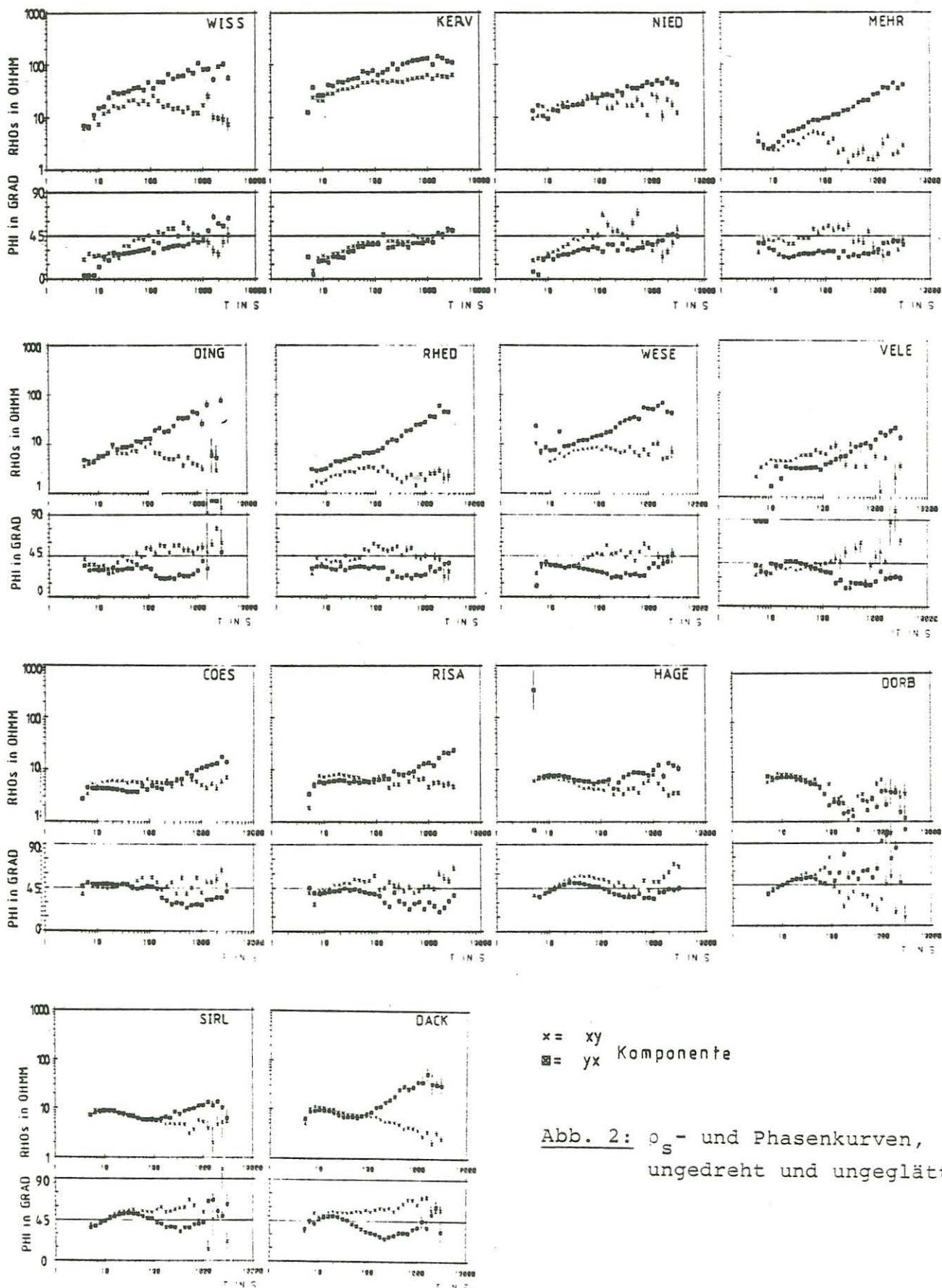


überprüft werden, da am Rhein die "Kulm" - Fazies von der vermutlich hochohmigen "Kohlenkalk" - Fazies abgelöst wird (Paproth and Zimmerle, 1980). Die Existenz des guten Leiters über diese Grenze hinaus würde zum Beispiel einen solchen Zusammenhang als eher unwahrscheinlich erscheinen lassen.

