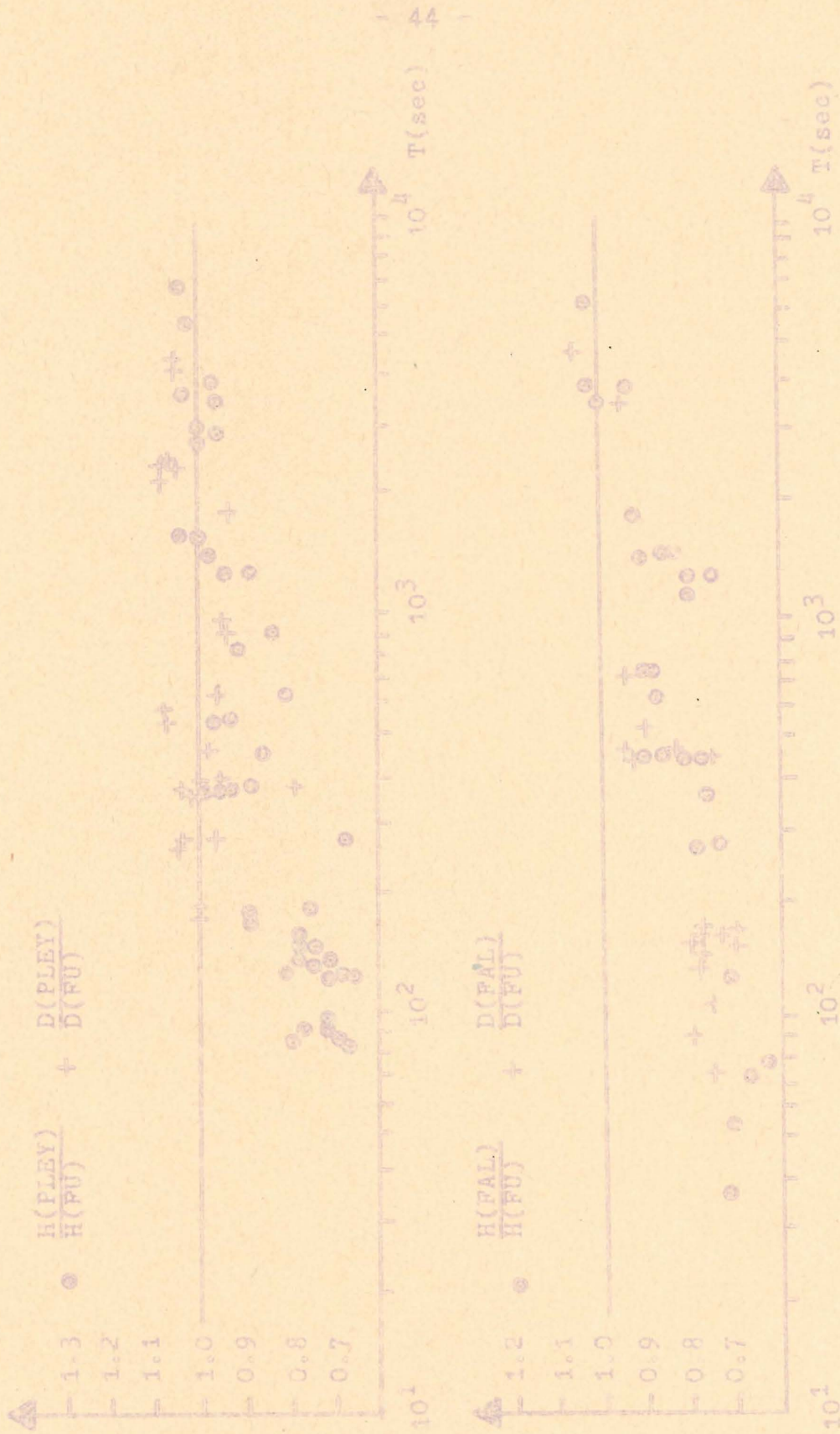
3. Die Registrierungen des zeitlich variablen erdmagnetischen Feldes
Basisstation für die F-Feldmessungen war das Observatorium Fürstfeldbruck (FU). Als Vergleichsregistrierungen wurden die Aufzeichnungen der Schulze Variometer benutzt. An den Wanderstationen wurde mit Aeskonia Variographen registriert.

