

M. Grinat

Untersuchungen an magnetotellurisch stark gestörten Stationen am Nordwestrand des Rheinischen Schiefergebirges unter Verwendung des Remote-Reference-Verfahrens

Im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland (KTB) ist das Hohe Venn am nordwestlichen Rand des Rheinischen Schiefergebirges (vgl. Abb. 1) einer der ursprünglich vier möglichen Standorte für eine übertiefe Bohrung gewesen. Als Vorstudie wurden in den Jahren 1982 - 84 geologische, geophysikalische und lagerstättenkundliche Untersuchungen am Südostrand des Hohen Venns durchgeführt (vgl. Walter und Wohlenberg, 1983). Zu den geophysikalischen Voruntersuchungen gehörte auch eine elektromagnetische Erkundung, die mit Hilfe der Verfahren der Geoelektrik, der Aktiven Audiomagnetotellurik und der Magnetotellurik ein Modell für die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in diesem Gebiet liefern sollte.

Im folgenden sollen die bisherigen Ergebnisse der Magnetotellurik dargestellt werden. Auf eine Darstellung der Ziele einer übertiefen Bohrung am Nordrand des Rheinischen Schiefergebirges wird verzichtet; eine Interpretation der berechneten Impedanztensoren steht noch aus.

Aus magnetotellurischen Messungen in der Eifel (Schulte, 1979; Lohr, 1982) war bekannt, daß die elektrischen und magnetischen Felder im beobachteten Periodenbereich dort großräumig stark gestört sind. Bei eigenen Testmessungen im Hohen Venn zeigte sich, daß die Störfeldamplituden im elektrischen Feld teilweise sogar im Bereich der Signalgröße lagen. Daher wurde von vornherein auf das Vermessen eines Profils über das Hohe Venn verzichtet und stattdessen das Schwergewicht auf den Versuch gelegt, durch Anwendung der "Remote Reference" - Technik (Gamble et al., 1979) die zu erwartenden "schlechten" Ergebnisse zu verbessern. Dazu wurden zeitgleiche Registrierungen an der Station KONZ (nahe der Forschungsbohrung Konzen 1 (vgl. Walter et al., 1983)) am Südostrand des Hohen Venns und an der Münsteraner Dauerstation RISA durchgeführt (vgl. Abb. 1). Als weitere Referenzstationen mit unterschiedlichen Entfernungen zu KONZ dienten zusätzlich die Stationen KALT und SIMM sowie bei einer zweiten Aufstellung GILL und WISS.

