

## Ergebnisse von numerischen Modellrechnungen für die VLF-Methode

P. Kaikkonen<sup>1</sup>

Institut für Geophysik  
Universität Göttingen  
Herzberger Landstr. 180  
D-3400 Göttingen

### Abstract

Numerical 2D and 3D VLF and VLF-R modelling have been carried out in order to have the idea, both qualitative and quantitative, on the behaviour of VLF parameters for 3D models. As was expected 3D anomalies are smaller in magnitude than the ones for the 2D body otherwise with the same dimensions and properties.

In addition results and analysis for 3D/2D relations are presented. For these relations the most important and effective characteristic dimension to be considered is the length of the anomalous body vs. the skin-depth in the host rock. When the length of the body is longer than the skin-depth in the host the responses, particularly tilt angle and apparent resistivity, of the anomalous 3D body approach the 2D ones.

### 1. Einleitung

Dieser Artikel beschreibt einige theoretische Untersuchungen an VLF- und VLF-R-Anomalien über einem 3D-Störkörper. Der gleiche Störkörper wurde auch in der 2D-Näherung gerechnet um Aufklärung über die wichtigen und interessanten 3D/2D-Beziehungen zu bekommen, d.h. insbesondere, ab welcher Ausdehnung eines Störkörpers die 2D-Näherung genügt.

Die 2D- und 3D-Modellierung ist durch die ILONEM-Computerprogramme von Brewitt-Taylor und Weaver (Brewitt-Taylor, Weaver, 1976) und Wannamaker (Wannamaker et al., 1984) durchgeführt worden. Das 2D-Programm von Brewitt-Taylor und Weaver beruht auf der Methode der Finiten Differenzen, während das

---

<sup>1</sup>Department of Geophysics, University of Oulu, SF-90570 OULU, FINLAND

3D-Programm von Wannamaker auf der Integralgleichungsmethode beruht. Zum Schluß sind die VLF-Parameter nach Kaikkonen (1979) gerechnet worden.

## 2. Die Modelle

Die Abbildung 1 zeigt das Modell, das in den Rechnungen benutzt worden ist. Die Anomalien sind ohne und mit Oberflächenschicht gerechnet worden, d.h. erst ist der spezifische Widerstand der Oberfläche  $\rho_1$  gleich dem Widerstand des ungestörten Halbraums  $\rho_2$  und danach  $\rho_1 < \rho_2$  gewesen. Die Länge  $L$  des 3D-Störkörpers variiert von  $L = 10 \text{ m}$  bis  $L = 300 \text{ m}$ . Die Skintiefen  $\delta$  sind in den verschiedenen Widerständen:  $\delta_{5000} \approx 280 \text{ m}$ ,  $\delta_{1000} \approx 125 \text{ m}$ ,  $\delta_{333} \approx 72 \text{ m}$ ,  $\delta_{66.6} \approx 32 \text{ m}$ ,  $\delta_{25} \approx 20 \text{ m}$  und  $\delta_{10} \approx 12 \text{ m}$ .

## 3. Ergebnisse

Hier werden nur einige Ergebnisse als Beispiele der Modellrechnungen dargestellt. Es werden auch nicht alle Parameter, die gemessen werden können, dargestellt. Ebenso die Anomalieprofile der H-Polarisation, die man in der VLF-R-Methode messen kann.

Der veränderliche Modellparameter ist in allen Abbildungen die Länge des Störkörpers. Die Profile verlaufen entlang der Linie  $y = 0$ , gehen also durch den Mittelpunkt des Störkörpers.

Die Abbildung 2 zeigt die Profile des Kippwinkels über 2D- und 3D-Störkörper. In den Abbildungen 2c und 2d kann man sehen, daß mit  $L = 300 \text{ m}$  die 3D- und 2D-Kurven fast gleich sind. Das bedeutet, daß das Verhältnis  $0.5 \times L/\delta_2 \approx 150/125 = 1.2$  groß genug ist, damit der 3D-Körper sich zweidimensional rechnen läßt.

Die 3D-Elliptizitätskurven zeigen in den Abbildungen 3a und 3b einen bemerkenswerten Verlauf, wenn man sie mit der 2D-Modellierung vergleicht. Sie wechseln nicht ihre Polarität, im Gegensatz zu den Kurven des Kippwinkels. Eine Ursache ist wahrscheinlich, daß das Stromsystem im 3D-Modell sich so stark von der 2D-Situation unterscheidet. Aber wenn unser 3D-Störkörper sich fast zweidimensional verhält, wechselt die Polarität ihr Zeichen und nähert sich der 2D-Kurve (Abb. 3c und 3d).

Die Abbildung 4 zeigt die  $\rho_a$ -Profile mit dem gleichen Ergebnis wie die vorhergehenden Abbildungen, d.h. der 3D-Störkörper mit  $L = 300 \text{ m}$  verursacht,

wenn  $\rho_2$  1000  $\Omega m$  ist, die Anomalie, die fast gleich mit der 2D-Anomalie ist.

Wenn  $\rho_2$  5000  $\Omega m$  ist, sind die 3D-Phasenprofile auch mit  $L = 300$  m ziemlich unähnlich den 2D-Profilen (Abb. 5a und 5b). Aber wenn  $\rho_2$  1000  $\Omega m$  und  $L = 300$  m sind, nähern sich die 3D-Profile den 2D-Profilen (Abb. 5c und 5d). Man kann jedoch feststellen, daß Phase und Elliptizität für die 3D- und 2D-Profile (Abb. 5c,d und 3c,d) nicht so gut übereinstimmen wie die  $\rho_a$ - und Kippwinkelwerte. Die Ursache ist, daß die Phase und Elliptizität von weiter entfernt liegenden Bereichen beeinflusst ist, als  $\rho_a$  und Kippwinkel. In der Weise ist  $L/\rho_2 = 1.2$  nicht groß genug, um den 3D-Störkörper zweidimensional zu rechnen.

Die Abbildung 6 zeigt, daß die Veränderung des Widerstands — und zugleich der Skintiefe — des Störkörpers, d.h., wenn  $\rho_3$  25  $\Omega m$  ist, nicht viel an der 3D/2D-Beziehung ändert.

#### 4. Schlußfolgerungen

Die hier dargestellten VLF- und VLF-R-Anomalien, des einfachen 3D-Störkörpers haben qualitativ gleiche Formen wie die der entsprechenden 2D-Störkörper. Aber quantitativ sind die 3D-Anomalien deutlich kleiner als die 2D-Anomalien. Der bemerkenswerte Unterschied liegt in der Elliptizität. Mit der Kombination der erforschten Modellparameter wechselt die Elliptizität bei dem 3D-Störkörper, im Gegensatz zu dem 2D-Störkörper, nicht ihr Zeichen, wenn man sie mit dem Kippwinkel vergleicht. Wie können wir die 3D-Anomalien von den 2D-Anomalien unterscheiden? Die beste Weise ist so kurze Entfernungen zwischen den Meßpunkten und Meßprofilen wie wirtschaftlich möglich zu benutzen. Danach ist es eher möglich, in der Interpretation zu entscheiden, wann die gemessene Anomalie "ununterbrochen" ist, d.h. sich zweidimensional darstellen läßt.

