

Dipl.-Geophys. A. BERKTOLD, München

"Erdmagnetische Tiefensondierung in Süddeutschland".

Dienstag, den 4. 3. 1969

Es wird über Messungen der Variationen des erdmagnetischen Feldes berichtet, die längs der in Fig. 1 mit I und II bezeichneten Profile sowie an der Station Öttingen (ÖTT) und am Geophysikalischen Observatorium Fürstfeldbruck (FU) durchgeführt wurden. Bedingt durch die Empfindlichkeit der Meßgeräte und die Zeitauflösung der Filme lassen sich nur über Variationen Aussagen machen, deren Periode größer als 100 sec ist. Es wird angenommen, daß die anomalen Anteile der Magnetfeld-Variationen überwiegend nicht aus dem Außenraum stammen.

Auf Grund der bisherigen Auswertungen hat man den Eindruck, als ob im Süden Deutschlands der anomale innere Anteil der Magnetfeld-Variationen im wesentlichen von 3 größeren Anomalien der elektrischen Leitfähigkeit herrühren würde:

1. von einer Leitfähigkeitsanomalie, die parallel zu den Kalkalpen, also etwa in EW-Richtung streicht und die mit großer Wahrscheinlichkeit mit dem tiefen Teil des Bayerischen Molasse-troges identisch ist;
2. von der etwa NS-streichenden Leitfähigkeitsanomalie des Rheingrabens. Ob auch in größerer Tiefe unter dem Rheingraben eine Anomalie der elektrischen Leitfähigkeit existiert, läßt sich z.Z. noch nicht sagen;
3. von einer Anomalie der elektrischen Leitfähigkeit, die in der Nähe des 50-sten Breitengrades (Maingebiet) etwa in EW-Richtung streicht. Der anomale innere Anteil der Magnetfeld-Variationen, der von dieser Anomalie herrührt, hat eine ganz andere Abhängigkeit vom Ort und von der Periode der Variationen als der anomale innere Anteil, der von den unter 1. und 2. genannten Leitfähigkeitsanomalien herrührt.

Auf die Existenz der unter 3. genannten Leitfähigkeitsanomalie wurde aus der Abhängigkeit der Vertikalkomponente ΔZ der Magnetfeld-Variationen vom Ort geschlossen. Die Vertikalkomponente ΔZ besteht im Meßgebiet aus einem Anteil, der an allen Stationen registriert wurde (abgekürzt: G-Anteil bzw. ΔZ_G) und einem Anteil, der nur in der Umgebung der unter 1. und 2. genannten Leitfähigkeitsanomalien gemessen wurde (abgekürzt: K-Anteil bzw. ΔZ_K). Vom G-Anteil der Vertikalkomponente ΔZ wird angenommen, daß er von der unter 3. genannten Leitfähigkeitsanomalie herrührt.

ΔZ_G erkennt man an den folgenden Merkmalen: Die Variationen von ΔZ_G verlaufen auf den Registrierfilmen gegensinnig (auch antiparallel genannt) zur Horizontalkomponente ΔH ; größere Phasenunterschiede zwischen ΔZ_G und ΔH sind nicht vorhanden. Die Amplitude von ΔZ_G hängt linear von der Amplitude von ΔH ab. Die Änderung der Amplitude von ΔZ_G mit dem Ort ist (für $T > 100$ sec) nahezu unabhängig von der Periode der Variationen. Die Amplitude von ΔZ_G ist an den nördlichsten Stationen (PST, ÖTT) am größten; sie nimmt nach Süden ab.

In Fig. 2 sind Beispiele von Registrierungen der Magnetfeld-Variationen an der nördlichsten Station (Pleystein, PST) des Profils I dargestellt. Zu 3 Beispielen wurden die am Geophysikalischen Observatorium Fürstenfeldbruck (FU) gleichzeitig registrierten Variationen mit eingezeichnet. Die in der Fig. 2 abgebildeten ΔZ -Variationen sind gleich dem G-Anteil von ΔZ . Man erkennt (insbesondere bei den 3 Beispielen von kurzperiodischen Variationen an der Station PST), daß ΔZ_G gegensinnig zu ΔH variiert und daß die Amplitude von ΔZ_G von Norden (Station PST) nach Süden (Observatorium FU) abnimmt. (Die Eichstrecken, die einer Amplitude von 20γ entsprechen, gehören zu den 3 Beispielen von kurzperiodischen Variationen an der Station PST.)