- Wegen der unterschiedlichen Mächtigkeit junger, gutleitender Sedimente im West- und Ostteil des Profils, wegen des erwähnten Fazieswechsels und des Erreichens des Randbereichs des Niederrhein-Grabens im Westen wurden zweidimensionale Effekte erwartet, die mit Hilfe zweidimensionaler Modellrechnung untersucht werden sollten.

Als erstes Ergebnis sind in Abb. 2 die ungeglätteten und ungedrehten ρ_s - und Phasenkurven aller 14 Stationen dargestellt. Sie lassen sich anhand einfacher Unterscheidungsmerkmale zu drei Gruppen zusammenfassen: Die Stationen VELE - DACK im zentralen Münsterland zeichnen sich durch ein Minimum in den ρ_s -Kurven zwischen 50 und 100 s aus und können z.T. in guter Näherung eindimensional interpretiert werden. Bei den Stationen MEHR - WESE im westlichen Münsterland tritt mit zunehmender Periodendauer eine deutlich zunehmende Anisotropie auf. Die Stationen WISS - NIED westlich des Rheins unterscheiden sich schließlich durch ihre insgesamt erhöhten scheinbaren spezifischen Widerstände und ihre Kurvenform von den übrigen Stationen des Profils. Diese Untergliederung wird noch etwas deutlicher bei dem Vergleich der aus der Drehinvarianten $\bar{z} = (z_{xy} - z_{yx})/2$ berechneten mittleren ρ_s - und Phasenkurven (vgl. Abb. 6) oder nach der Drehung der Übertragungstensoren auf ihr Hauptachsensystem.

Die für Modellrechnungen wesentliche Frage, wie die Nebendiagonalelemente des Tensors nach der Drehung dem Fall der E-Polarisation bzw. dem Fall der B-Polarisation zugeordnet werden können, wurde anhand der Orientierungen der Hauptachsensysteme, anhand eines Vergleichs der Kurven entlang des Profils und anhand der Richtungen der Induktionspfeile untersucht. Dabei zeigte sich, daß die Hauptachsen der Übertragungstensoren der Stationen WISS - COES weitgehend parallel bzw. senkrecht zum Verlauf des Profils ausgerichtet sind. In Abb. 3 ist dies am Beispiel der Periode $T = 100$ s dargestellt, die Drehwinkel sind bis auf den Bereich sehr kurzer Perioden kaum periodenabhängig. Die Orientierung dieses Profilabschnitts war parallel zur variszischen Streich-



richtung gewählt worden, der größte Teil der tektonischen Störungen in diesem Gebiet verläuft wiederum senkrecht dazu. Bei der Gruppe der Stationen RISA - DACK tritt ein anderes Richtungssystem auf (herzynisch ?), das in diesem Zusammenhang aber keine größere Rolle spielt, da die Stationen näherungsweise eindimensional interpretiert werden können.

Nach der Drehung haben die Komponenten parallel zur Profilrichtung und die Komponenten senkrecht dazu bei benachbarten Stationen jeweils große Ähnlichkeit ("aufsteigender" bzw. "absteigender" Typ). Keine der Gruppen zeichnet sich durch eine besonders auffallende laterale Stetigkeit oder Unstetigkeit aus, was die Annahme eines der beiden Fälle "E-Polarisation" oder "B-Polarisation" hätte als gerechtfertigt erscheinen lassen. Für eine solche Festlegung wurde deshalb das Verhalten der Induktionspfeile (Abb. 4) hinzugezogen, die im Fall einer zweidimensionalen Leitfähigkeitsverteilung senkrecht zu den Leitfähigkeitsgrenzen stehen. Die Richtungen der Pfeile der Stationen östlich des Rheins sind z.T. extrem stark periodenabhängig und überdies zum Teil verhältnismäßig klein, im Einklang mit obigem Befund einer angenähert eindimensionalen Leitfähigkeitsverteilung im zentralen Münsterland. Dagegen zeigen die Pfeile der Stationen WISS - NIED westlich des Rheins praktisch unabhängig von der Periode nahezu senkrecht zum Verlauf des Profils. Entscheidend ist, daß bei WISS - NIED damit insbesondere die Richtungen der Realpfeile jeweils mit der Richtung der zugehörigen Hauptachsensysteme senkrecht zum Profilverlauf sehr gut übereinstimmen. Es darf deshalb angenommen werden, daß hier die Tensorkomponenten parallel zum Verlauf des MT-Profiles den Fall der E-Polarisation darstellen. Die Zuordnung der Komponenten der anderen Stationen zur E- bzw. B-Polarisation erfolgt dann anhand der Ähnlichkeit der Kurvenformen. Der ursprünglich angenommene WSW-ENE-Leitfähigkeitsgradient ist somit offenbar von geringerer Bedeutung als ein Gradient, der vermutlich in engem Zusammenhang mit dem Nordrand des Variszikums steht. Eine zweidimensionale Bearbeitung der Daten ist deshalb nicht möglich.