Die Modellrechnungen zeigen, daß die Länge des Störkörpers im Vergleich zur Skintiefe im Halbraum die bedeutsamste Rolle für die 3D/2D-Beziehungen spielt. Wenn das Verhältnis  $L/\delta_2$  grösser als ungefähr 1.2 beträgt, läßt sich der 3D-Störkörper zweidimensional rechnen.

#### Danksagung

Ich danke der Alexander von Humboldt-Stiftung für das Forschungsstipendium, der Universität Oulu für ihr Unterstützung während meines Humboldtjahres und dem Institut für Geophysik der Universität Göttingen für die Möglichkeit, dort

zu arbeiten und den Leuten im Institut für das ausgezeichnete Arbeitsklima. Auch danke ich Herrn Lutz Wendorff für die Untersuchung meiner deutschen Sprache.

### Literatur

Brewitt-Taylor, C.R., Weaver, J.T., 1976. On the finite difference solution of two-dimensional induction problems. Geophys. J.R. astr. Soc. 47, 375-396.

Kaikkonen, P., 1979. Numerical VLF modeling. Geophys. Prospecting 27, 815-834.

Wannamaker, P.E., Hohmann, G.W., SanFilipo, W.A., 1984. Electromagnetic modeling of three-dimensional bodies in layered earths using integral equations. Geophysics 49, 60-74.

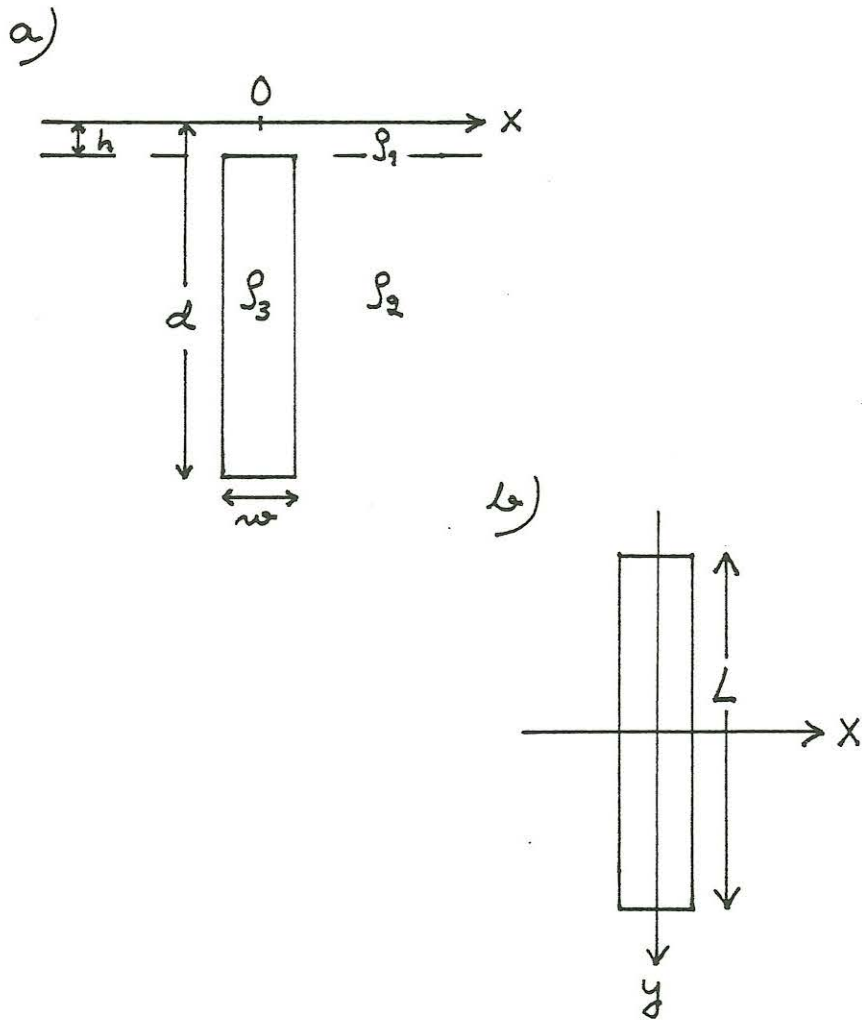


Abb. 1. Das Modell, das in den Rechnungen benutzt wurde.  
 $f = 16000 \text{ Hz}$ ,  $h = 5 \text{ m}$ ,  $d = 50 \text{ m}$ ,  $w = 10 \text{ m}$ ,  
 $L = 10, 20, 50, 100, 200, 300$  und  $\infty \text{ m}$ ,  
 $\rho_1 = 5000$  und  $333 \Omega\text{m}$  oder  $1000$  und  $66.6 \Omega\text{m}$ ,  
 $\rho_2 = 5000$  oder  $1000 \Omega\text{m}$ ,  $\rho_3 = 10$  oder  $25 \Omega\text{m}$ .  
(a) der Querschnitt und (b) die Planansicht.