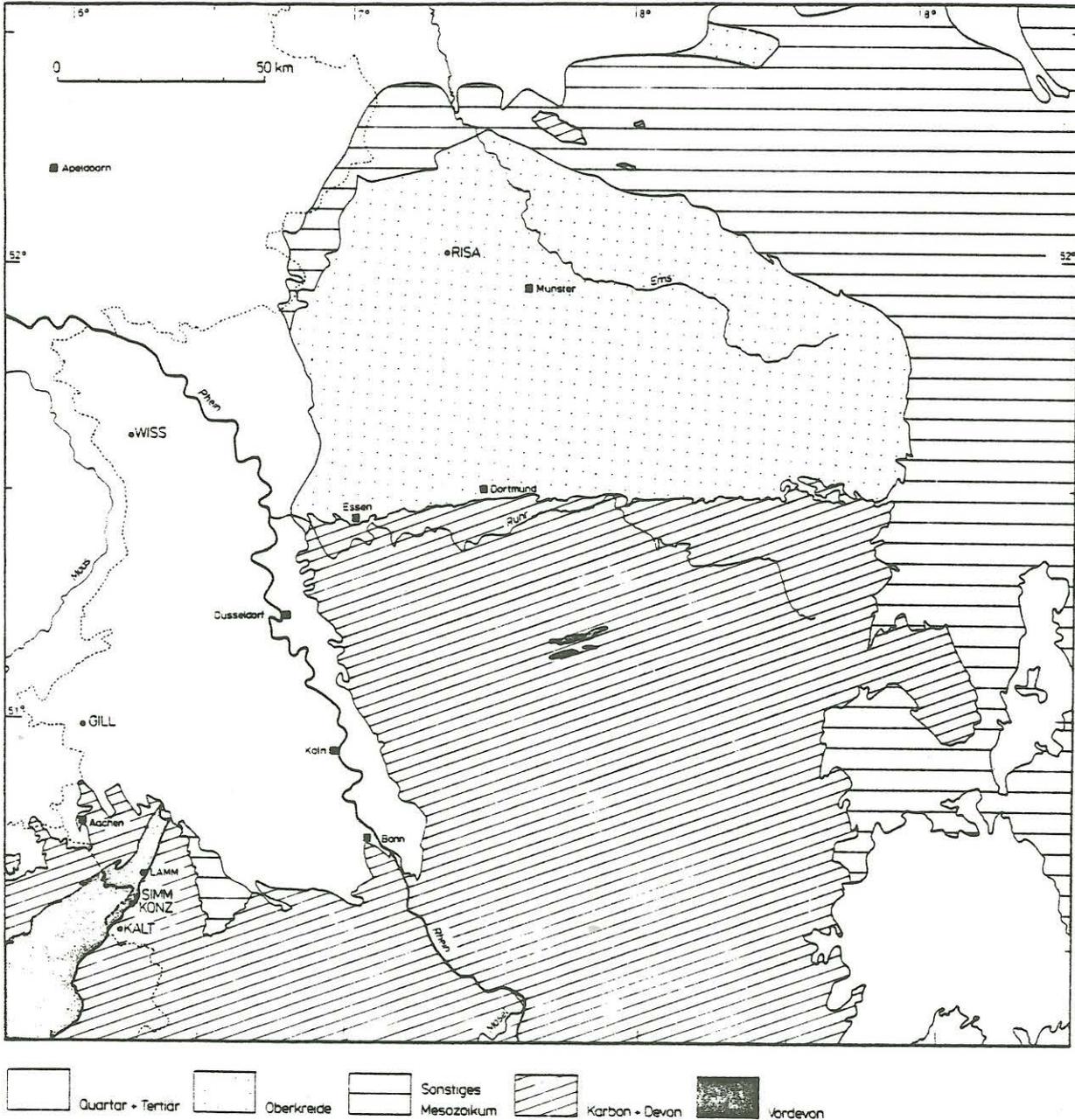


Abb. 1: Lage der Magnetotellurik-Meßpunkte (Geologie nach Deutscher Planungsatlas, 1976)

Abb. 2 vermittelt anhand zeitgleicher Registrierungen der Stationen KONZ, GILL, WISS und RISA einen Eindruck von der Qualität der Daten. Die Stationen WISS und RISA - etwa 90 km voneinander entfernt - können sowohl in den E- als auch in den \dot{B} -Kanälen im wesentlichen miteinander korreliert werden, obwohl bei beiden Stationen insbesondere im elektrischen Feld zeitweilig Störungen auftreten. Im Vergleich dazu zeigen die Stationen