In Fig. 3 sind Beispiele von Variationen dargestellt, die längs Profil I registriert wurden. Dazu sind die Magnetfeld-Variationen am Observatorium Fürstenfeldbruck (FU) eingezeichnet.

Alle abgebildeten ΔZ -Variationen sind gleich dem G-Anteil von ΔZ . An beiden Beispielen erkennt man den antiparallelen Verlauf von ΔH und ΔZ_G sowie eine, wenn auch geringe Amplitudenabnahme von Norden (Station FAL) nach Süden (Station STJ). (Die stärkste Abnahme der Amplitude von ΔZ_G erfolgt nördlich der Station FAL.) Am Registrierbeispiel vom 26. 5. 66 ersieht man auch, daß eine gute Korrelation zwischen ΔZ_G und ΔH besteht; dagegen ist zwischen ΔZ_G und ΔD keine Korrelation zu erkennen. (Zu der ΔD -Variation um 22^h U.T. gibt es keine entsprechende ΔZ_G -Variation.)

In Fig. 4 interessiert zuerst nur die mit "G-Anteil" bezeichnete Kurve, in der das Verhältnis $\Delta Z_G/\Delta H_0$ längs des Profils I dargestellt ist. (ΔH_0 ist die Horizontalkomponente ΔH an der Bezugsstation Dingolfing (DIN). ΔH_0 entspricht etwa dem normalen Anteil von ΔH .) $\Delta Z_G/\Delta H_0$ hat an der nördlichsten Station PST, die in Abb. 4 nicht mehr eingetragen ist einen Wert von 0.35. Der G-Anteil von ΔZ nimmt nach Süden zuerst ziemlich schnell ($\Delta Z_G/\Delta H_0$ (WÖR) ≈ 0.15) und dann langsamer ab. Diese Abnahme der Amplitude von ΔZ_G nach Süden ist für die auswertbaren Variationen mit Perioden >100 sec unabhängig von der Periode der Variationen.

An der Station Öttingen (ÖTT), die im Jura nördlich des Nördlinger Rieses liegt (siehe Fig. 1) ist das gemessene ΔZ gleich dem G-Anteil von ΔZ (wie z.B. auch an den Stationen entsprechender geographischer Breite von Profil I). An der etwa 100 km nördlich des Observatoriums Fürstenfeldbruck gelegenen Station ÖTT ist ΔZ_G ungefähr 3 mal so groß wie am Observatorium FU.

Auch längs Profil II, das vom Molassetrog über den Jura und den Schwarzwald bis zum Rhein verläuft, läßt sich ein G-Anteil von ΔZ nachweisen. Dieser Nachweis kann allerdings nur an Hand von Registrierbeispielen gebracht werden, da die Anfang 1969 beendeten Messungen noch nicht ausgewertet worden sind. Einige Beispiele von Registrierungen längs Profil II sind in Fig. 5 dargestellt. Dort sind die Horizontalkomponenten ΔH und ΔD an der Station Gnadeweiler (GNA) eingetragen, die etwa

in der Mitte des Profils liegt. Dazu sind die gleichzeitig registrierten Vertikalkomponenten von allen Stationen und - als unterste Kurve - ΔZ am Geophysikalischen Observatorium Fürstfeldbruck (FU) eingezeichnet. Die Reihenfolge der ΔZ -Kurven von oben nach unten entspricht einer Reihenfolge der Stationen von Ost nach West. Die Station Wallburg (WAL) liegt am Grabenrand, die Station Kappel (KAP) am Rhein. Die Skalenwerte der Magnetographen-Variometer wurden noch nicht ausgewertet; sie sind deshalb in Fig. 5 nicht eingezeichnet. Für die folgende Interpretation der Registrierbeispiele ist die Kenntnis der Skalenwerte nicht nötig.