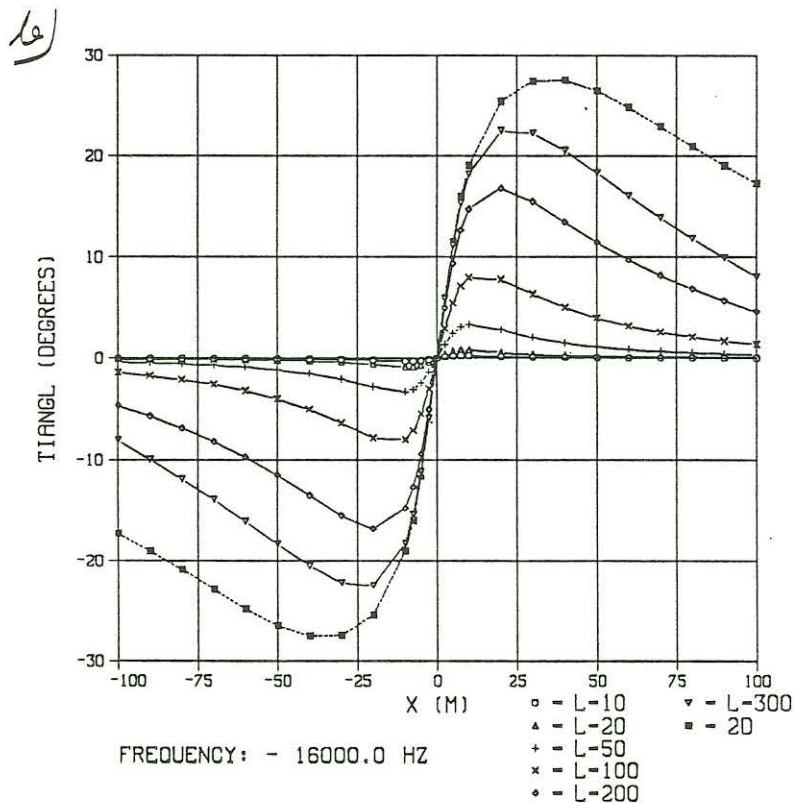
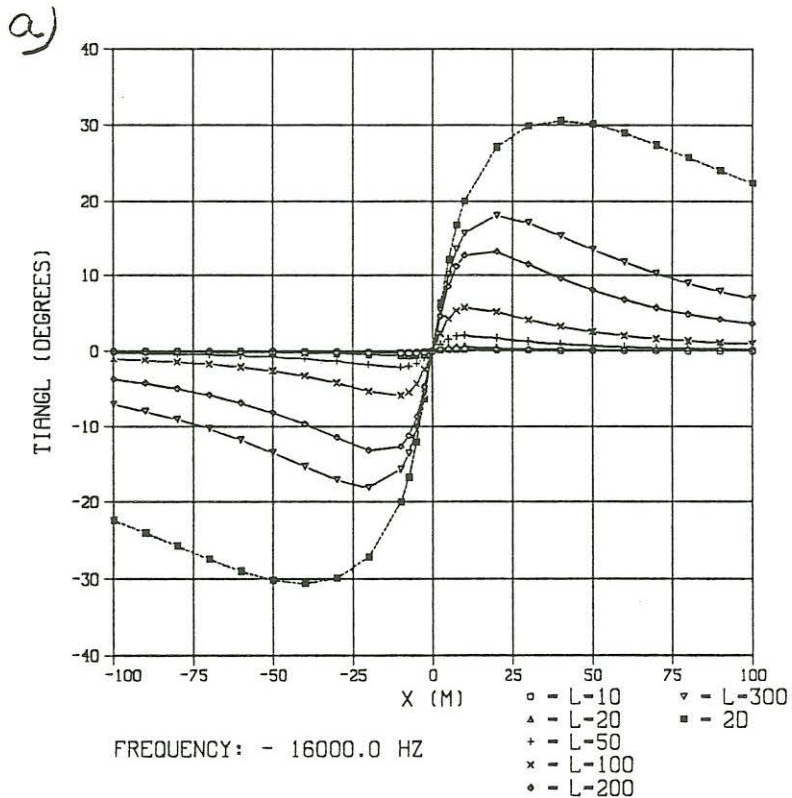


Abb. 2. Die Kippwinkelprofile.  
 (a)  $\rho_1 = 5000 \Omega m$ ,  $\rho_2 = 5000 \Omega m$ ,  $\rho_3 = 10 \Omega m$ ,  
 (b) sonst gleich wie (a), aber  $\rho_1 = 333 \Omega m$ ,  
 (c) sonst gleich wie (a), aber  $\rho_1$  und  $\rho_2 = 1000 \Omega m$ ,  
 (d) sonst gleich wie (c), aber  $\rho_1 = 66.6 \Omega m$ .

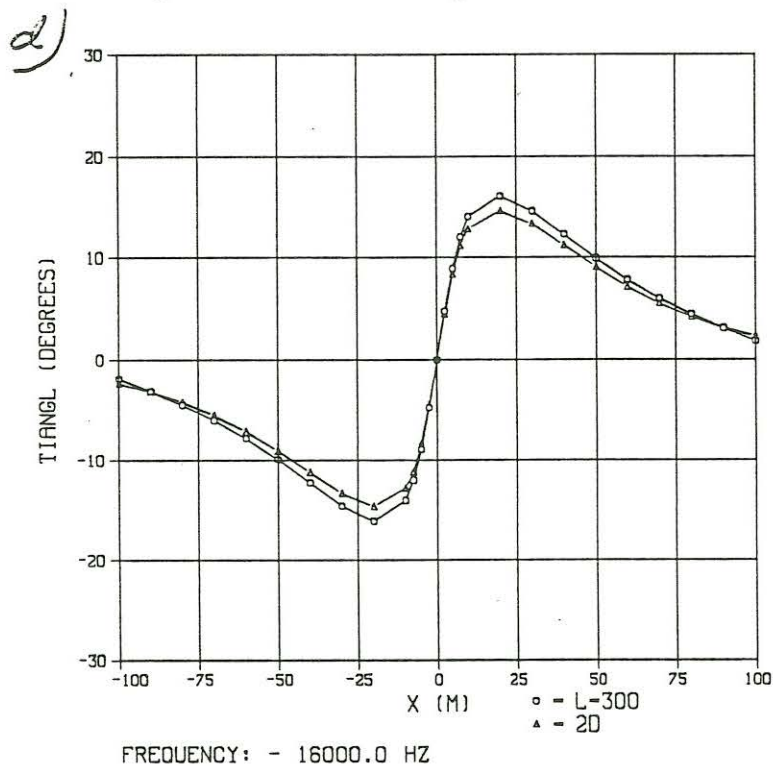
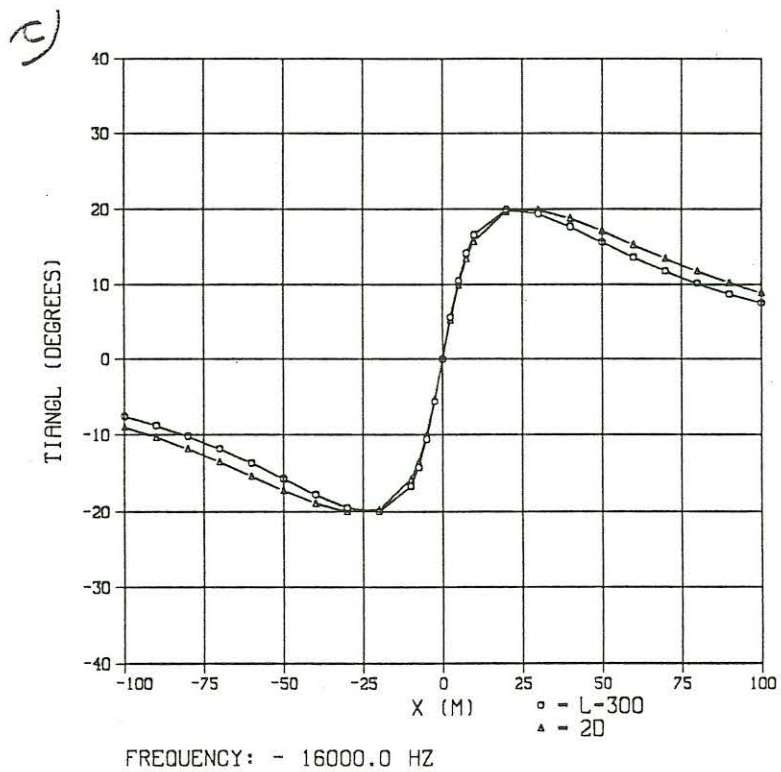


Abb. 2. Die Kippwinkelprofile.