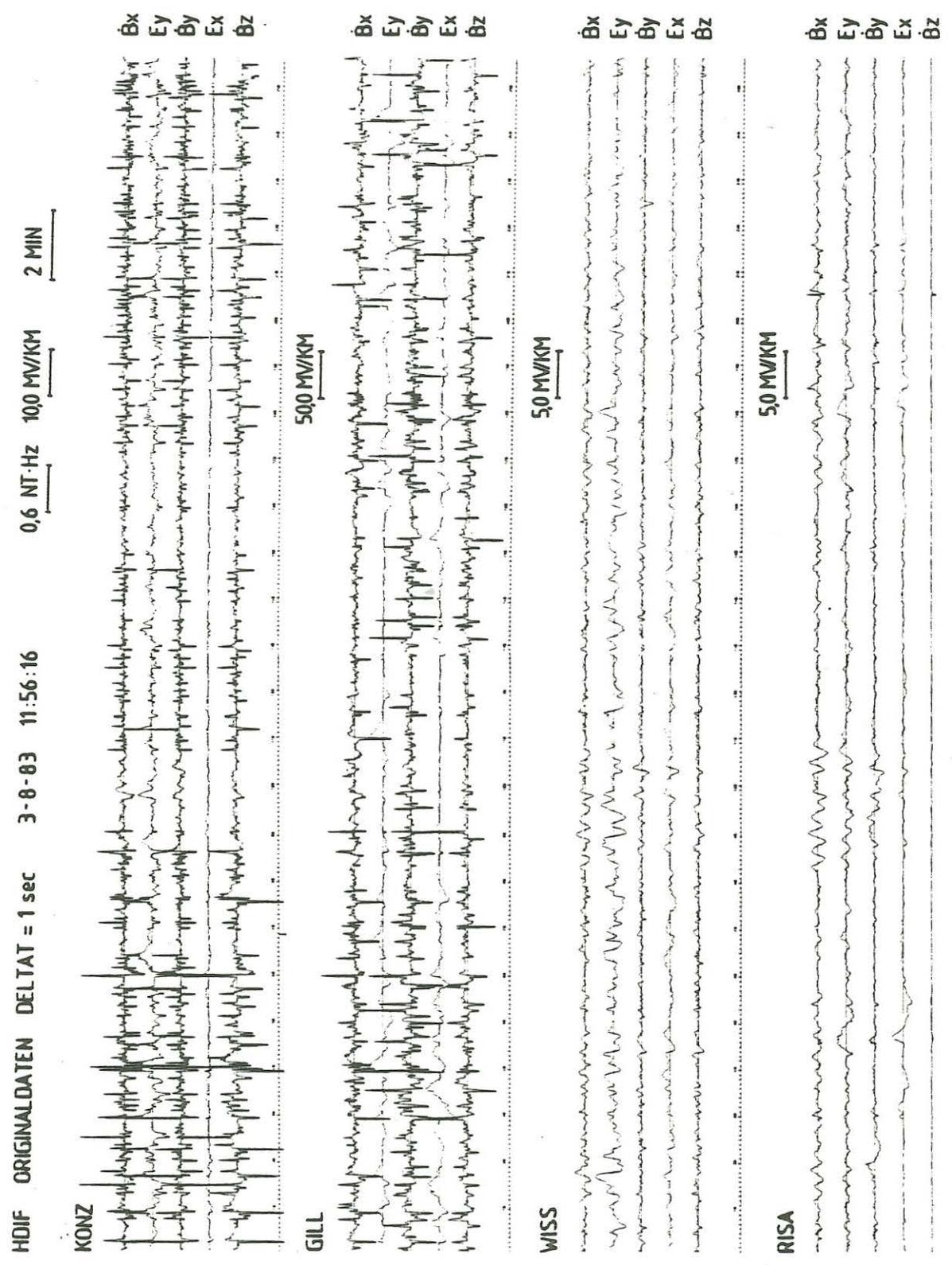


Abb. 2: Beispiel für eine zeitgleiche Registrierung der vier Stationen KONZ, GILL, WISS und RISA