Durch Vergleich der Registrierbeispiele vom 25. 12. 68 und vom 27. 12. 68 läßt sich zeigen, daß das gemessene ΔZ längs Profil II aus 2 Anteilen besteht: Die Variationen des einen Anteils von ΔZ verlaufen antiparallel zu ΔH ; ihre Amplitude ist längs des Profils etwa konstant. Da dieser Anteil dem ΔZ_G gleicht, wie es z.B. längs Profil I gemessen wurde, wird dieser Anteil auch mit ΔZ_G bezeichnet. Der andere Anteil der gemessenen ΔZ -Variationen verläuft auf den Registrierfilmen gleichsinnig mit ΔD . Seine Amplitude ist an den beiden Stationen im Graben am größten; sie nimmt mit zunehmender Entfernung vom Graben ab. Dieser Anteil wird ΔZ_K genannt. Er wird von der Rheingraben-Anomalie verursacht. Die Existenz der beiden Anteile ΔZ_G und ΔZ_K von ΔZ längs Profil II läßt sich wie folgt zeigen: Beim Registrierbeispiel vom 27. 12. 68 verlaufen ΔH und ΔD parallel zueinander. Der zu ΔH antiparallele Anteil ΔZ_G und der zu ΔD parallele Anteil ΔZ_K von ΔZ überlagern sich gegensinnig. Außerhalb des Grabens, wo ΔZ_K bereits abgeklungen ist (z.B. am Observatorium FU und an den Stationen BOL, GNA, FIB und OEH), überwiegt das zu ΔH antiparallele ΔZ_G . Näher zum Graben hin wird dann ΔZ_G durch ΔZ_K in etwa kompensiert, so daß das resultierende, gemessene ΔZ im Graben kleiner ist als außerhalb des Grabens (was am Beispiel vom 27. 12. 68 auch zu sehen ist). Sind andererseits die Variationen von ΔH und ΔD antiparallel zueinander, wie beim Registrierbeispiel vom 25. 12. 68 um 3^h U.T., so überlagern sich ΔZ_G und ΔZ_K gleichsinnig. In diesem Fall sind die resultierenden, gemessenen ΔZ -Variationen im

Graben (Stationen WAL und KAP) größer als außerhalb des Grabens (z.B. an der Station BOL und am Observatorium FU). Aus dem obigen Vergleich von 2 Registrierbeispielen hat sich somit ergeben, daß auch längs Profil II, also im südlichen Teil des Oberrhein-Grabens, ein ΔZ_G existiert.

Es gibt Gründe anzunehmen, daß auch längs Profil III der Abb. 1 ein G-Anteil von ΔZ existiert. Die Amplitude von ΔZ_G dürfte längs Profil III deutlich größer sein als längs des südlich davon gelegenen Profils II.

Es wird vom Autor als wahrscheinlich angenommen, daß in ganz Süddeutschland ein ΔZ_G existiert und daß die starke Amplitudenabnahme von ΔZ_G auf kurze Entfernung nicht nur im nördlichen Teil des Profils I, sondern auch in den benachbarten Gebieten etwa gleicher geographischer Breite gemessen werden kann. Unter dieser Voraussetzung läßt sich folgern, daß nördlich des Gebietes der starken Amplitudenabnahme von ΔZ_G - also in einem Gebiet etwa längs des 50-sten Breitengrades - eine Leitfähigkeitsanomalie vorhanden sein muß, von der die Änderung von ΔZ_G mit dem Ort herrührt. Da ΔZ_G linear von ΔH abhängt, muß die Anomalie etwa in EW-Richtung streichen. Diese Leitfähigkeitsanomalie muß in größerer Tiefe liegen, da in der Umgebung des 50-sten Breitengrades an der Erdoberfläche kein EW-streichender Sedimenttrog existiert, von dem ΔZ_G stammen könnte. Es wird angenommen, daß ΔZ_G dadurch verursacht wird, daß sich in dem Gebiet um den 50-sten Breitengrad die Tiefe der gutleitenden Conductopause auf kurze Entfernung ändert. Die starke Amplitudenabnahme von ΔZ_G südlich des Mains kann nicht von der Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie herrühren. Die Existenz einer Anomalie der elektrischen Leitfähigkeit in größerer Tiefe läßt sich im Maingebiet sicherer nachweisen als z.B. in Norddeutschland, da im Maingebiet der störende Einfluß eines Sedimenttroges an der Erdoberfläche fehlt.

Anschließend an die Besprechung von ΔZ_G wird nun über einige weitere Ergebnisse der Messungen der Magnetfeld-Variationen und von Messungen des induzierten elektrischen Feldes längs Profil I berichtet. Profil I beginnt im Kristallin des Ober-

pfälzer Waldes; es quert das Kristallin des Bayerischen Waldes, den flachen Bereich des Sedimenttroges (Sedimentteufe bis zu etwa 1000 m), den tiefen Bereich des Sedimenttroges (größte Teufe etwa 6000 m), die Kalkalpen und endet im Kristallin der Zentralalpen (Fig. 6).