- (a)  $\rho_1 = 5000 \Omega m$ ,  $\rho_2 = 5000 \Omega m$ ,  $\rho_3 = 10 \Omega m$ ,
- (b) sonst gleich wie (a), aber  $\rho_1 = 333 \Omega m$ ,
- (c) sonst gleich wie (a), aber  $\rho_1$  und  $\rho_2 = 1000 \Omega m$ ,
- (d) sonst gleich wie (c), aber  $\rho_1 = 66.6 \Omega m$ .

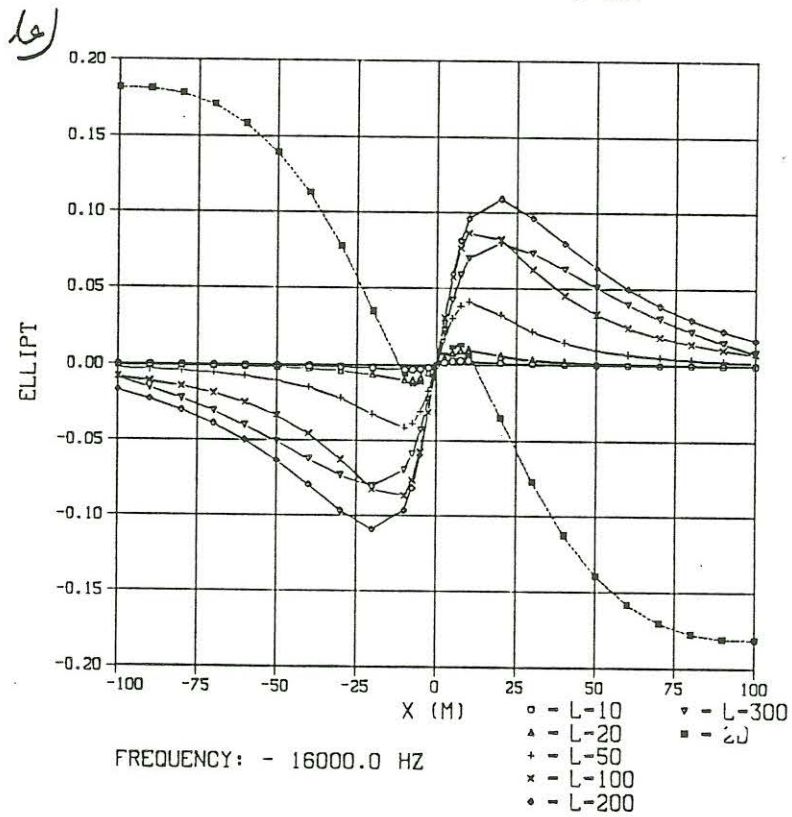
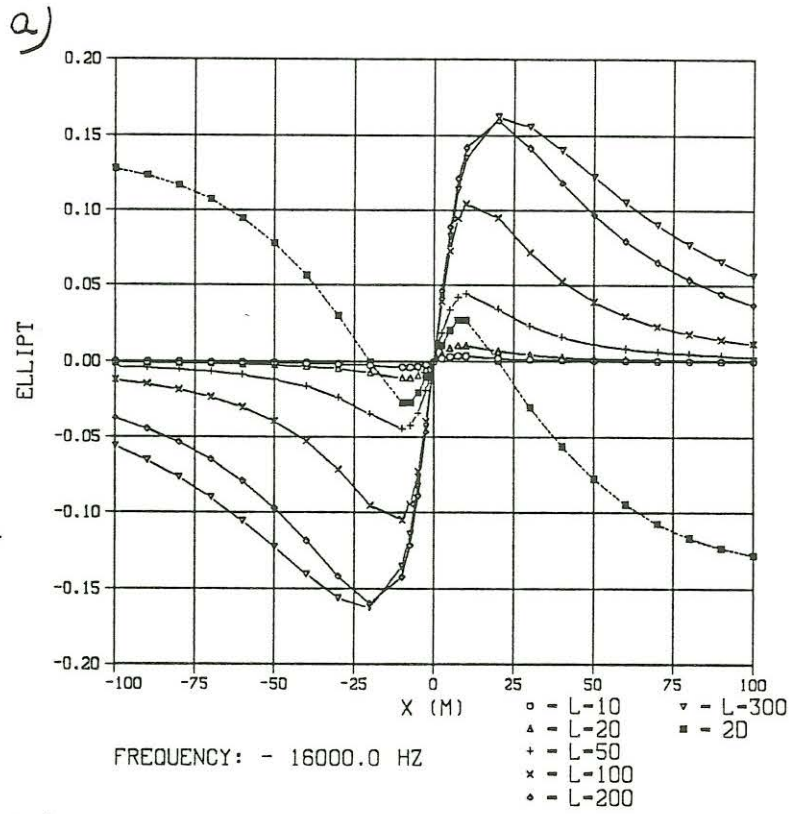


Abb. 3. Die Elliptizitätsprofile. Sonst wie Abb. 2.



