

Zahid A. Malik, Göttingen

Die normale Z-Komponente der Pi2 Pulsationen in
Nordskandinavien

Das Magnetfeld der Erde ist ein zeitabhängiges Phänomen. Der Periodenbereich der Änderungen des erdmagnetischen Feldes reicht von einigen Jahrzehnten bei säkularen Variationen bis zu Sekundenbruchteilen bei Pc1 Pulsationen. Das erdmagnetische Feld wird hauptsächlich - bis auf wenige Ausnahmen - auf der Erdoberfläche gemessen. Zur dauernden Registrierung des Feldes sind eine große Anzahl über die ganze Erde verstreuter Observatorien eingesetzt. Um eine noch bessere räumliche und zeitliche Auflösung des erdmagnetischen Feldes zu erreichen, werden von Zeit zu Zeit Meßkampagnen mit Wanderstationen durchgeführt. In den Fällen, in denen mehrere Meßeinrichtungen vorhanden sind, werden diese entweder auf einem langgestreckten Profil oder auf zweidimensionalen arrays aufgestellt (Rheingraben, Nordskandinavien). Unter der Voraussetzung, daß das äußere (aus Magneto- und Ionosphäre stammende) Magnetfeld räumlich und zeitlich homogen ist (eine Voraussetzung die in mittleren Breiten an magnetisch ruhigen Tagen gilt), könnten die aus verschiedenen Zeiten stammenden, an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen nach der Transformation im Frequenzbereich miteinander verglichen werden. Eine wesentliche Voraussetzung für die Transformation der Daten vom Zeitbereich in den Frequenzbereich ist die Stationarität, d.h. keine episodische Anregung, kein Ausklingen und keine Änderung des Frequenzinhaltes.

Da obengenannte Voraussetzungen nicht sehr oft erfüllt werden, wird deshalb im folgenden, unter Zuhilfenahme der Simultaneität der Beobachtungen, ein erster Versuch durchgeführt um die Daten im Zeitbereich zu analysieren und zu interpretieren. Unter den vereinfachenden Annahmen, daß a) das äußere magnetische Feld in y-Richtung (nach Osten) konstant ist, b) die Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund

nur eine Funktion der Tiefe Z ist, c) das magnetische Feld (H_x und H_z) auf einem Profil in X-Richtung (nach Norden) gemessen worden ist, wurden die ersten Berechnungen des normalen H_z für verschiedene vorgegebene Untergrundleitfähigkeits-Modelle durchgeführt.

Auf der Erdoberfläche $z = 0$ wird $H_z(x, 0, t)$ und $H_x(x, 0, t)$ gemessen. Es gilt nun eine Übertragungsfunktion $M(x, t)$ für das vorgegebene Leitfähigkeitsmodell zu berechnen, so daß die Faltung dieser Übertragungsfunktion mit den horizontalen Komponenten $H_x(x, 0, t)$ des Magnetfeldes die vertikale Komponente ergibt. Im nachfolgenden wird der Weg für die Berechnung dieses Faltungskerns (Übertragungsfunktion) skizziert. Die Beziehung zwischen den H_x und H_z Komponenten des Magnetfeldes im Frequenz-Wellenzahlbereich ist wie folgt gegeben:

$$H_z(w, k)/H_x(w, k) = -ikC(w, k)$$

Nach Schmucker (1971) gilt folgendes

$$H_z(x, 0, w) = -\int_{-\infty}^{+\infty} ikC(w, k) \hat{H}_x(k, 0, w) e^{ikx} dk \quad (1)$$

Im nachfolgenden wird $z = 0$ weggelassen

$$\text{mit} \quad \hat{H}(k, w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} H(x, w) e^{-ikx} dx \quad (2)$$

$$\text{und} \quad H(x, w) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} H_x(x, t) e^{-iwt} dt \quad (3)$$

$H_x(x, t)$ ist die gemessene horizontale Komponente. Also gilt

$$H_z(x, w) = -\int_{-\infty}^{+\infty} ikC(w, k) \hat{H}_x(k, w) e^{ikx} dk \quad (4)$$

$$H_z(x, t) = -\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} ikC(w, k) \hat{H}_x(k, w) e^{ikx} dk | e^{iwt} dw \quad (5)$$

Ein Faltungskern im Zeitbereich wird das folgende berechnen

$$H_z(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} dx_0 \int_{-\infty}^{+\infty} dt_0 M(x_0, t_0) H_x(x-x_0, t-t_0) \quad (6)$$

Ein Vergleich zwischen (6) und (5) unter Berücksichtigung von (1), (2) und (3) ergibt

$$M(x,t) = - \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} ikC(w,k) e^{i(kx+wt)} dk dw \quad (7)$$