Die weitere Interpretation der Ergebnisse beschränkt sich aus diesem Grund auf eindimensionale Modellrechnungen. Sie wurden durchgeführt mit den Daten der E-Polarisation und der Drehinvarianten, um möglichst gute Näherungen für die Leitfähigkeitsverteilung zu erhalten. Angewendet wurde hierzu der ψ - Algorithmus

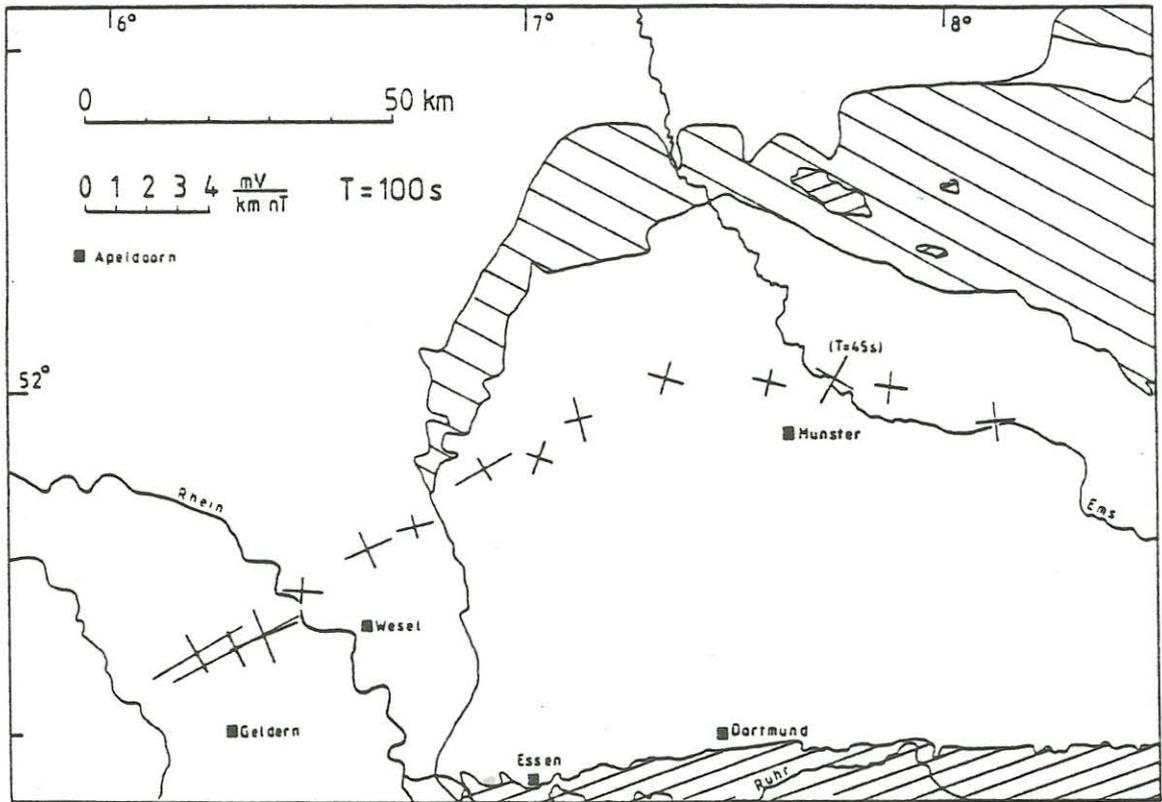


Abb. 3: Beträge der Nebendiagonalelemente nach Drehung des Übertragungstensors auf sein Hauptachsensystem, $T = 100$ s