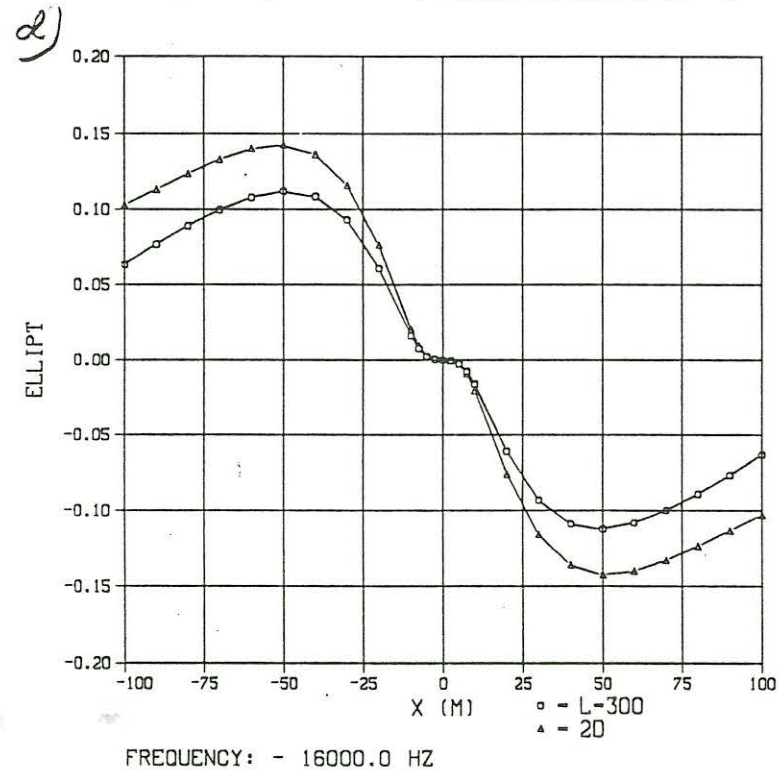
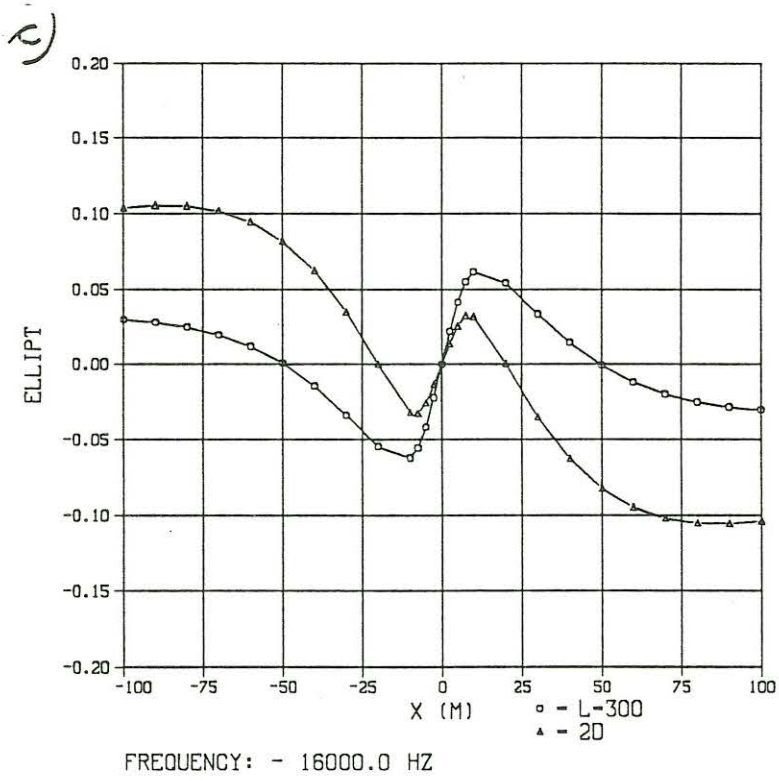


Abb. 3. Die Elliptizitätsprofile. Sonst wie Abb. 2.

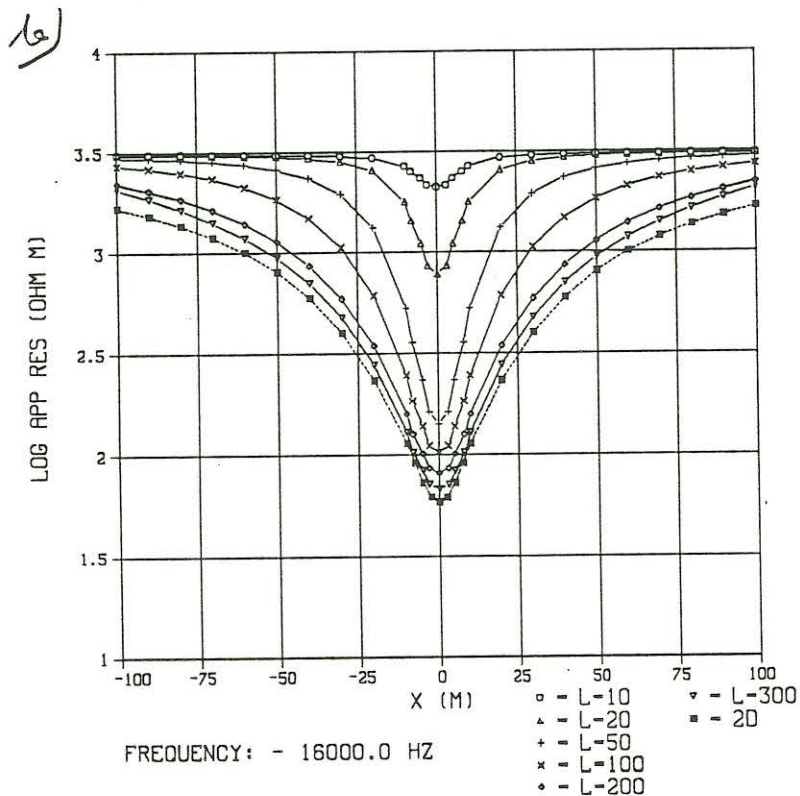
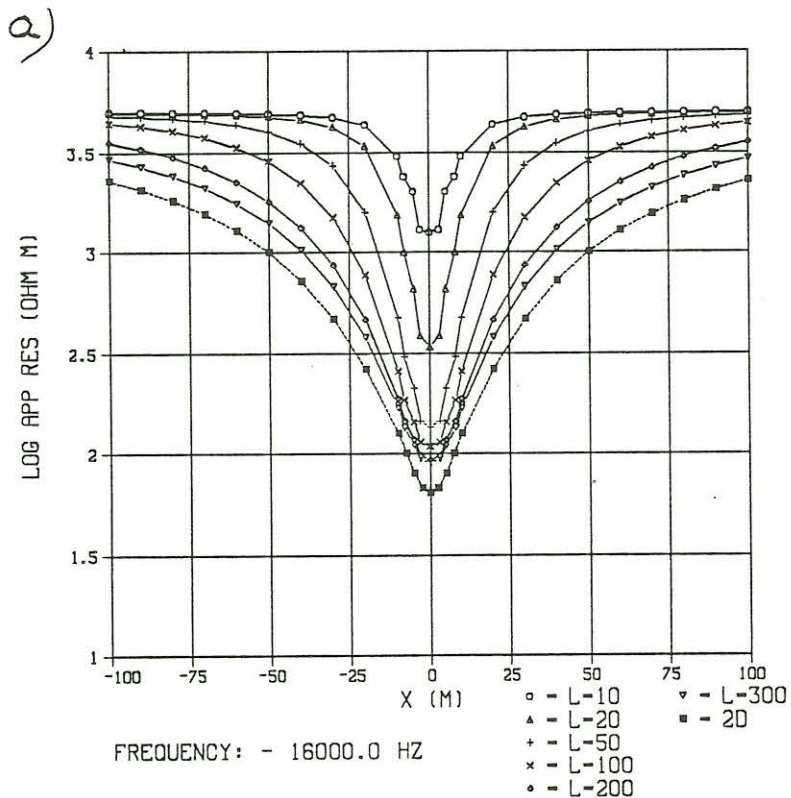


Abb. 4. Die  $\rho_a$ -Profile. E-Polarisation. Sonst wie Abb. 2.