Für den homogenen Halbraum mit der spezifischen Leitfähigkeit σ (Ohm m) gilt

$$M(x,t) = \frac{x\mu_0\sigma}{4\pi t^2} \exp\left(\frac{-x^2\mu_0\sigma}{4t}\right) \quad (8)$$

Mit diesem Faltungskern $M(x,t)$ für den homogenen Halbraum wird nun die Anwendung dieser Verfahren geschildert. Für die Anwendung werden die Pulsationsregistrierungen des Göttinger Instituts auf ein NS-Profil in Nordskandinavien herangezogen. Da das Pulsationsfeld in nördlichen Breiten sehr unruhig ist, wird aber als einfaches Beispiel zuerst das Magnetfeld eines Linienstromes dargestellt, der über die Mitte des Profils in einer Höhe von 200 km in Ost-West-Richtung fließt und mit einer Periode von 75 sec seine Richtung ändert. Der zeitliche Verlauf der am Boden beobachteten X-Komponente wird als ein dreidimensionales Gebilde dargestellt, Abb. 1. Das Magnetfeld wird im Zeitabstand $\Delta t = 6$ sec auf Stationen, die voneinander 66.6 km entfernt sind gezeichnet. Im Zeitbereich sind es 40 Punkte, also 234 sec und das Profil ist 1933 km lang (30 Stationen). Für diese Punkte wurde der Faltungskern für den spezifischen Widerstand von 200 Ohm m berechnet. Dieser Faltungskern wird in Abb. 2 dargestellt, die Höhenlinien werden mit Zahlen von 1 bis 10 gekennzeichnet, die den Zahlen entsprechenden Funktionswerte sind auch angegeben. Der Zeit-Ortsbereich rechts von der Höhenlinie hat Funktionswerte die kleiner als 10^{-5} sind. Aus dieser Zeichnung lassen sich für bestimmte Quellenfelder die notwendigen Integrationsbereiche abschätzen. Eine zwei Minuten vorher auftretende Änderung der Nord-Süd-Komponente des Magnetfeldes auf einem nur 66 km von der Bezugsstation entfernten Punkt trägt nur ein Tausendstel zu dem augenblicklichen Wert der vertikalen Komponente bei.

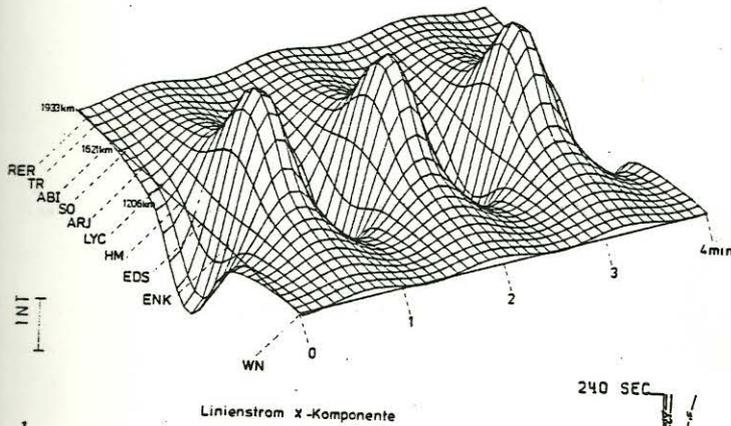
Die Faltung der Magnetfeld-Komponente in Abb. 1 und mit dem Faltungskern in Abb. 2, ergibt die vertikale Komponente des Linienstromes (Abb. 3).

Die Genauigkeit dieser Verfahren kann durch den Vergleich der theoretischen und der berechneten vertikalen Komponenten geprüft werden. In Abb. 4 ist dieser Vergleich dargestellt, hier wurde ein Zeitpunkt (198 sec) der in Abb. 3, 3 Zeitintervalle hinter der Markierung 3 min. liegt herausgegriffen. Die unterste Kurve in Abb. 3 stellt den augenblicklichen örtlichen Verlauf der horizontalen Komponente dar, die mit Z-T gekennzeichnete vertikale Komponente ist die theoretische Z-Komponente des Linienstromes, die mit Z-K bezeichnete Kurve (oberste) ist die unter Hinzunahme der 198 Sekunden-Vergangenheit der horizontalen Komponente berechnete Z-Komponente. Die Übereinstimmung der breiten Kurven Z-K und Z-T ist bis auf die Endpunkte sehr gut, in Zahlenwerten ausgedrückt liegen die Abweichungen unter 0.5% der jeweiligen Zahlenwerte. Dieser Abbildung liegt eine $H \cdot \cos kx$ Horizontal-Komponente zugrunde.