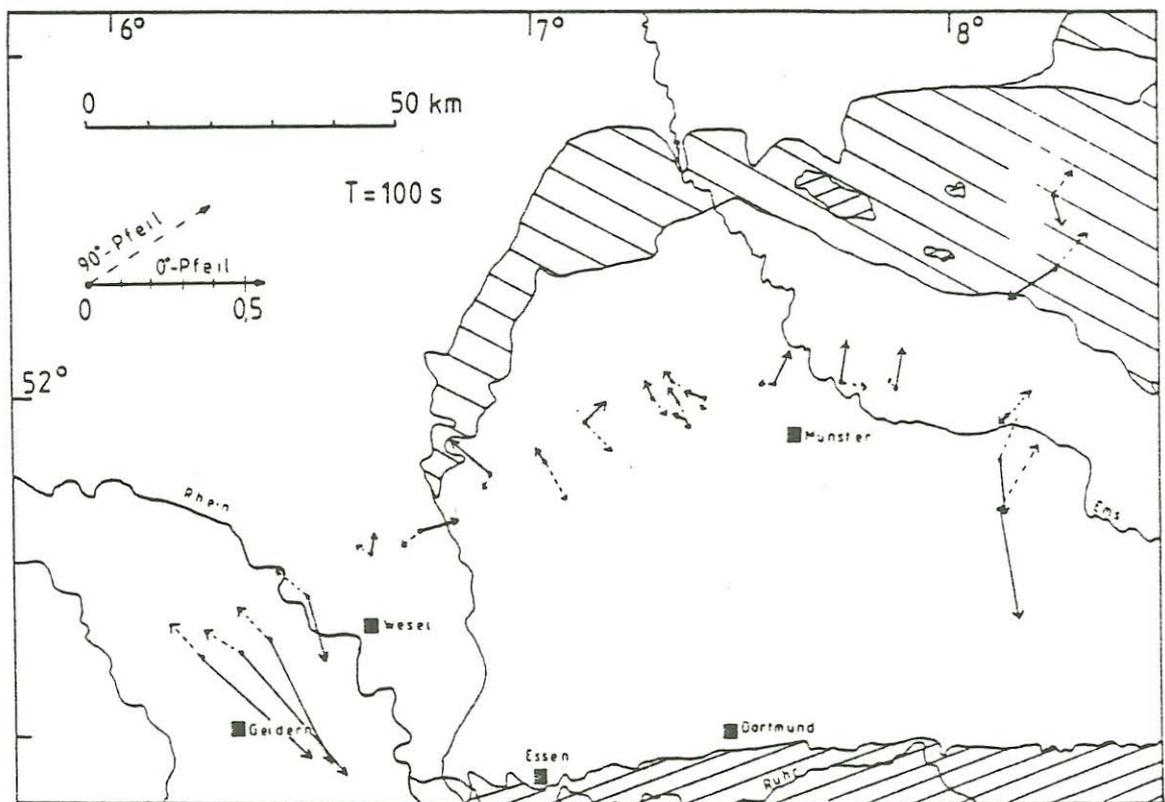


Abb. 4: Induktionspfeile, $T = 100$ s

von Schmucker (1974) sowie das Inversionsverfahren von Eichler (1980). Die mit dem Ergebnis des ψ - Algorithmus als Startmodell berechneten "besten" Modelle der Eichler-Inversion (vgl. Bejarano-Gerke, 1984) sind in Abb. 5 dargestellt. Wie Abb. 6 zeigt, konnte in allen Fällen eine recht gute Anpassung der gemessenen Daten durch die zu diesen Modellen gehörenden theoretischen ρ_s - und Phasenkurven erreicht werden. Die "Eichler-Modelle" unterscheiden sich bei den Meßpunkten MEHR - DACK nur wenig von den zugehörigen "Schmucker-Startmodellen", während an den Punkten WISS - NIED nur mit dem Eichler-Verfahren eine befriedigende Anpassung auch bei den langen Perioden erreicht werden konnte.

Das wesentliche Ergebnis der Modellrechnungen ist der sehr sichere Nachweis eines guten Leiters zwischen den Bohrungen Münsterland 1 (RISA) und Versmold 1 (DACK). Er tritt in der Tiefe von 5 - 8 km nicht nur in den hier vorgestellten Modellen der Drehinvarianten und der E-Polarisation, sondern auch bei den Modellen der B-Polarisation auf, wie Büchter (1984) schon für die Station WIEL zeigen konnte. Die Tiefenlage dieses Leiters, der sich in Richtung WSW offenbar bis VELE, d.h. bis zu einer Entfernung von ca. 20 km von der Bohrung Münsterland 1 verfolgen läßt, ist besonders bei Auswertung der Drehinvarianten sehr konstant (das Modell von COES könnte allerdings durch lokale Gleichstromeffekte verzerrt sein, die Folge guter und schlechter Leiter scheint zu geringeren Tiefen verschoben zu sein).