Vor Beginn der Messungen an den Wanderstationen wurden die beiden vorhandenen Variographen im Gelände des Observatoriums Fürstfeldbruck aufgestellt. Die Amplituden der Variationen - aufgenommen mit den Schulze Variometern und den Variographen am selben Ort - wurden miteinander verglichen. Es sollten damit eventuell vorhandene Unterschiede in der Registrierung der Variationen zwischen Schulze Variometer und Variograph erkannt werden (Fig. 6). Auf der Ordinate wurde das Verhältnis $\frac{H(\text{Variograph Nr. 23 bzw. 95})}{H(\text{Schulze})}$ und das entsprechende Verhältnis für D aufgetragen. Dabei gelten die Punkte für das Verhältnis der H-Amplituden, die Kreuze für D. Auf der Abszisse wurde die Periode der Variationen von etwa $50 - 10^4$ sec aufgetragen. Die Streuung um den erwünschten Wert 1 ist für längere Perioden geringer als für kürzere Perioden. Außerdem ist die Abweichung von 1 für D etwas größer als für H. D scheint auch eine leichte Abhängigkeit des Amplitudenverhältnisses von der Periode zu besitzen.

Für den Amplitudenvergleich zwischen den Variationen an Basis- und Wanderstation wurden die Verhältnisse $H(\text{Wanderstat.})/H(\text{FU})$ und $D(\text{Wanderstat.})/D(\text{FU})$ im Periodenbereich von etwa $50 - 10^4$ sec gebildet und in Diagrammen über der Periode T der Variationen aufgetragen (Fig. 7 bis 12). Das Amplitudenverhältnis der H-Komponenten



Figur 6: Parallelregistrierung der Variographen mit den Schulze-Variometern
des Geophysikalischen Observatoriums Fürstenfeldbruck.



Figuren 7 und 8: Amplitudenverhältnisse $H(\text{Wanderstat.})/H(\text{FU})$ und $D(\text{Wanderstat.})/D(\text{FU})$ aufgetragen über der Periode für die Station Pleystein bzw. Falckenstein.