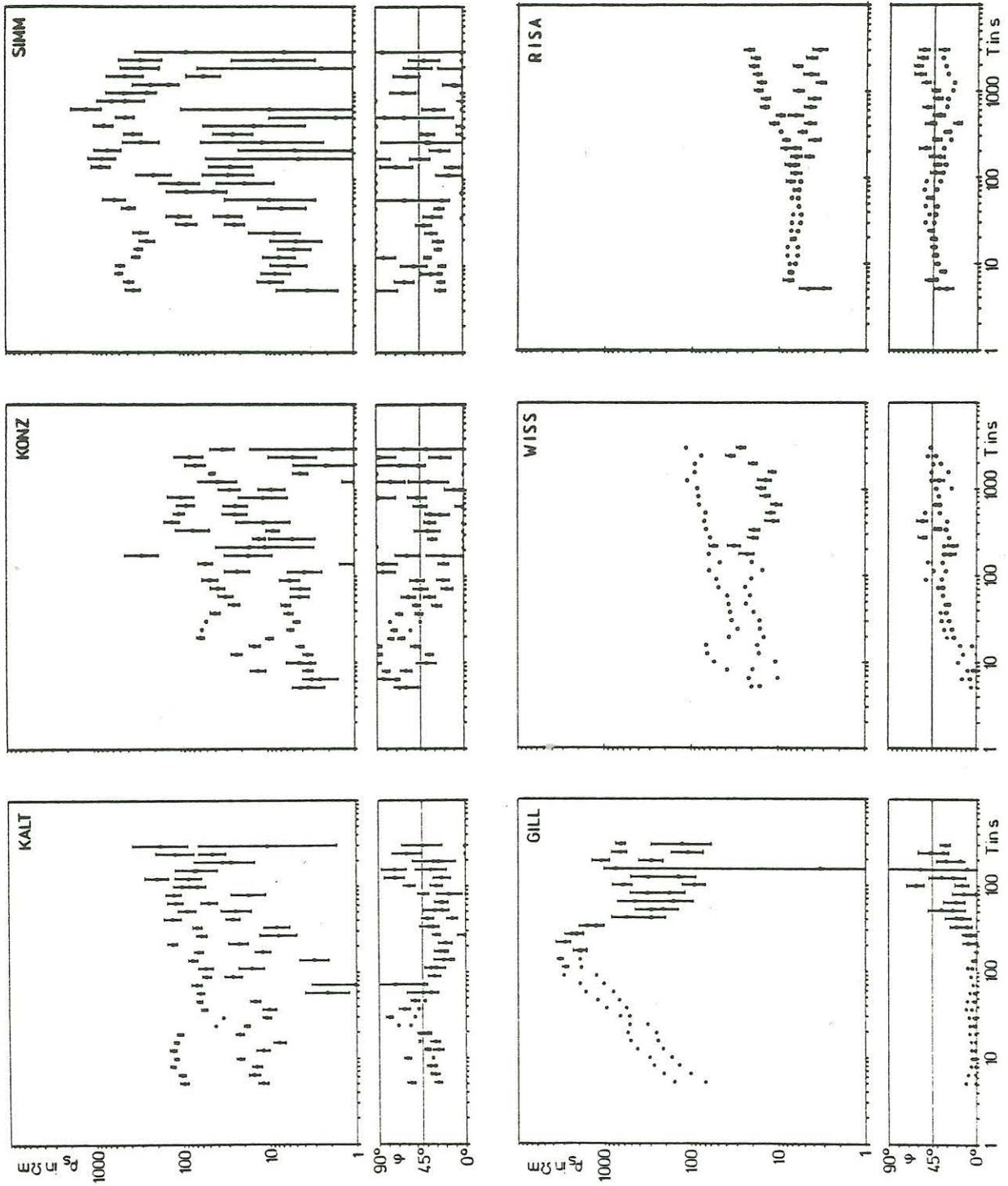


Abb. 3: Ergebnis der Einzeleffektauswertung; dargestellt sind die ungedrehten xy- (●) und yx-Komponenten (○) aller sechs Stationen

GILL und KONZ sehr starke Störungen sowohl im E- als auch im \dot{B} -Feld. Eine Korrelation mit den Daten von WISS oder RISA ist nur dann möglich, wenn starke Signale auftreten, wie beispielsweise ca. 12 min. nach Beginn der Registrierung. Auffällig ist, daß das elektrische Feld bei GILL fast fünfmal so groß ist wie bei KONZ und die beiden E-Kanäle etwa die gleiche Größenordnung haben. Im Gegensatz dazu steht das sehr große \dot{B}_z - Feld. Die Daten der Stationen KALT und SIMM entsprechen im wesentlichen denen von KONZ.

Im ersten Schritt der Auswertung wurden alle Daten, d.h. auch die stark gestörten, mit dem in Münster üblichen Verfahren der Einzeleffektauswertung bearbeitet (vgl. Jödicke, 1978). Abb. 3 zeigt als Ergebnis die ungedrehten xy- und yx-Komponenten des scheinbaren spezifischen Widerstandes und die dazugehörigen Phasenkurven aller sechs Stationen. Wie erwartet, sind die Meßpunkte KALT, KONZ und SIMM aus dem Hohen Venn stark gestört. Demgegenüber zeigt die Station GILL eine sehr glatte ρ_s -Kurve mit einem auffälligen, fast linearen Anstieg bis zu einer Periode von etwa 200 Sekunden, obwohl die Daten aufgrund der starken Störungen im E- und B-Feld (vgl. Abb. 2) ähnlich wie in KONZ eine sehr viel stärker gestörte Kurve erwarten ließen. Die Station WISS liefert trotz ihrer Lage in der industriell stark genutzten Niederrheinischen Bucht eine auswertbare, wenig gestörte Kurve. RISA ist eine für das zentrale Münsterland typische Station mit verhältnismäßig wenig Störungen (vgl. Abb. 2) und dementsprechend wenig streuenden ρ_s - und Phasenwerten (vgl. auch Bächter, 1984; Bejarano-Gerke und Jödicke, 1984).

Mit diesem Vergleich der Ergebnisse zeigt sich, daß das Verfahren der Einzeleffektauswertung, obschon es ausdrücklich nur solche Registrierabschnitte in die Auswertung einbezieht, die ein hohes Signal/Rausch - Verhältnis aufweisen, nicht für alle Stationen ausreichend gute Ergebnisse liefert. Daher sollen Verfahren vorgestellt werden, die in diesen Fällen zu einer verbesserten Schätzung des Impedanztensors führen. Mit diesen Verfahren soll insbesondere zunächst geklärt werden, ob der trotz gestörter Zeitspuren auffällig glatte, fast fehlerfreie Verlauf der ρ_s - und Phasenkurve bei GILL reell ist.