Die Modelle der Drehinvarianten und z.T. der E-Polarisation zeigen zwischen WESE und DACK in Tiefen \gtrsim 20 km eine zweite gutleitende Zone. Obwohl eine befriedigende Anpassung der ρ_s - und besonders der Phasenwerte bei langen Perioden erst nach Einführung dieser Schicht erreicht wird, muß ihre Existenz als unsicher gelten, da bei langen Perioden Anisotropie und Datenunsicherheit zunehmen. Es kommt hinzu, daß ein guter Leiter in dieser Tiefe bei der vorliegenden Leitfähigkeitsverteilung nicht als zweites Minimum in der ρ_s -Kurve (und damit "für jedermann sichtbar") in Erscheinung treten würde. Andererseits wäre eine Erhöhung der Leitfähigkeit in der unteren Kruste nicht ungewöhnlich, sie würde dem im Rheinischen Schiefergebirge an vielen Meßpunkten nachgewiesenen "Guten Leiter Unterkruste" (vgl. Jödicke et al., 1983) entsprechen.

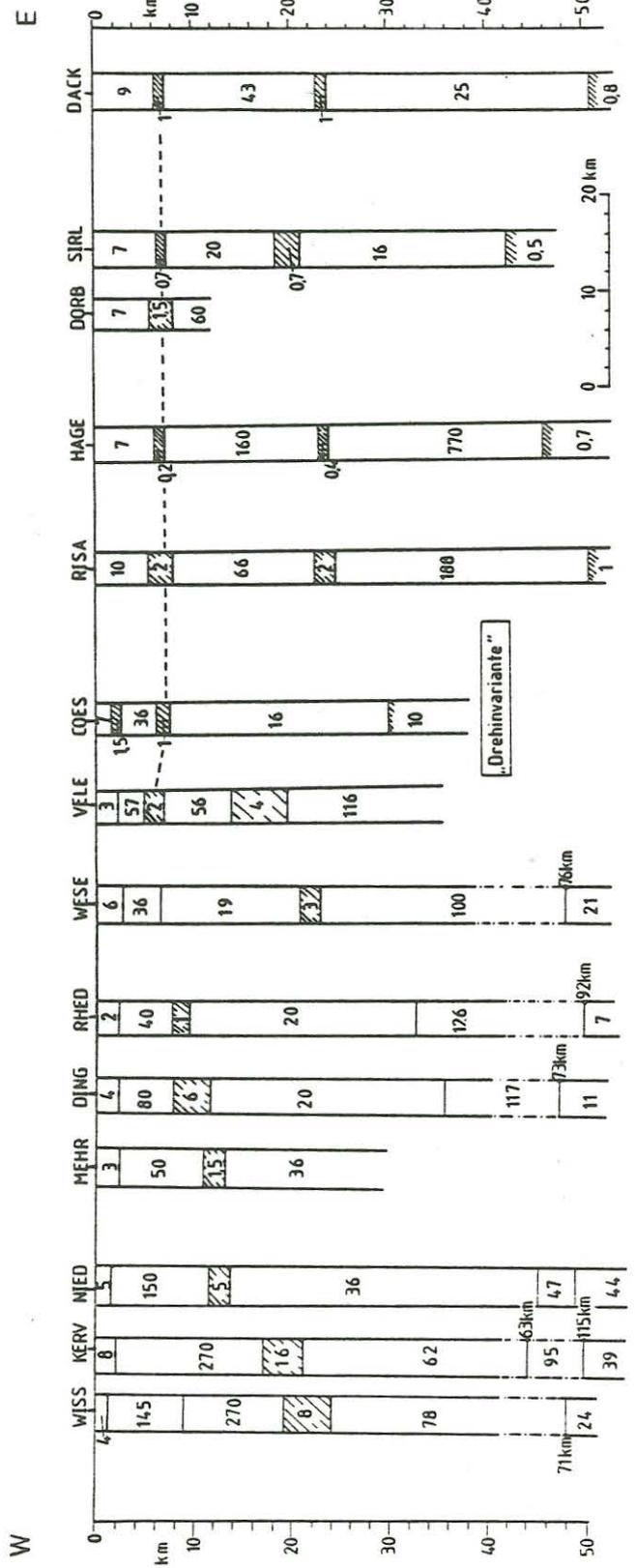
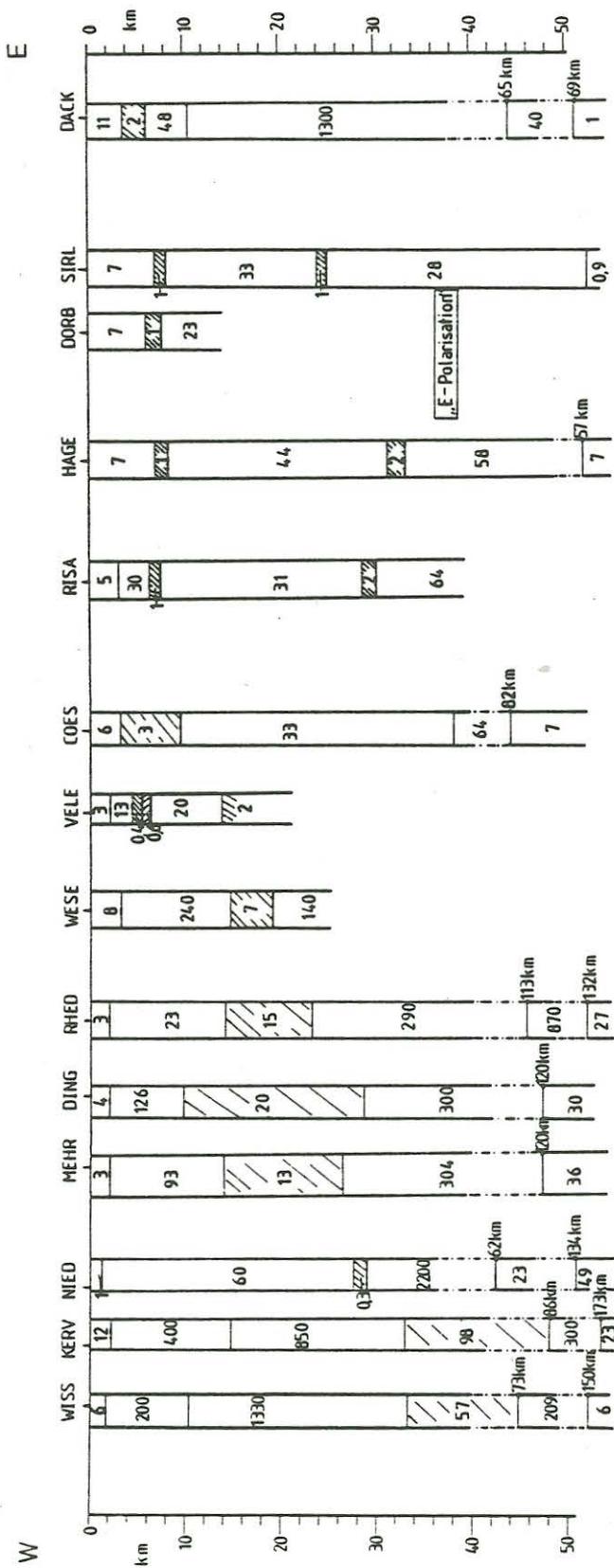