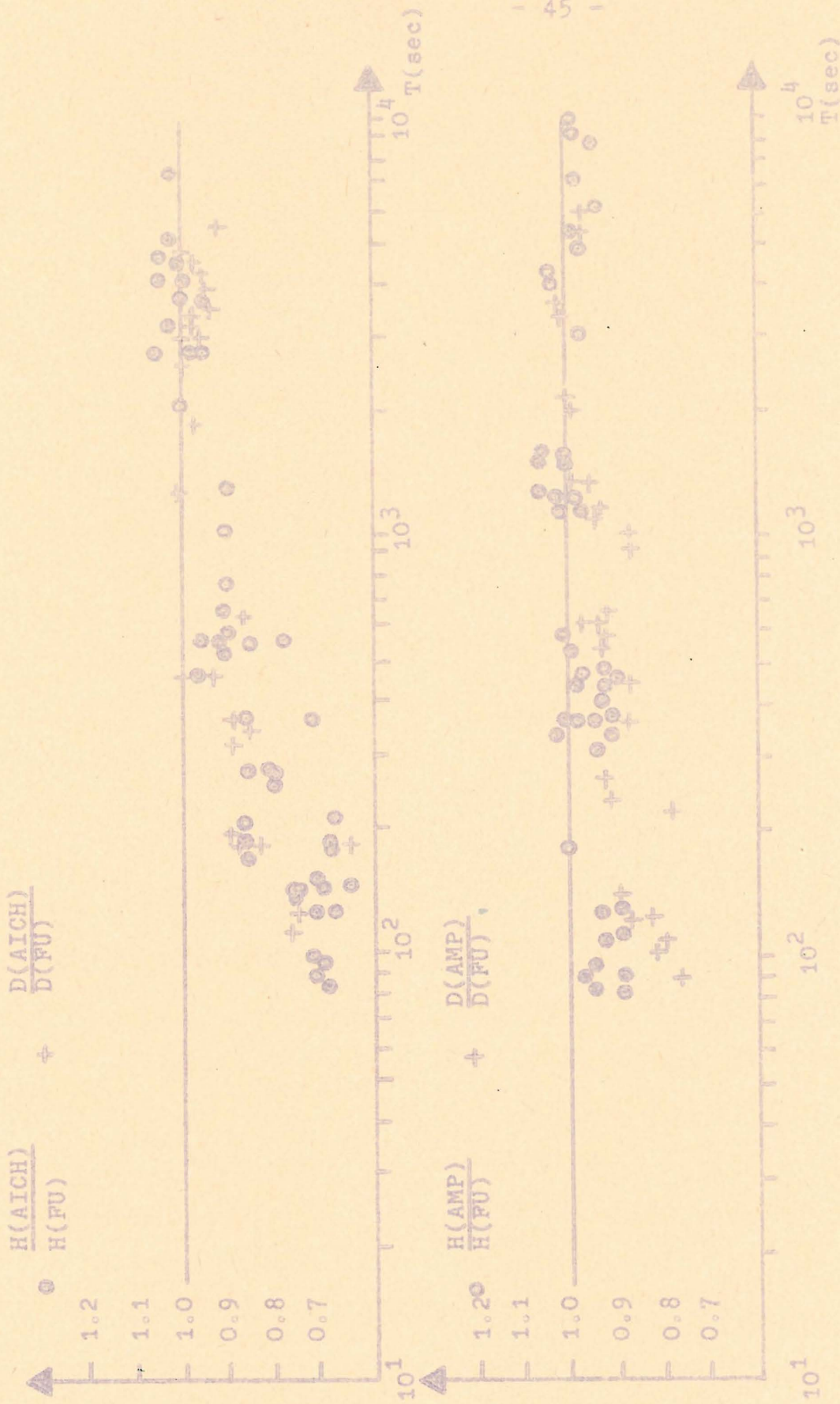
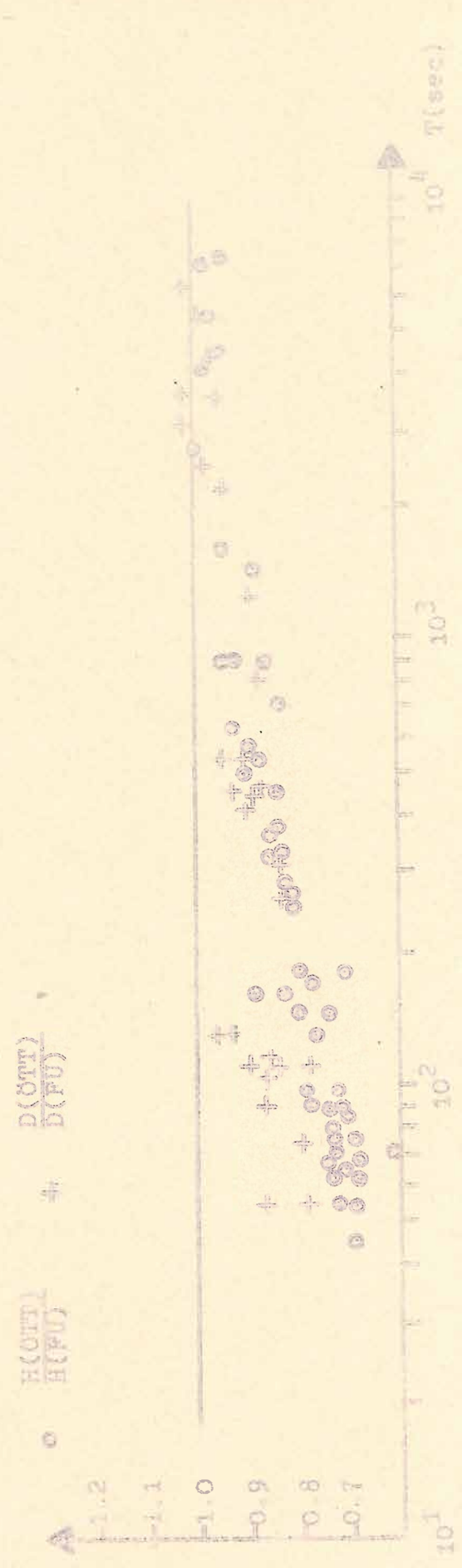


Figure 9 und 10: Die Amplitudenverhältnisse $H(\text{Wanderstat.})/H(\text{FU})$ und $D(\text{Wanderstat.})/D(\text{FU})$ aufgetragen über der Periode für die Station Aich bzw. Ampfing.