GILL

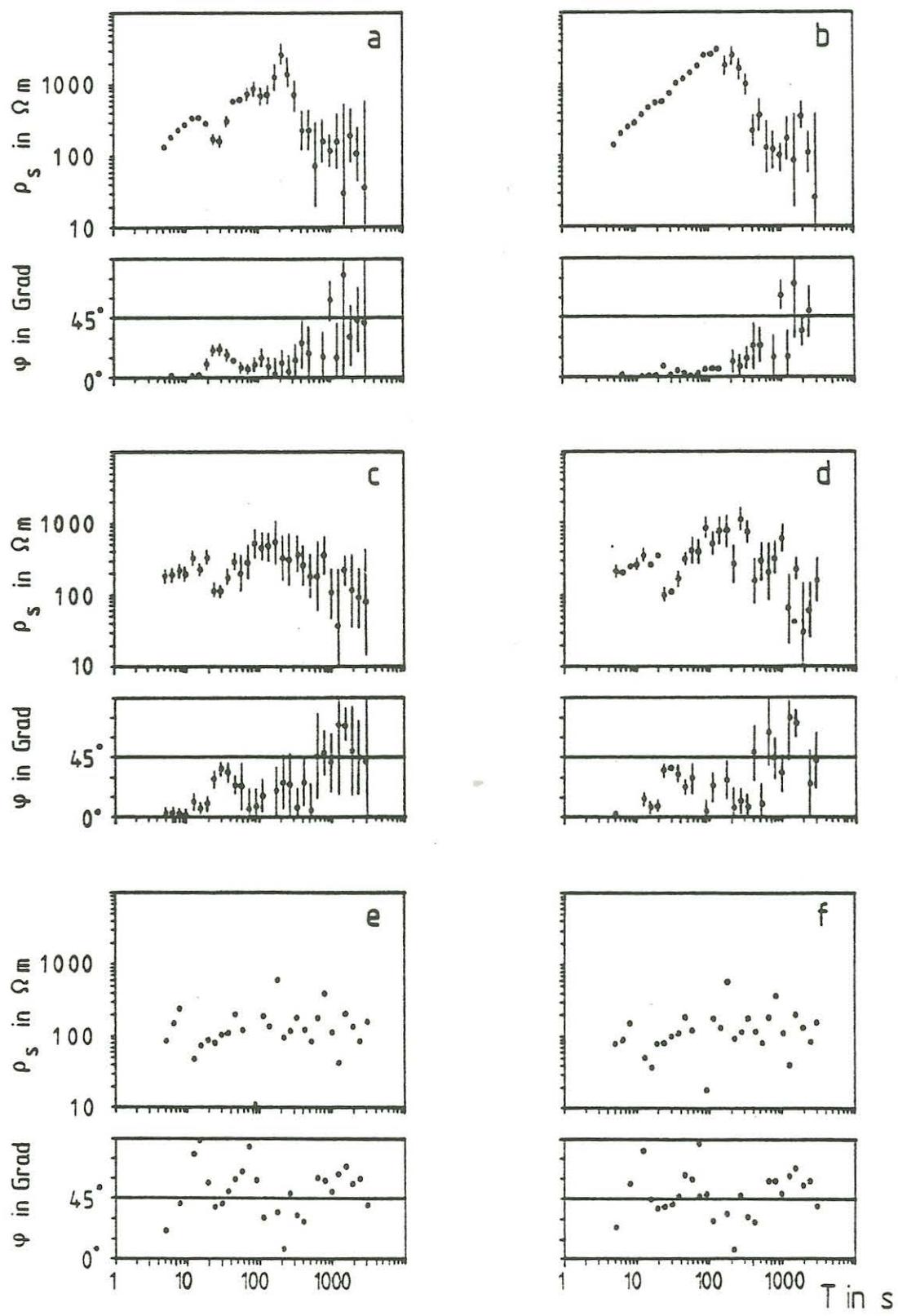


Abb. 4 (gegenüberliegende Seite): Verschiedene Schritte der Auswertung am Beispiel der yx-Komponenten der Station GILL:

- a) Einzeleffektauswertung
- b) zusätzlich Kohärenzverbesserung
- c) Auswahl der Effekte an der Referenzstation RISA
- d) zusätzlich Kohärenzverbesserung
- e) Remote-Reference mit Referenzstation RISA
- f) Remote-Reference mit den 20 stärksten Effekten der Referenzstation RISA