Abb. 5: 1D-Modelle aus "Drehinvariante" und "E-Polarisation"

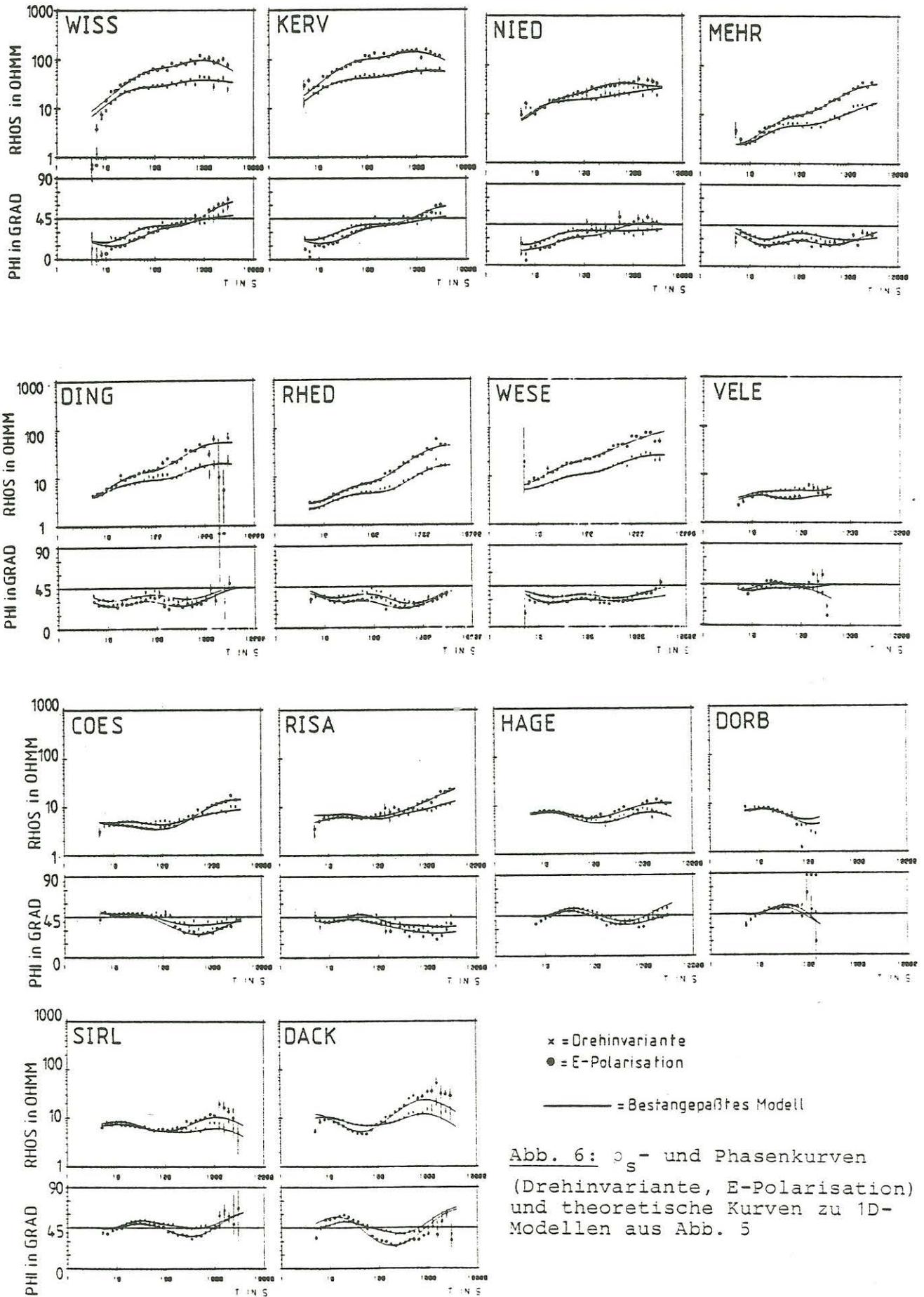


Abb. 6: ρ_s - und Phasenkurven (Drehinvariante, E-Polarisation) und theoretische Kurven zu 1D-Modellen aus Abb. 5

Weiter nach Westen vergrößern sich die Unterschiede zwischen den Modellen der E-Polarisation und der Drehinvarianten entsprechend der Zunahme der Anisotropie. Eine Erhöhung der Leitfähigkeit im Bereich der mittleren bis unteren Kurste kann aufgrund der Modelle der Stationen NIED - RHED als sicher angenommen werden, eine genaue Angabe der Tiefenlage des guten Leiters ist aber nicht möglich.

Für die abschließende Interpretation der Leitfähigkeitsverteilung entlang des Profils wird deshalb nur der Tiefenbereich bis 10 km betrachtet. Von besonderer Bedeutung ist hier das Auftreten des guten Leiters zwischen 5 und 8 km im zentralen Münsterland, was in einem eindeutigen Zusammenhang mit der Faziesverteilung zur Zeit des Unterkarbons gesehen werden kann: Das zentrale Münsterland gehört zum Bereich des ehemaligen "Kulm" - Beckens mit pyrit- und kohlenstoffreichen Schwarzschiefern (vgl. Jödicke, 1984), während das Gebiet westlich des Rheins mit seinen - von der gutleitenden Deckschicht abgesehen - recht hohen spezifischen Widerständen zu einem Bereich gehört, der über einen langen Zeitraum in der Erdgeschichte Schwellen- oder Schelfregion war. Zur Zeit des Unterkarbons war dieses Gebiet Teil der "Kohlenkalk-Plattform" (vgl. Paproth and Zimmerle, 1980).