In Fig. 7 sind die gemittelten Amplitudenverhältnisse \bar{q}_H , \bar{q}_D , \bar{q}_N und \bar{q}_E zwischen den Komponenten ΔH , ΔD , E_{NS} und E_{EW} an den Wanderstationen und den ihnen entsprechenden Komponenten an der Basisstation Falkenstein (FAL) über dem Profil I aufgetragen. Die Indizes H, D, N und E gehören zu den Komponenten ΔH , ΔD , E_{NS} und E_{EW} . Im unteren Teil der Fig. 7 ist ein Schnitt nach einem Tiefenlinien-Plan der Kristallinoberfläche von Prodehl eingezeichnet. - Von den beiden Horizontalkomponenten ΔH und ΔD der Magnetfeld-Variationen hat (für $T > 100$ sec) nur die Komponente ΔH einen anomalen inneren Anteil und zwar nur über dem südlichen, tiefen Teil des Molassetroges. Der anomale innere Anteil von ΔH ist bei den kleinsten, noch auswertbaren Variationen mit Perioden um 100 sec am größten; er verschwindet mit zunehmender Periode der Variationen. ΔD hat für Perioden > 100 sec längs Profil I keinen anomalen inneren Anteil. Daraus folgt, daß nur im südlichen, tiefen Teil des Molassetroges ein anomaler Stromfluß induziert wird, der in der Umgebung des Profils I etwa EW-gerichtet ist. - Die Amplitude von E_{EW} und E_{NS} nimmt von N nach S mit zunehmender Mächtigkeit der Molassesedimente ab. Die Änderung der Amplitude des elektrischen Feldes längs des Profils ist viel stärker als die Änderung der Amplitude des Magnetfeldes. (Man beachte die unterschiedlichen Ordinatenmaßstäbe.) - Die Magnetfeldkomponente ΔD ändert sich längs des Profils nur wenig. Daraus folgt, daß sich die Komponente E_{NS} des elektrischen Feldes in den Gebieten am stärksten ändert, in denen sich die Leitfähigkeit bzw. die integrierte Leitfähigkeit in Profilrichtung besonders stark ändert. Da ΔD längs des Profils nahezu unabhängig von der Periode der Variationen ist, ist auch E_{NS} unabhängig von der Periode der Variationen. - E_{EW} nimmt von N nach S weniger stark ab als E_{NS} . E_{EW} ändert sich längs des Profils deshalb weniger als E_{NS} , weil die Grenzfläche zwischen Kristallin

und Sedimenten an der Donau und der tiefe Teil des Molassetrogges etwa in EW-Richtung streichen. E_{EW} ist also mehr oder weniger gut die Komponente parallel zum Streichen der Anomalien. Sie ist an den Grenzen stetig und gibt Änderungen in der Sedimenttiefe in NS-Richtung viel schlechter wieder als die Komponente E_{NS} . Man könnte meinen, daß E_{EW} in derselben Weise von der Periode der Variationen abhängen sollte wie ΔH . Das ist, wie in Fig. 7 zu sehen, nicht der Fall. Aus Modellrechnungen von LATKA läßt sich folgern, daß im elektrischen Feld die stärkste Periodenabhängigkeit bei kürzeren Perioden vorkommt als im Magnetfeld. Auf einem andern Profil über den Molassetrog ergab sich die größte Periodenabhängigkeit von E_{EW} z.B. bei Perioden um 50 sec.