Abb. 4a zeigt für GILL als Ausgangspunkt das Ergebnis der Einzeleffektauswertung, jetzt für die Einzellösung "minimaler Fehler in E_y ", das sich ergibt, wenn alle nach diesem Verfahren ausgewählten Effekte berücksichtigt werden. Es versteht sich von selbst, daß bei stark gestörten Spuren (vgl. Abb. 2) nicht ohne weiteres beurteilt werden kann, ob bei den ausgewählten Effekten Nutzsignale oder Störsignale überwiegen. Treten in dem gewählten Beispiel "minimaler Fehler in E_y " inkohärente Störsignale in E_y auf, dann werden die berechneten Werte der Impedanz zwar streuen, aber sie werden unverzerrt sein. Treten gleichzeitig inkohärente Störsignale in den B-Kanälen auf, dann werden die berechneten Werte systematisch zu klein sein, d.h. einen "bias" aufweisen. Sind schließlich kohärente Störsignale vorhanden, so wird die berechnete Impedanz zusammengesetzt sein aus der "wahren" Impedanz und einer Störimpedanz.

Eine Verbesserung - d.h. eine Verminderung des bias und der Streuung - kann häufig erreicht werden durch Anwendung des "Kohärenzkriteriums" (Jödicke, 1978) auf den Ausgangsdatensatz. Für das Ergebnis in Abb. 4b sind schrittweise diejenigen 20% der Einzeleffekte, die die multiple Kohärenz am meisten verschlechtern, weggelassen worden. Das hat zur Folge, daß das auffällige Minimum der ρ_s -Kurve um 30 Sekunden fast völlig verschwindet, die ρ_s -Kurve bis etwa 200 Sekunden sehr glatt wird und mit fast 45° ansteigt. Bei größeren Perioden fällt sie steil ab. Der Verlauf der Phasenwerte paßt zu dieser ρ_s -Kurve.

Stehen zeitgleich registrierte Daten einer wenig gestörten Referenzstation - wie z.B. RISA - zur Verfügung, kann eine Auswertung in der Weise vorgenommen werden, daß die Festlegung bzw. Auswahl von Einzeleffekten anhand der ungestörten Daten der Referenzstation erfolgt. Die vollständige Einzeleffektauswahl wird also an der Referenzstation durchgeführt und anschließend zeitgleich auf die Basisstation übertragen. Es ist anzunehmen, daß ein so

gewonnener Datensatz mehr Nutzsignalanteil enthält als der oben verwendete, da bei den ungestörten Daten klar erkennbar ist, wann erhöhte magnetische Aktivität vorliegt. Auf den so gewonnenen Datensatz kann man dann wiederum das Kohärenzkriterium anwenden. Das Ergebnis dieses Verfahrens für die Basisstation GILL mit der Referenzstation RISA, dargestellt in Abb. 4c und 4d, ist überraschend. Im Vergleich zu Abb. 4b treten im kurzperiodischen Teil größere Streuungen auf, und der steile Anstieg der ρ_{syx} - Kurve zwischen fünf und 200 s ist verschwunden. Auch durch Anwenden des Kohärenzkriteriums läßt sich die zunächst als "Verbesserung" bezeichnete Form der Kurve 4b nicht reproduzieren.

Da den ρ_s - und Phasenwerten in Abb. 4c und d durch die Art der Auswahl eindeutig Datensätze mit erhöhtem Signal/Rausch-Verhältnis zugrundeliegen, können die unterschiedlichen Ergebnisse in Abb. 4a und b nur dadurch erklärt werden, daß dort offenbar der Einfluß von Störsignalen überwiegt. Wie der sehr glatte Verlauf der ρ_s - und Phasenkurve in Abb. 4b zeigt, müssen die Störsignale in den E- und \dot{B} -Kanälen zwischen 5 und 200 s sogar hochgradig kohärent sein, was aus den Originalregistrierungen (vgl. Abb. 2) nicht unmittelbar hervorgeht. Sichtbar wird dies jedoch, wenn die \dot{B} -Kanäle integriert werden (vgl. Abb. 5; alle Spuren sind hier zusätzlich bandpaßgefiltert). Die Zeitreihen sehen nun keineswegs mehr gestört aus wie in Abb. 2. Die fehlende Möglichkeit, Signal und Störung zu unterscheiden, führt also zu den Ergebnissen von Abb. 4a und b.