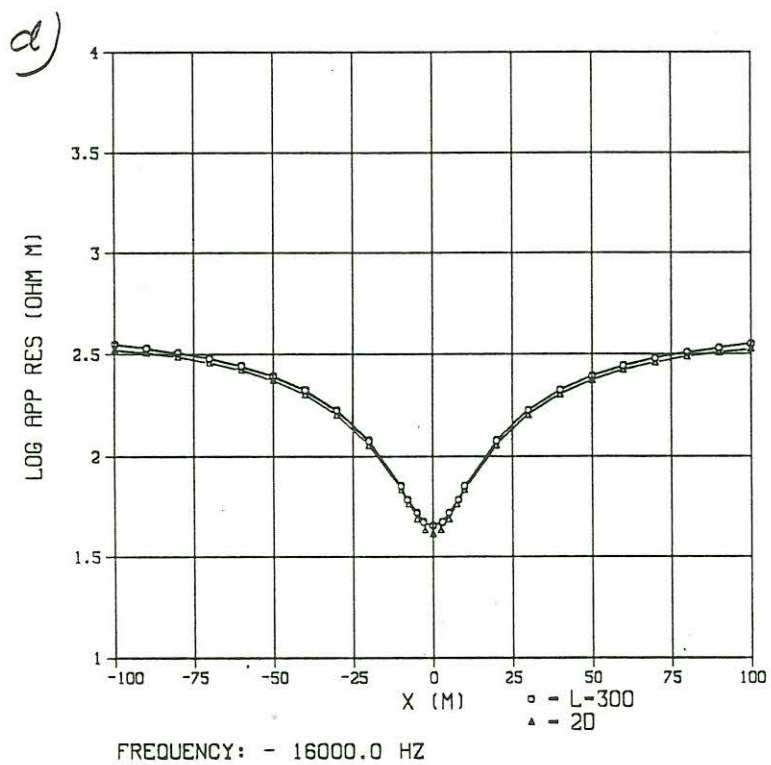
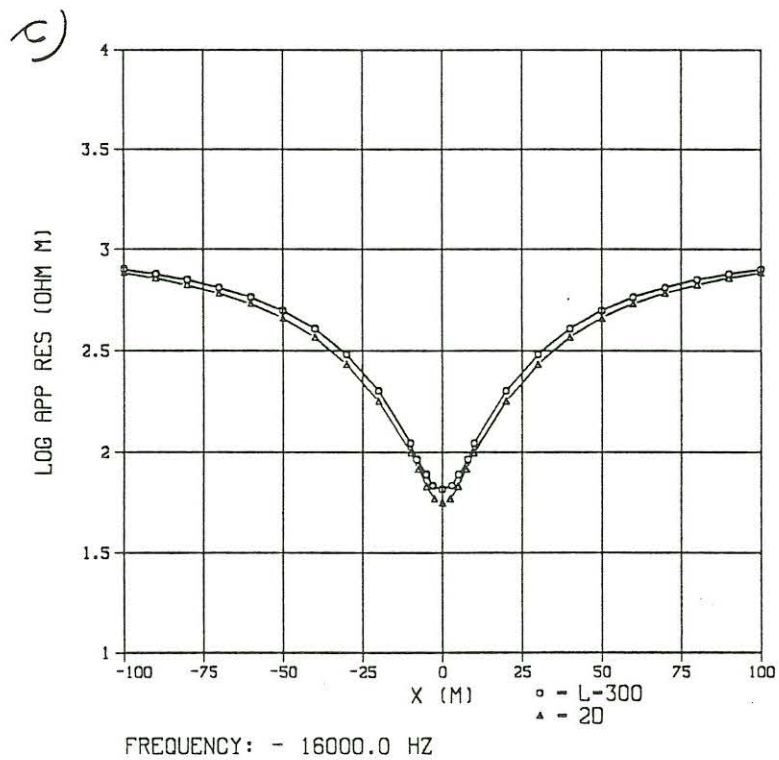


Abb. 4. Die  $\rho_a$ -Profile. E-Polarisation. Sonst wie Abb. 2.

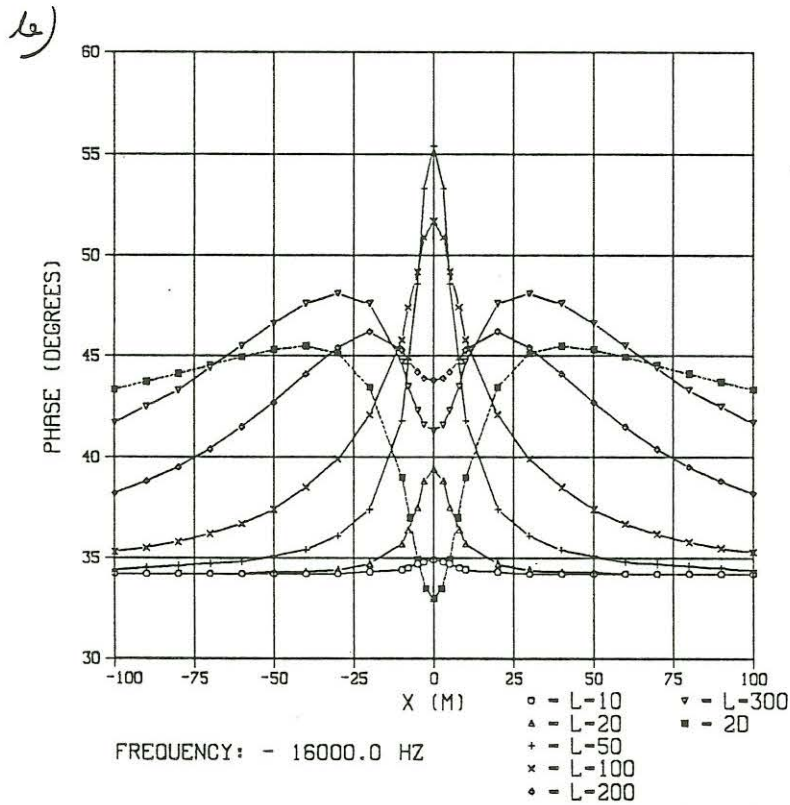
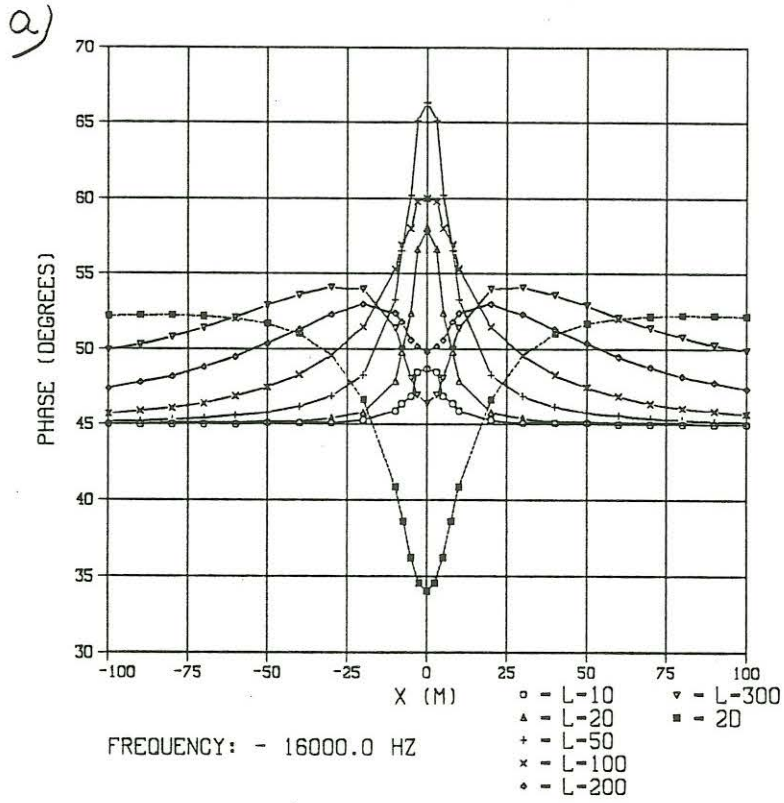