Für Variationen mit Perioden größer als etwa 1000 sec überwiegt längs Profil I ΔZ_G (siehe z.B. Fig. 3). Für Variationen mit Perioden kleiner als etwa 1000 sec überwiegt ΔZ_G nur an den nördlichen Stationen bis etwa zur Station DIN. An den südlichen Stationen überwiegt für $T < 1000$ sec ΔZ_K . Dies soll an Hand der Fig. 8 gezeigt werden. In Fig. 8 sind Registrierbeispiele von kurzperiodischen ΔZ -Variationen (< 500 sec) längs Profil I dargestellt. Die Reihenfolge der ΔZ -Kurven von oben nach unten entspricht einer Reihenfolge der Stationen von Norden nach Süden. Zu den ΔZ -Variationen sind die gleichzeitigen Variationen von ΔH und ΔD an der Station DIN gezeichnet. Am Beispiel vom 22. 1. 66 läßt sich erkennen, daß an den nördlichen Stationen, von Station TST bis etwa zur Station DIN das zu ΔZ_G überwiegt. Von Station DIN nach Süden überwiegt dagegen ΔZ_K . Letzteres ist besser am Beispiel vom 26. 12. 65, 9¹⁵ - 9³⁵ U.T., zu sehen. ΔZ_K ist dort von Station DIN nach Süden parallel zu ΔH und zwar bis zu der Station, unter der die Sedimente am mächtigsten sind (etwa bis zur Station BER, die zwischen den Stationen OBG und R.i.W. liegt). Südlich der Station mit der größten Sedimentmächtigkeit ist ΔZ_K wieder antiparallel zu ΔH (z.B. an der Station R.i.W.). Aus einigen, auf den Registrierfilmen leider recht kleinen ΔZ_K -Variationen wurde der Verlauf von ΔZ_K über dem tiefen Teil des Molassetrogges bestimmt und in Fig. 4 eingetragen. Die Extrema der Kurven $\Delta Z_K/\Delta H_0$ liegen etwa an der nördlichen und südlichen Begrenzung des tiefen Teils des Molassetrogges. Die sich aus

den Meßergebnissen von ΔZ_K , ΔH und E_{NS} ergebende nördliche Begrenzung des tiefen Trogteils stimmt gut mit dem aus refraktionsseismischen Messungen bekannten Aufsteigen der Oberfläche des kristallinen Grundgebirges nach Norden überein. Die südliche Begrenzung des tiefen Trogteils ist nicht bekannt. Aus den hier besprochenen Meßergebnissen ist jedoch ersichtlich, daß es ein Gebiet gibt (zwischen den Stationen BER und R. i. W.), in dem die integrierte elektrische Leitfähigkeit von Norden nach Süden stark abnimmt. Die Ursache dafür kann entweder eine starke Abnahme der Leitfähigkeit von den Molassesedimenten zu den Kalkalpen hin oder ein Aufsteigen der Oberfläche des kristallinen Grundgebirges, oder beides sein. Eine Klärung werden erst Messungen der Leitfähigkeit der Kalkalpen-Gesteine bringen.

Unter dem Bayerischen Molassetrog scheint sich die Teufe der Conductopause nicht merklich zu ändern. Möglicherweise ändert sie sich aber unter dem Gebiet an der Grenze Kalkalpen-Zentralalpen.

Die bis Anfang 1969 längs Profil II registrierten Magnetfeld-Variationen sind noch nicht ausgewertet. Aus der Betrachtung der Filme läßt sich bisher folgendes sagen: Von den Horizontalkomponenten hat sicher ΔD einen anomalen inneren Anteil. Dieser ist bei den kurzperiodischen Variationen am größten; er nimmt mit zunehmender Periode der Variationen ab. Außerdem ist er an den Stationen im Rheingraben am größten und nimmt nach E hin ab. Der anomale innere Anteil von ΔD ist längs Profil II für Variationen aller auswertbaren Perioden größer als der anomale innere Anteil von ΔH längs Profil I.