Figuren 11 und 12: Amplitudenverhältnisse $H(Wanderstar.)/H(FU)$ und $D(Wanderstar.)/D(FU)$ aufgetragen über der Periode für die Station Bernau bzw. Öttingen.

ist dabei auf der Ordinate durch Punkte, das der D-Komponenten durch Kreuze dargestellt.

Als erstes fällt auf, daß sich beim magnetischen Feld die Amplituden der Variationen an den Wanderstationen nur wenig von den Amplituden an der Basisstation FU unterscheiden. Das Amplitudenverhältnis erreicht nicht den Wert 0,5 bzw. 2. Dadurch unterscheidet sich das Magnetfeld deutlich vom elektrischen Feld, wo Amplitudenverhältnisse von 0,03 bzw. 30 vorkommen. (Ob das Amplitudenverhältnis größer oder kleiner als 1 ist, hängt u. a. von der Lage der Basisstation ab. So sind z. B. q_E und q_N in der Molasse alle kleiner als 1, da die Basisstation Falkenstein im Kristallin liegt.)

Weiterhin ist - im Gegensatz zum E-Feld - beim magnetischen Feld eine Periodenabhängigkeit des Amplitudenverhältnisses zu erkennen, und zwar unterscheiden sich die Amplituden an der Basisstation FU umso mehr von denen an den Wanderstationen, je kürzer die Periode der Variationen ist. Für längere Perioden ab ungefähr 3000 sec sind die Amplituden an allen Stationen etwa gleich groß. Es fällt ferner auf, daß D eine etwas andere Periodenabhängigkeit zeigt als H.

Die Periodenabhängigkeit der Amplitudenverhältnisse läßt sich - wie nicht anders zu erwarten - in Beziehung bringen zur Mächtigkeit der Sedimente (= Tiefe des kristallinen Sockels) unter den einzelnen Stationen, zur Leitfähigkeit des Materials unter den Stationen und zur Vorzugsrichtung des E-Feldes an den einzelnen Stationen: Die Amplitude der Magnetfeldvariationen nimmt infolge der Zunahme des inneren Anteils zu mit zunehmender Mächtigkeit der Sedimente unter den Stationen bzw. mit zunehmender Leitfähigkeit der Sedimente, und zwar umso stärker, je kürzer die Perioden der Variationen sind. Dabei nimmt jedoch die Amplitude der H- und D-Variationen je nach Vorzugsrichtung des E-Feldes verschieden zu. Hat das E-Feld eine EW-Vorzugsrichtung, so wird (solange E parallel zu j ist) mit Zunahme der Sedimentmächtigkeit bzw. Leitfähigkeit nur die Amplitude der H-Variationen größer und umgekehrt. Daraus erklärt sich die verschiedene Periodenabhängigkeit der H- und D-Variationen. Den Einfluß der Vorzugsrichtung des E-Feldes auf das Amplitudenverhältnis sieht man besonders in Fig. 11: Da die Ströme im südlichen Teil der Molasse im wesentlichen in EW-Richtung fließen, nimmt gegenüber den Amplituden an der Basisstation FU

(für kurze Perioden) nur der innere Anteil von H zu, nicht jedoch der von D. (Die obigen Aussagen gelten für die Verhältnisse im Meßgebiet und den Periodenbereich von $50 - 10^4$ sec.)

Zusammenfassend sei wiederholt: Die Amplituden der E-Feldvariationen werden durch die inhomogene Leitfähigkeit der obersten km für alle Perioden viel stärker beeinflusst als die der Magnetfeldvariationen. Für lange Perioden ab etwa 3000 sec macht sich im Magnetfeld die räumliche Variation der Leitfähigkeit der obersten km kaum bemerkbar, im E-Feld jedoch genauso stark wie bei kurzen Perioden. Das E-Feld besitzt - im Gegensatz zum Magnetfeld - an den meisten Stationen eine gut definierte Vorzugsrichtung, die sich im Bereich des Meßgebietes stark ändert.

4. Der Einfluß von Amplitude und Richtung des erdelektrischen und erdmagnetischen Feldes auf einige, im Alpenvorland erhaltene φ_s -Kurven der Magnetotellurik.