Hiermit wird auch verständlich, warum das Minimum in der ρ_s -Kurve um 30 s in Abb. 4a bei Anwendung des Kohärenzkriteriums verschwindet: In diesem Periodenbereich (pc3!) tritt im allgemeinen ein relatives Maximum in den Amplituden der Nutzsignale auf. Das Minimum in der ρ_s -Kurve (Abb. 4a) dürfte demnach durch einen relativ großen Nutzsignalanteil bedingt sein. Dieser Nutzsignalanteil bewirkt offensichtlich eine Minderung der multiplen Kohärenz, die nach den o.g. Überlegungen bei GILL im wesentlichen durch die hochgradig kohärenten Störsignale bestimmt wird. Bei einer "Verbesserung" der Kohärenz werden somit gerade die Effekte mit überwiegendem Nutzsignalanteil eliminiert.

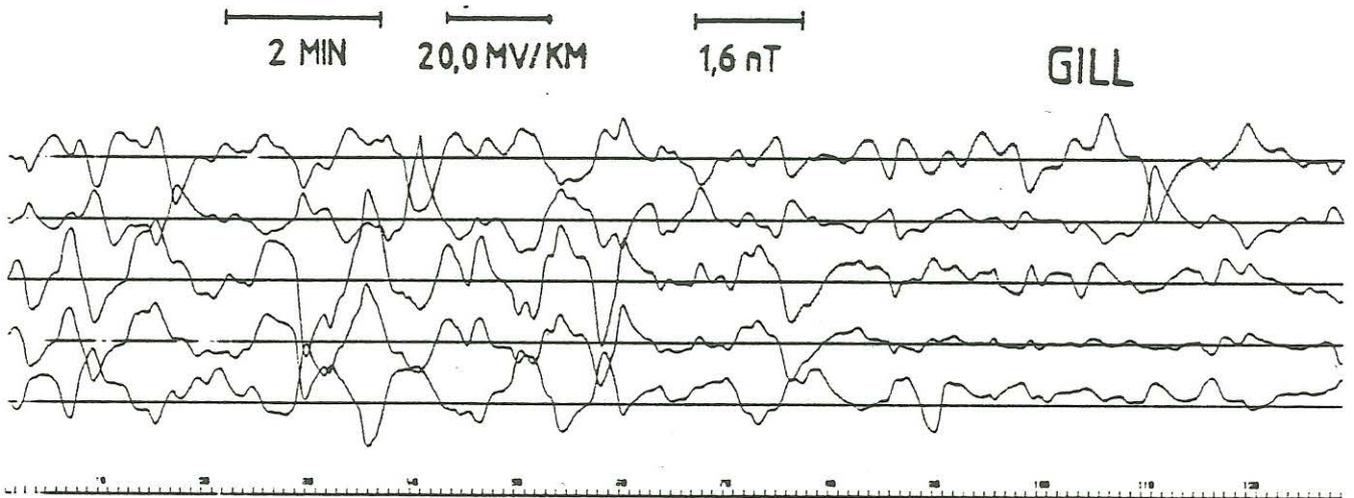


Abb. 5: Erster Teil der in Abb. 2 dargestellten Zeitspuren der Station GILL - bandpaßgefiltert und Magnetfeldkomponenten integriert

Der Schritt von der Festlegung von Einzeleffekten anhand der Daten einer ungestörten Referenzstation zum "Remote Reference" - Verfahren ist jetzt nur noch klein, da die jeweiligen Datensätze unmittelbar für die "Remote Reference" - Technik verwendet werden können. Als Referenz dienen im allgemeinen die Horizontalkomponenten des Magnetfeldes der "Remote"-Station. Im Beispiel der Z_{xx} -Komponente mit "minimalem Fehler in E" (vgl. z.B. Scheelke, 1972)

$$Z_{xx} = \frac{[E_x H_x^*] [H_y H_y^*] - [E_x H_y^*] [H_y H_x^*]}{[H_x H_x^*] [H_y H_y^*] - [H_x H_y^*] [H_y H_x^*]}$$

gilt nun (vgl. Gamble et al., 1979):

$$Z_{xx} = \frac{[E_x H_{xr}^*] [H_y H_{yr}^*] - [E_x H_{yr}^*] [H_y H_{xr}^*]}{[H_x H_{xr}^*] [H_y H_{yr}^*] - [H_x H_{yr}^*] [H_y H_{xr}^*]}$$

wobei der Index r die entsprechenden Komponenten der Referenzstation bezeichnet.