Abb. 5. Die Phasenprofile. E-Polarisation. Sonst wie Abb. 2.

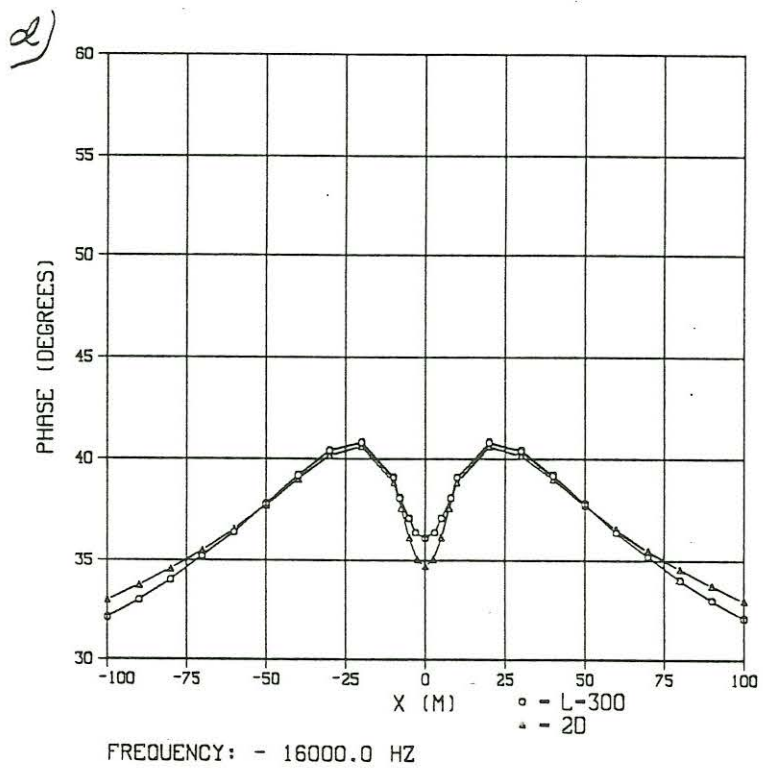
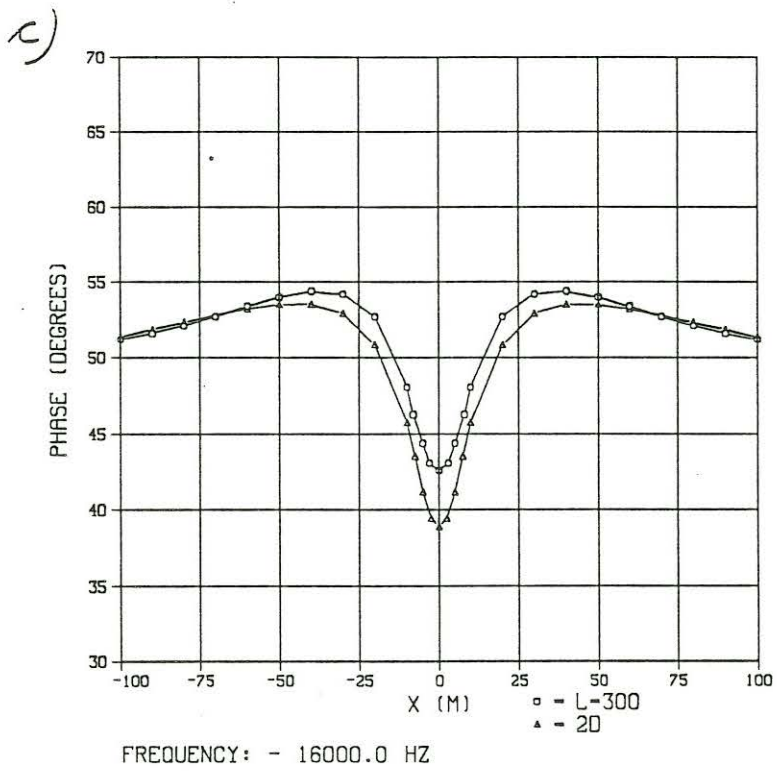


Abb. 5. Die Phasenprofile. E-Polarisation. Sonst wie Abb. 2.