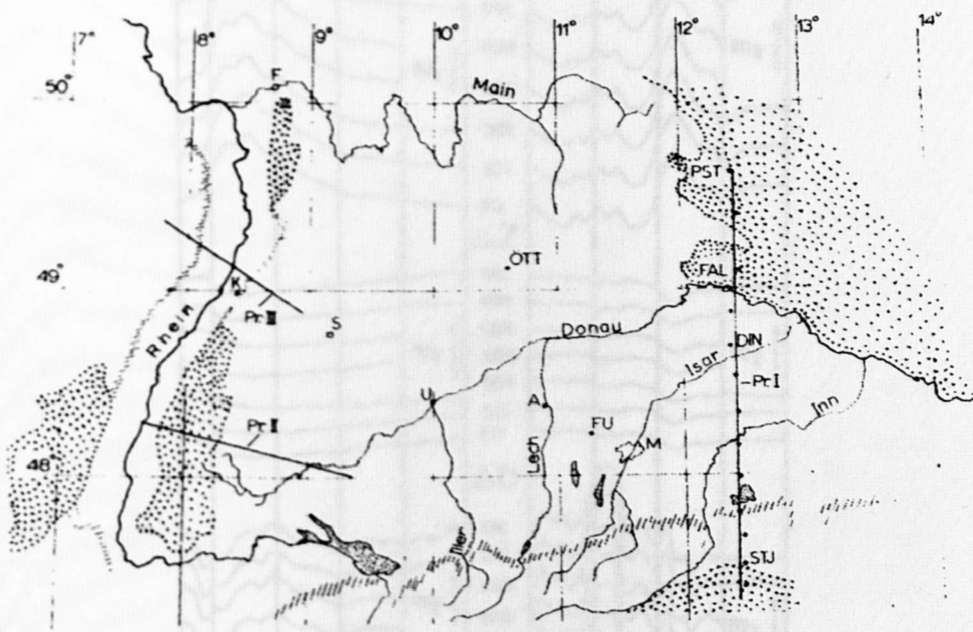


Fig. 1

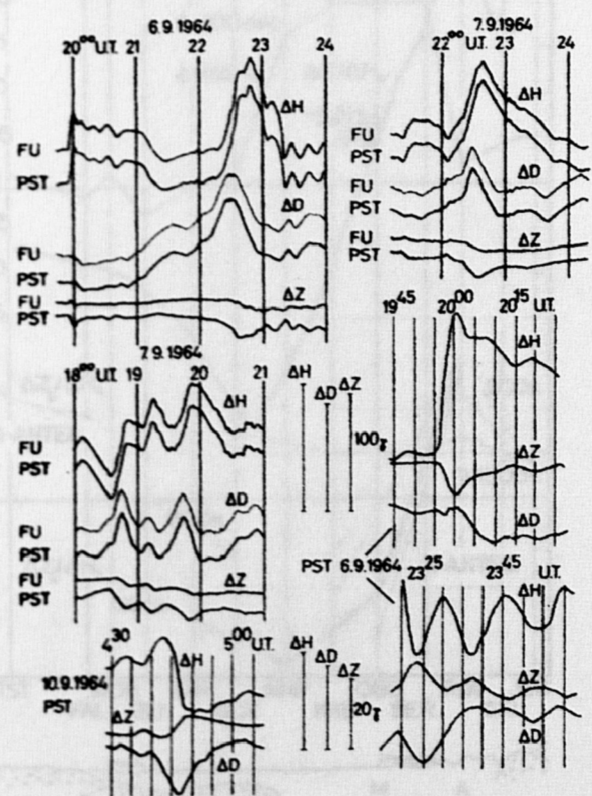


Fig. 2

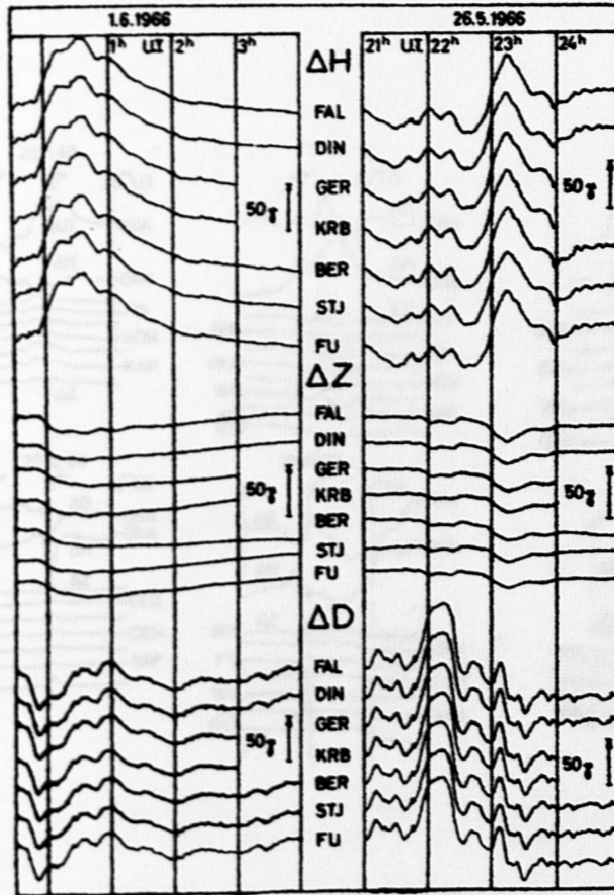