Die Anwendung auf gemessene Pi_2 -Pulsationsfelder ist etwas schwieriger, da in den meisten Fällen die Meßstationen nicht sehr dicht beieinander liegen und das gemessene Feld auf der nördlichsten Meßstation sehr groß ist. Eine Spline-Interpolation der Daten zwischen den besetzten Meßstationen und eine Extrapolation, so daß der nördlichste Meßwert über dem restlichen Profil mit dem Kehrwert des Abstandsquadrates gegen Null geht, schaffen hier Abhilfe. Die so behandelte Horizontal-Komponente einer Pulsationsregistrierung ist in Abb. 5 gezeigt. Ein Vergleich zu Abb. 1 vermittelt einen Eindruck der fehlenden Stationarität im Pulsationsverlauf. Dieses Feld wird nun mit dem Faltungskern gefaltet und die resultierende Vertikal-Komponente ist in Abb. 6 dargestellt. Die gemessene Z-Komponente wird in Abb. 7 wiedergegeben. Die Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Vertikal-Komponenten ist wie zu erwarten mäßig. Die berechnete Vertikalkomponente ist viel glatter als die gemessene Z-Komponente. Trotz aller vereinfachenden Annahmen folgt die berechnete Vertikal-Komponente dem Verlauf der gemessenen Z-Komponente. Die Unterschiede können dadurch erklärt werden, daß ein Anteil der vertikalen Komponente durch die horizontale Ost-West-Komponente des Magnetfeldes induziert wird und der homogene Halbraum auch kein adäquates Untergrundleitfähigkeitsmodell ist. Ein Vergleich des Verlaufs der interpolierten Horizontal-Komponente, aus dieser berechneten Vertikal-Komponente wird in Abb. 8 wiedergegeben. Diese Zeichnung zeigt den etwa parallelen Verlauf der Vertikal-Komponenten, die letzte Station in der obersten Kurve ist die nördlichste Station, ab dieser Station wurde

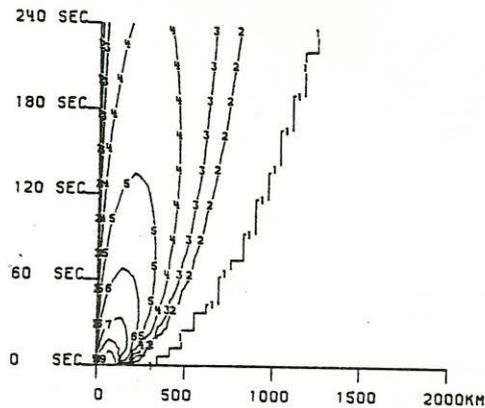
die H-Komponente extrapoliert. Die Größenordnung der berechneten und der gemessenen Vertikal-Komponenten ist etwa gleich, wobei der Untergrund eine bessere Leitfähigkeit als 200 Ohm m hat.

Kurz zusammengefaßt wurde hier eine Möglichkeit zur Berechnung der normalen Z-Komponente im Zeitbereich für vorgegebene Untergrundmodelle für den Fall vorgeführt, daß das induzierende Magnetfeld nicht stationär sein sollte. Die erzielten Ergebnisse sind angesichts der vereinfachenden Annahmen sehr ermutigend.



Liniestrom x-Komponente

Abb.1



10	=	0.20600
9	=	0.07625
8	=	0.02820
7	=	0.01045
6	=	0.00385
5	=	0.00140
4	=	0.00050
3	=	0.00015
2	=	0.00005
1	=	0.00000