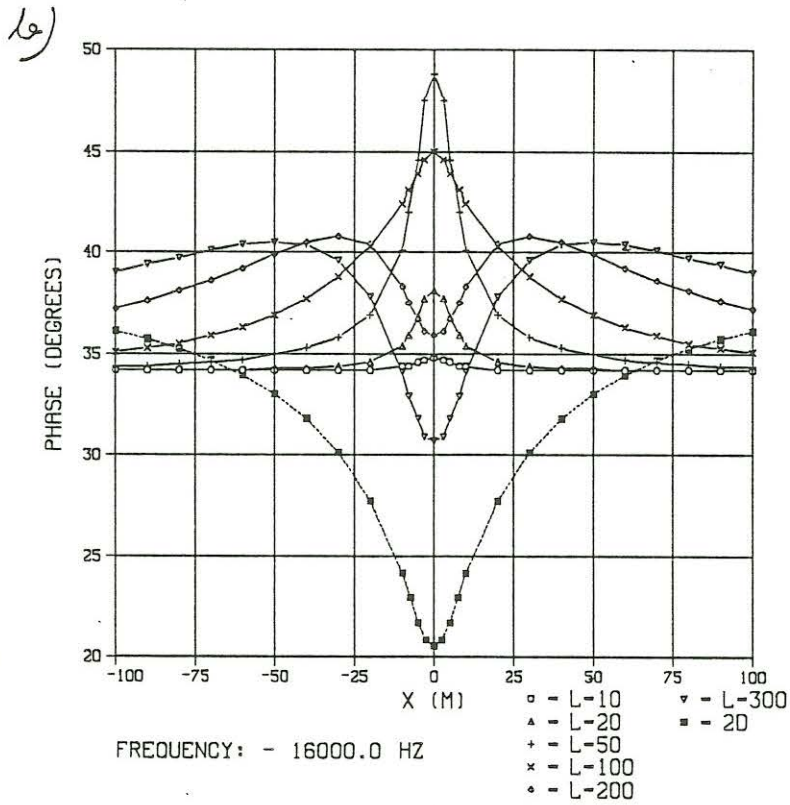
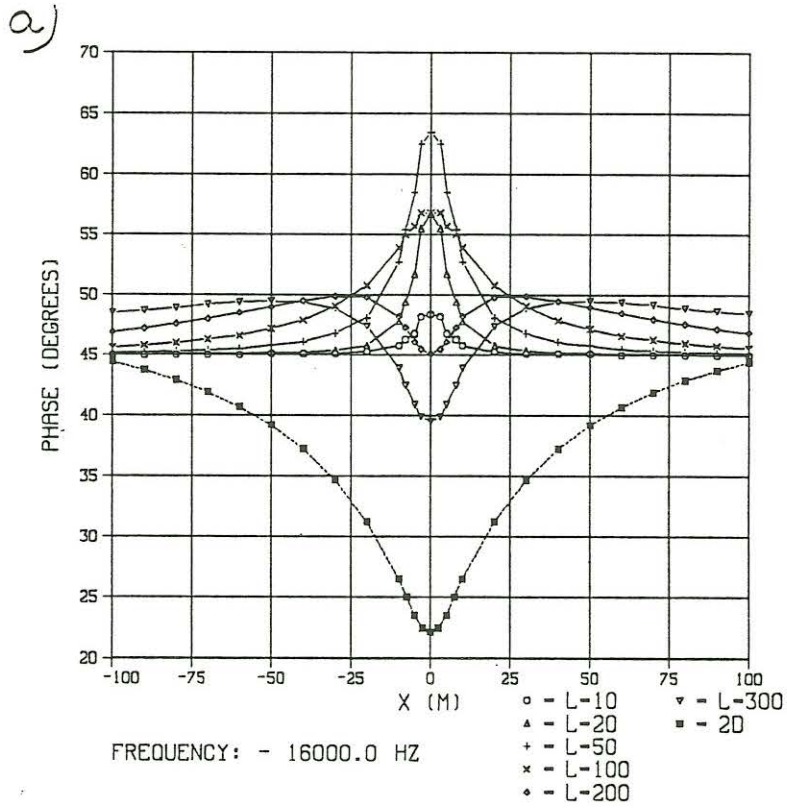


Abb. 6. Die Phasenprofile. E-Polarisation.  $\rho_3 = 25 \Omega m$ . Sonst wie Abb. 2.

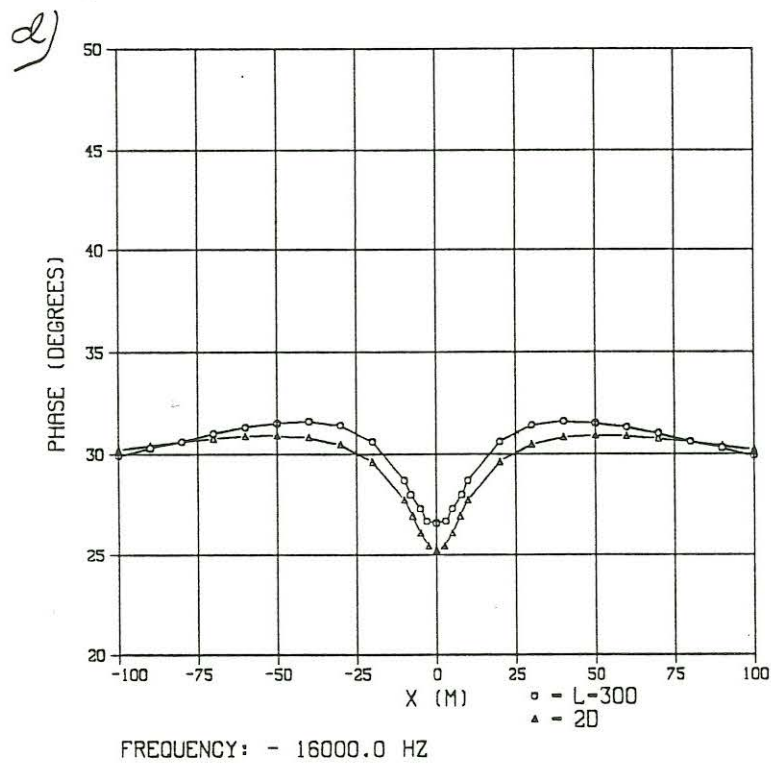
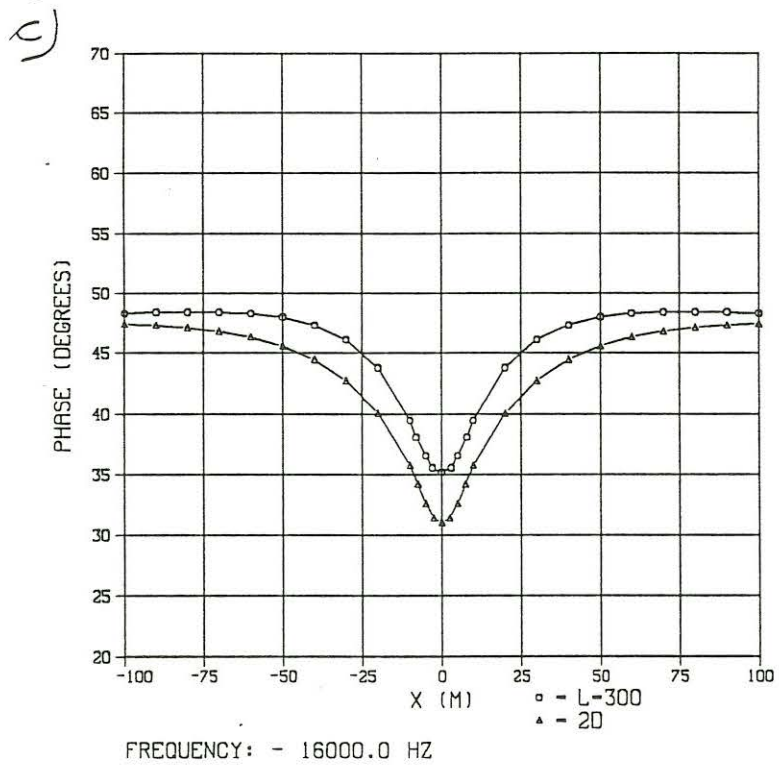


Abb. 6. Die Phasenprofile. E-Polarisation.  $\rho_3 = 25 \Omega m$ . Sonst wie Abb. 2.