Nach dem Verfahren von Cagniard, das bestimmte Voraussetzungen enthält, versucht man aus Messungen des erdelektrischen und erdmagnetischen Feldes an einem Ort Aussagen über Leitfähigkeitsverteilung (die als eine erste Näherung angesehen werden können) unter diesem Meßpunkt zu erhalten. In der Praxis werden dafür meist die EW- und die NS-Komponente des erdelektrischen Feldes und die Variationen von H und D registriert. Nach den Formeln

$$\varphi_{sx} = 0,2 \cdot T \cdot \left(\frac{E_{NS}}{D}\right)^2 \quad \text{und} \quad \varphi_{sy} = 0,2 \cdot T \cdot \left(\frac{E_{EW}}{H}\right)^2$$

(es wird auch φ_{SD} , φ_{SNS} bzw. φ_{SH} , φ_{SEW} geschrieben).

wird für jedes Komponentenpaar ein scheinbarer spezifischer Widerstand φ_s als Funktion der Periode T der Variationen bestimmt. φ_{sx} und φ_{sy} werden in Diagrammen über T oder einem T enthaltenden Parameter aufgetragen. Mit Hilfe des $\varphi_s - T$ Diagrammes kann dann Mächtigkeit und Leitfähigkeit eventuell vorhandener Gesteinsschichten bestimmt werden. Falls die Voraussetzungen des Cagniardschen Modells einigermaßen zutreffen, müssen φ_{sx} und φ_{sy} identisch sein. Dies ist jedoch keineswegs der Fall, woraus auch folgt, daß die Cagniardschen Voraussetzungen nicht erfüllt sind.

Eigene Messungen haben folgende Unstimmigkeiten ergeben:

1. Die φ_{sx} - und die φ_{sy} -Kurve haben fast immer verschiedene Lage im $\varphi_s - T$ Diagramm.

2. Die Lage der φ_{sx} - und φ_{sy} -Kurven zueinander ist für verschiedene Stationen verschieden.
3. Die Verhältnisse E_{NS}/D und E_{EW}/H , aufgetragen über der Periode der Variationen, streuen im allgemeinen stark. (Fig. 13 bis 15; ausgewertet und gezeichnet von K. P. Sengpiel)

Zu 1. und 2.