Die integrierte Leitfähigkeit des guten Leiters erreicht nach allen Modellen des ψ - Algorithmus und der Eichler-Inversion bei Auswertung der ρ_s - und Phasenkurven der E-Polarisation, der B-Polarisation und der Drehinvarianten Werte um 1000 S oder sogar erheblich mehr. Sie können nach bisheriger Kenntnis nur schwerlich allein durch die zwar sehr niederohmige, aber nur geringmächtige Schichtenfolge der "Hangenden Alaunschiefer" und des Unterkarbons mit ca. 60 m leitfähigem Anteil erklärt werden, da hierzu ein mittlerer spezifischer Widerstand von maximal 0,04 Ω m erforderlich wäre. Es wird deshalb angenommen (vgl. Jödicke et al., 1982; Büchter, 1984), daß tiefer gelegene, von Bohrungen bisher nicht erfaßte Schichten, vorzugsweise des Kambro-Ordoviziums, zu der gesamten integrierten Leitfähigkeit beitragen. Diese altpaläozoischen Schichten werden an der Bohrung Versmold 1 von Nodop (1971) aufgrund von Ergebnissen der Refraktionsseismik im Tiefenbereich 6 - 8 km und damit in der Tiefenlage des guten Leiters erwartet. Westlich des Rheins,

wo sie wiederum nach Ergebnissen der Refraktionsseismik von Plein et al. (1982) in der Tiefe von 3 - 7 km vermutet werden, sind sie jedoch hochohmig (vgl. Abb. 5). Das bedeutet, daß entweder im Unterkarbon die erforderliche extrem hohe Leitfähigkeit vorliegt, womit der gute Leiter durch eine einzige Schicht erklärt wäre, oder aber es tritt - in genauer Analogie zur paläogeographischen Situation im Unterkarbon - auch in den tiefer gelegenen, als gutleitend angenommenen Schichten nach Westen eine Abnahme der Leitfähigkeit aufgrund eines entsprechenden Wechsels von Faziesbereichen ein. Anhand der vorliegenden magnetotellurischen Ergebnisse ist es (auch wenn bei den meisten Modellen der "Schwerpunkt" des guten Leiters tiefer liegt als die zumindest an den Bohrpunkten bekannte Tiefenlage des Unterkarbons !) ohne genaue Kenntnis, wie groß die in situ - Leitfähigkeit des Unterkarbons und damit sein Anteil an der integrierten Leitfähigkeit tatsächlich ist, bei Beachtung aller Fehlermöglichkeiten, wie z.B. das Fehlen kurzperiodischer ($T < 5s$), aber auch langperiodischer ($T > 3000 s$) Daten bei der Modellrechnung, nicht möglich, zwischen beiden Fällen zu unterscheiden.

Literatur: (Weitere Lit.-Angaben vgl. Bächter (1984))

Bejarano-Gerke, G.: Magnetotellurische Messungen entlang eines Profils zwischen Niederrhein und Ostwestfalen durch das zentrale Münsterland und ihre Interpretation durch eindimensionale Modelle. Dipl.-Arb. Inst. f. Geophys., Univ. Münster, 1984.

Bächter, Chr.: Vergleichende Untersuchung magnetotellurischer Tiefensondierungen und elektrischer Bohrlochmessungen an der Tiefbohrung Münsterland 1. S. 79 in diesem Band.

Jödicke, H.: Zur Deutung magnetotellurisch nachgewiesener guter Leiter im tieferen Untergrund Nordwestdeutschlands.

Jödicke, H., Untiedt, J., Olgemann, W., Schulte, L., and Wagenitz, V.: Electrical Conductivity Structure of the Crust and Upper Mantle Beneath the Rhenish Massif. In: K. Fuchs et al. (eds.) Plateau Uplift, 288-302, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1983.

Knödel, K., Losecke, W. und Müller, W.: Magnetotellurische Messungen auf einem Profil zwischen Versmold und Nienburg. In: Haak, V. und Homilius, J. (Hrsg.). Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Neustadt/W. vom 11.-13. April 1978: 57-65, Berlin und Hannover, 1978.

Paproth, E. and Zimmerle, W.: Stratigraphic position, petrographic, and depositional environment of phosphorites from the Federal Republic of Germany. Meded. Rijks Geol. Dienst, 32-11 : 81-95, Heerlen, 1980.

Plein, E., Dörholt, W. und Greiner, G.: Das Krefelder Gewölbe in der Niederrheinischen Bucht - Teil einer großen Horizontalverschiebungszone ? Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 30 : 15-29, Krefeld, 1982.