Fig. 3

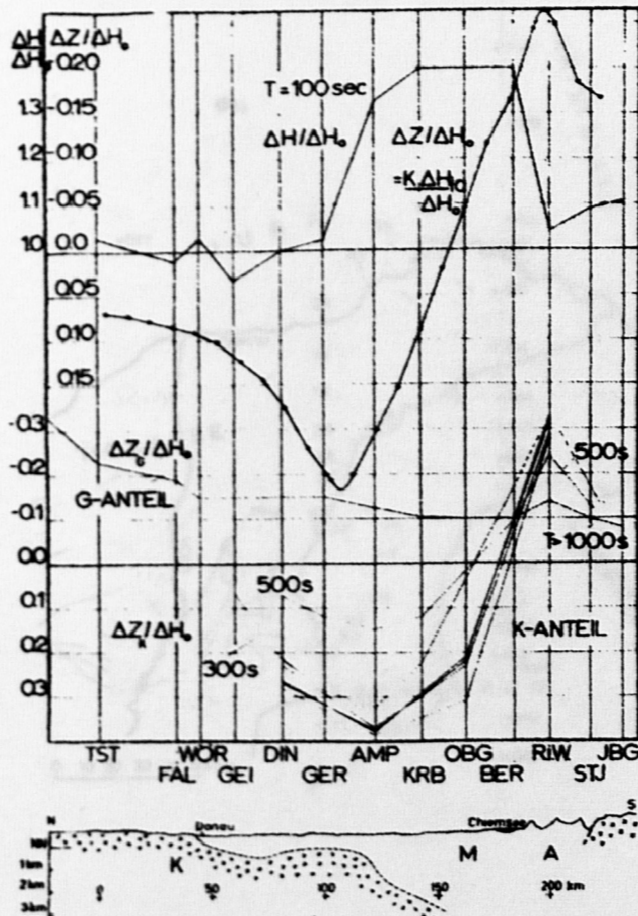


Fig. 4

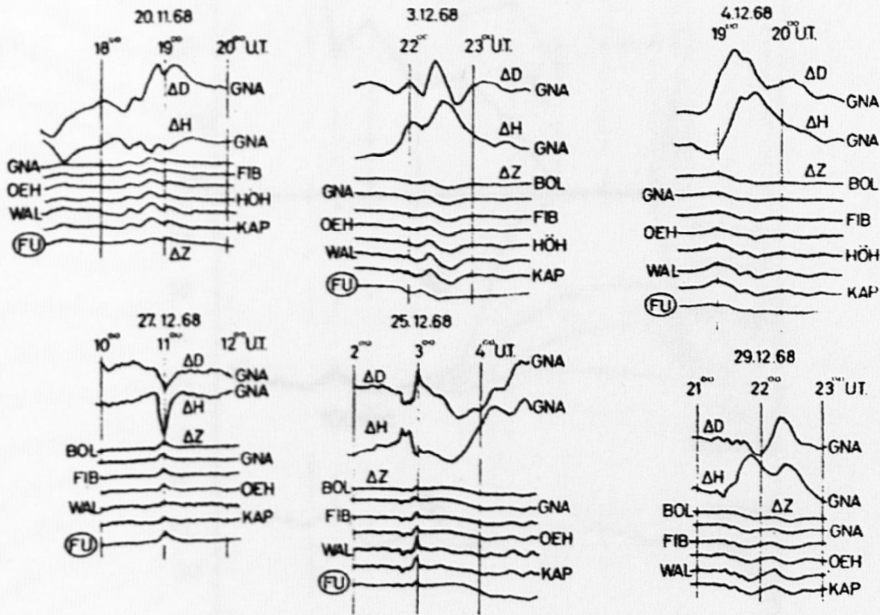


Fig. 5