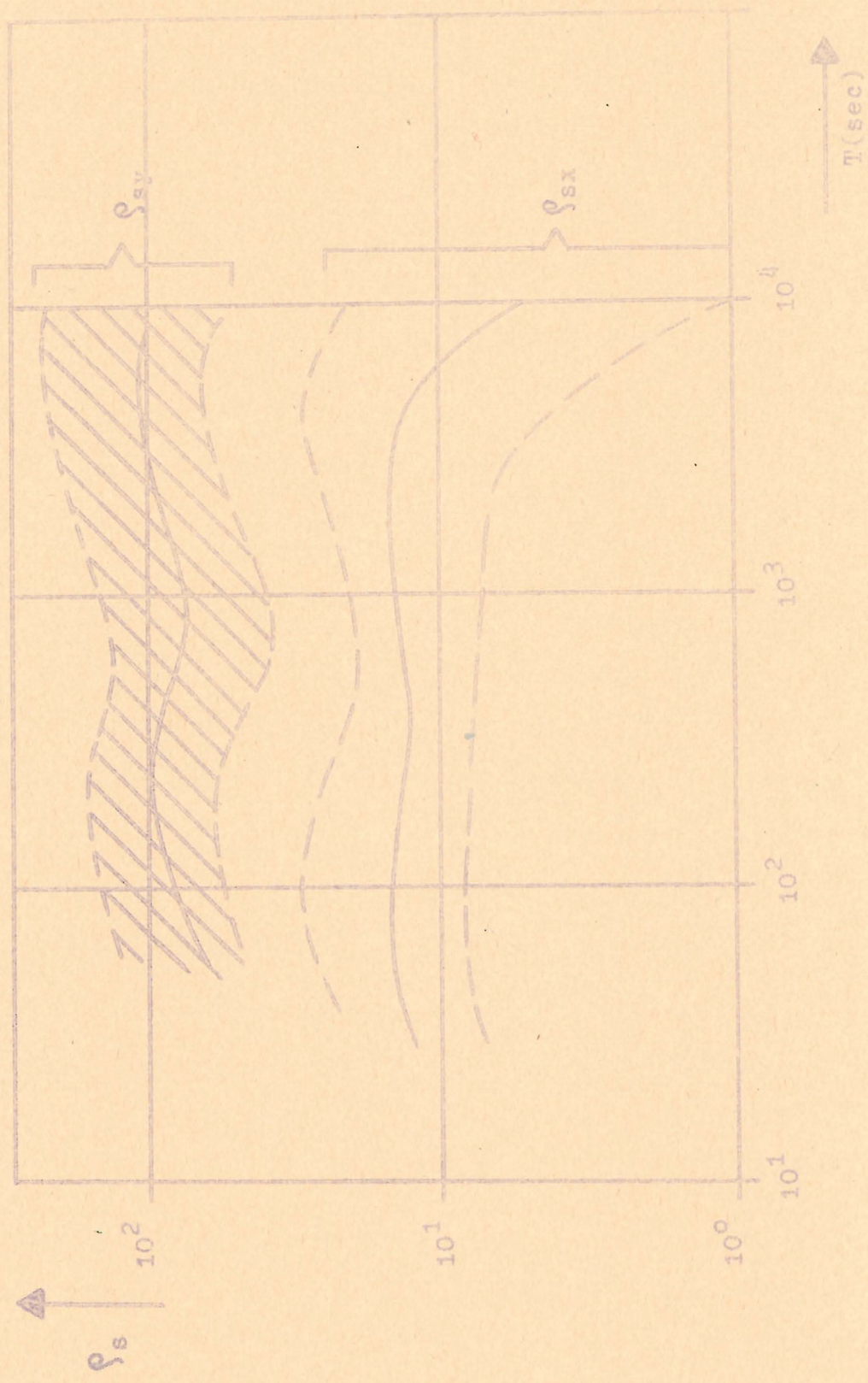
Die Cagniardschen Voraussetzungen der unendlich ausgedehnten Schichten und der homogenen Leitfähigkeit der einzelnen Schichten sind vor allem in den obersten km nicht erfüllt. Dies hat zur Folge, daß die Richtung des induzierten E-Feldes nicht mehr senkrecht steht auf der Richtung des induzierenden Magnetfeldes: es entstehen Vorzugsrichtungen des E-Feldes. Dadurch nehmen die Verhältnisse E_{NS}/D und E_{EW}/H , aus deren φ_{sx} und φ_{sy} bestimmt werden, andere Werte an als sie es tun würden, wenn die Leitfähigkeit der obersten km homogen wäre. Und zwar nimmt bei einer NS-Vorzugsrichtung φ_{sx} im $\varphi_s - T$ Diagramm größere Werte an als φ_{sy} und umgekehrt. Je nach Vorzugsrichtung des E-Feldes an der Station liegt also einmal φ_{sx} über φ_{sy} (NS-Bevorzugung), das anderemal φ_{sy} über φ_{sx} (EW-Bevorzugung).

Wie durch eine Vorzugsrichtung des E-Feldes die $\varphi_{sx} - T$ und die $\varphi_{sy} - T$ Kurven modifiziert werden, läßt sich genauer an den in der Diskussion von G. Angenheister wiedergegebenen Formeln eines Drahtmodelles erkennen.