Abb.2

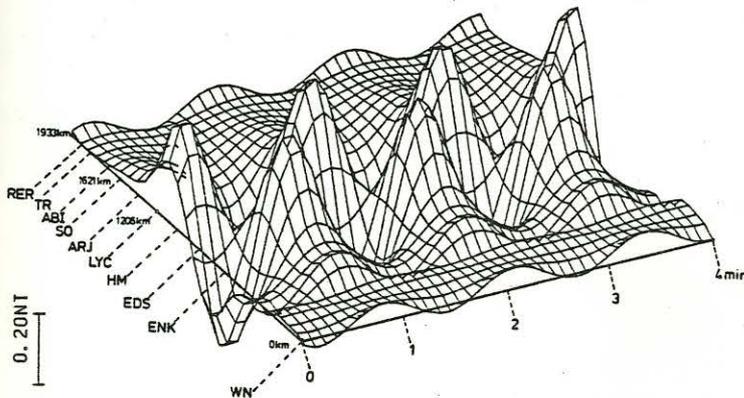


Abb.3

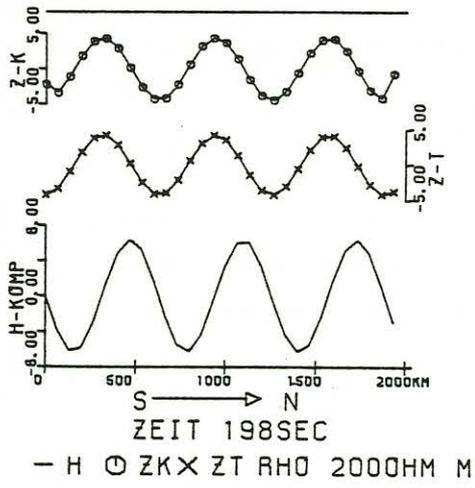


Abb.4

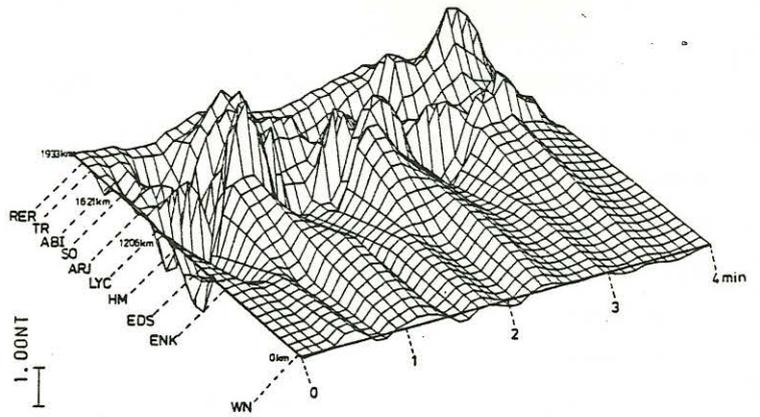


Abb.5

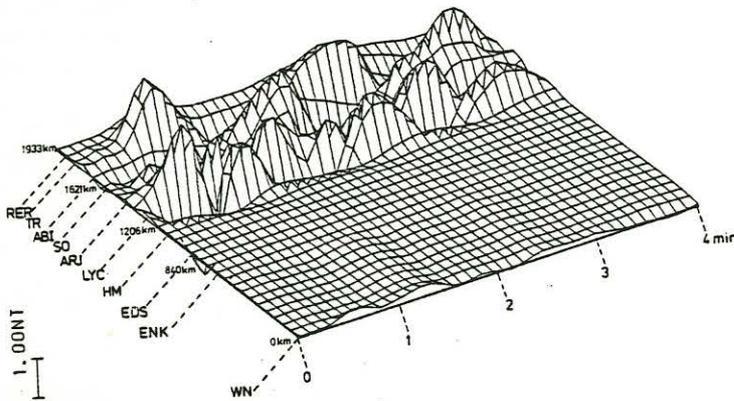


Abb.6

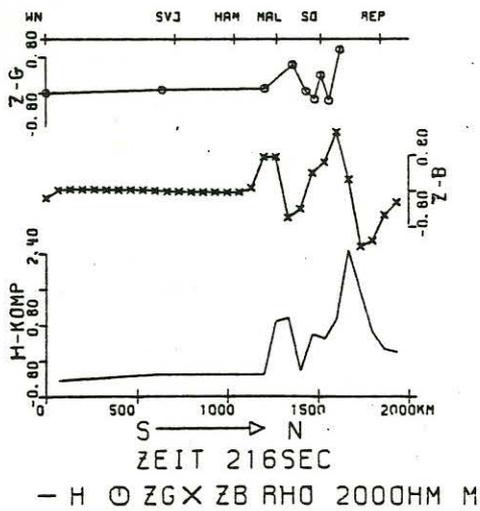


Abb.8

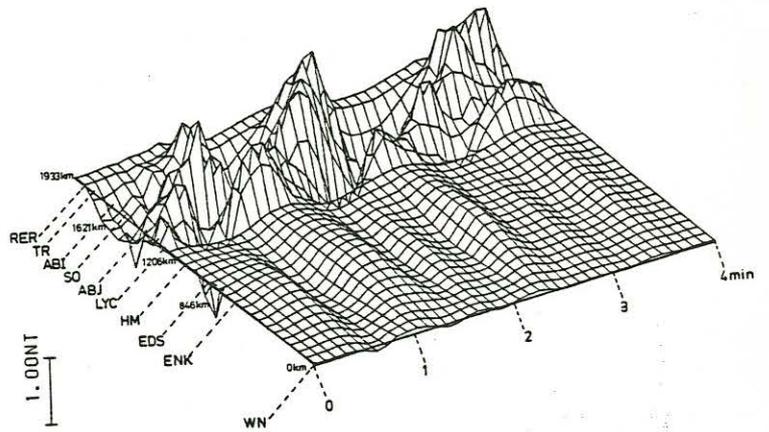


Abb.7