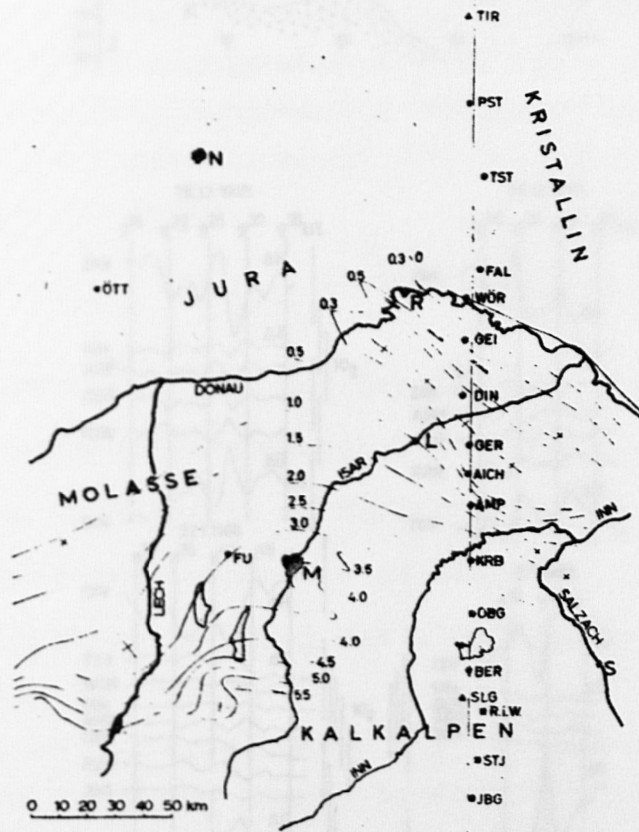


Fig. 6

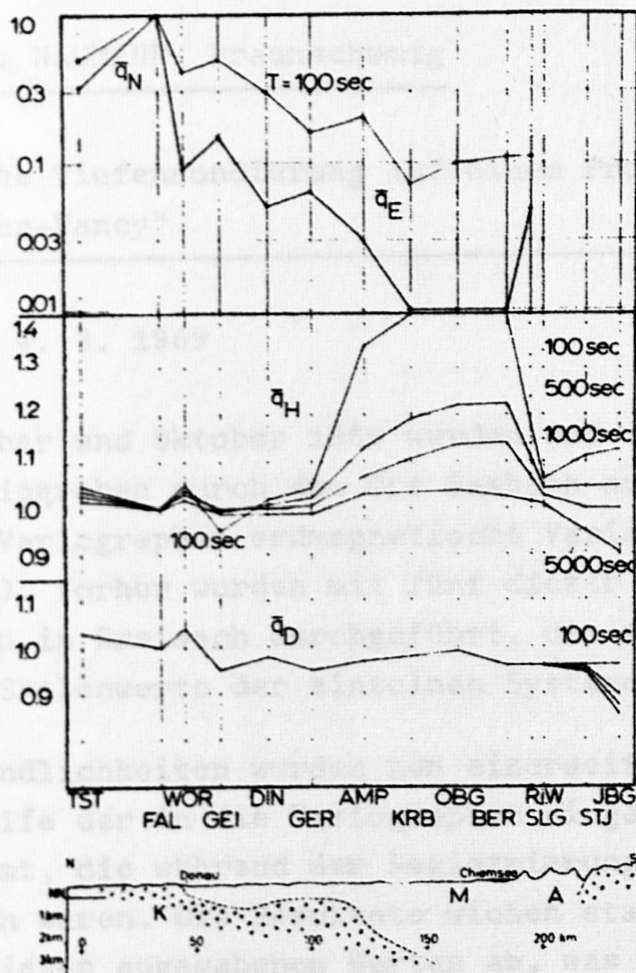


Fig. 7

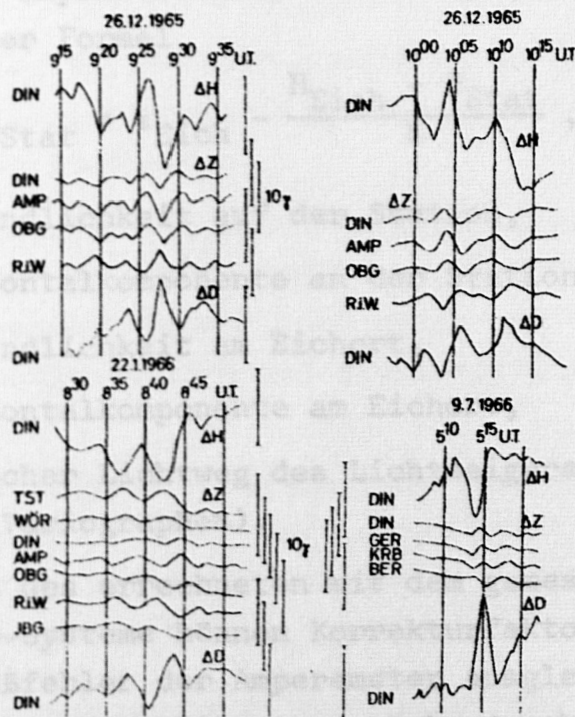


Fig. 8