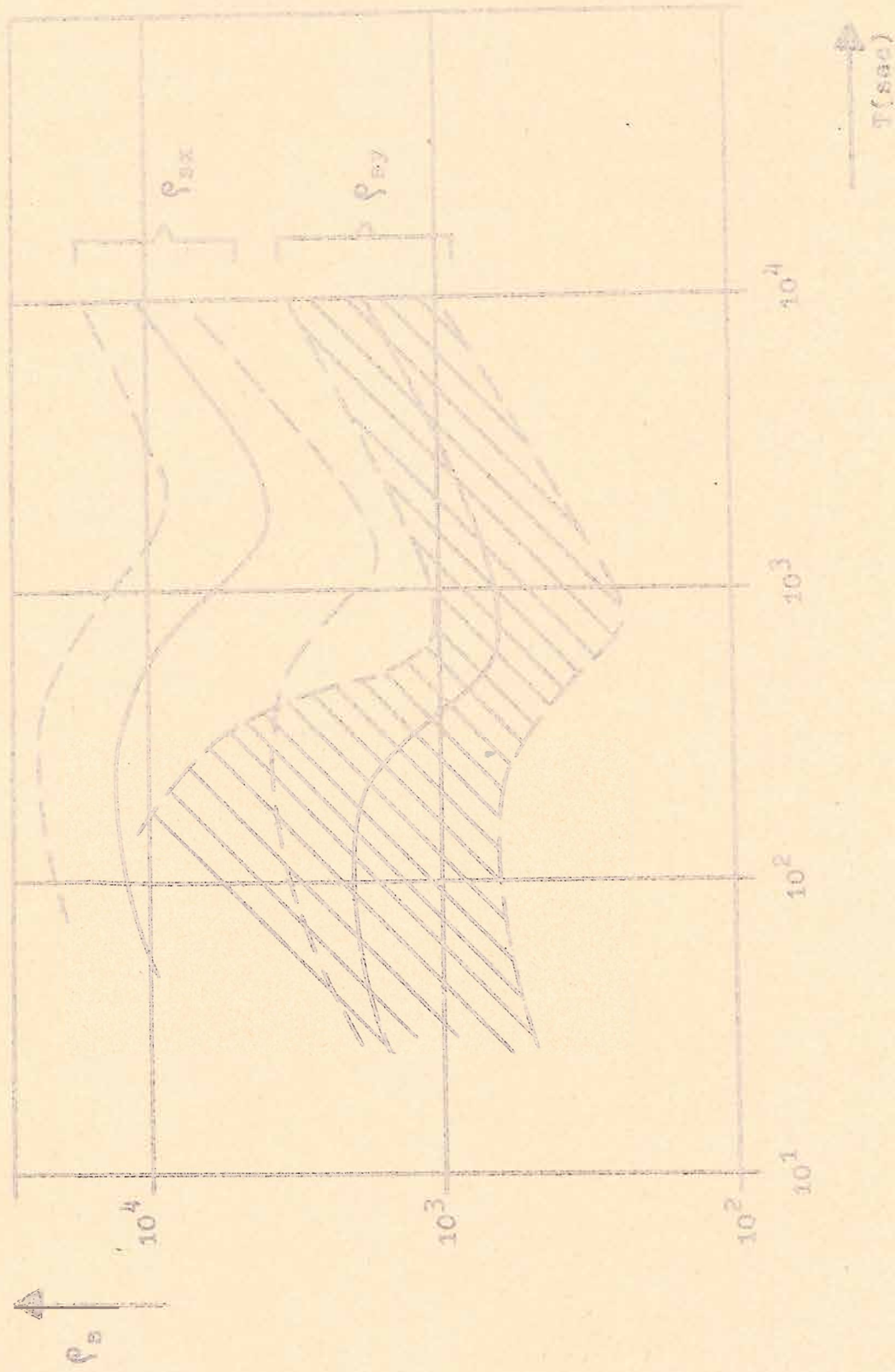
Zu 3.

Die starke Streuung der Verhältnisse E_{NS}/D und E_{EW}/H versteht man, wenn man untersucht, in welchen Grenzen der Horizontalvektor des Magnetfeldes einerseits und der des E-Feldes andererseits seine Richtung ändert. Da das Magnetfeld keine ausgeprägte Vorzugsrichtung besitzt, wird es seine Richtung in viel weiteren Grenzen ändern (einmal ist H groß gegen D , dann wieder D groß gegen H) als es zur gleichen Zeit das E-Feld tut. Es werden sich also je nach Richtung des Horizontalvektors des Magnetfeldes recht unterschiedliche Werte E_{NS}/D und E_{EW}/H bilden, die Streuung wird also groß sein.

Es sei noch bemerkt, daß die Lage der φ_s -Kurven im $\varphi_s - T$ Diagramm im wesentlichen durch die Amplitude des E-Feldes bedingt ist.



Figur 13: ρ_s -Kurven nach Cagniard für die Station Fürstenfeldbruck. Die gestrichelten Linien geben die obere bzw. untere Grenze der ρ_s -Kurven an.



Figur 14: φ_B -Kurven nach Cagniard für die Station Falkenstein. Die gestrichelten Linien geben die mögliche obere bzw. untere Grenze der φ_B -Kurven an.



Figur 15: Das Verhältnis E_{GW}/H , aufgetragen über der Periode der Variationen für die Station Fürstentfeldbruck.