Für die Station GILL ergibt das "Remote Reference" - Verfahren, für das bisher noch keine Fehlergrößen berechnet wurden, mit

KONZ

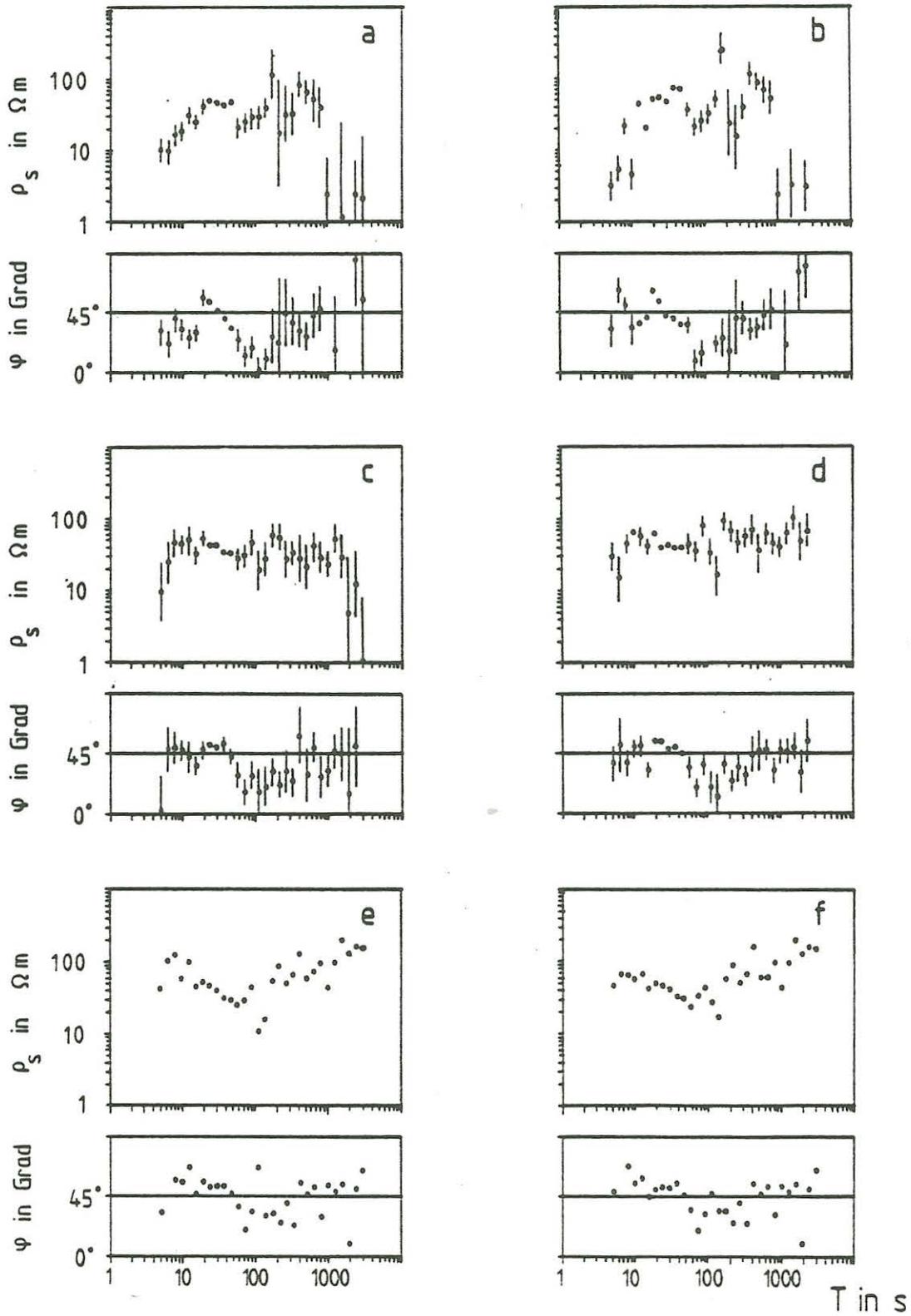


Abb. 6: Verschiedene Schritte der Auswertung für die ungedrehten yx-Komponenten der Station KONZ (vgl. Abb. 4)

Referenzstation RISA folgendes Ergebnis (Abb. 4e): Die ρ_s -Werte sind im Periodenbereich zwischen 10 und 200 s um mehr als eine Zehnerpotenz kleiner als die Ausgangsdaten (Abb. 4a). Die Phase streut zwischen 0 und 90° , dafür kann derzeit keine Erklärung gegeben werden. Der Gleichlauf der beiden Stationen war bei einer Zeitabweichung $< 0,1$ s nach einer Woche Standzeit ausreichend gut. Obwohl die Qualität der Daten für eine weitergehende Auswertung nicht ausreicht, kann doch gezeigt werden, daß der Einfluß der extrem starken und kohärenten Störsignale deutlich gemindert werden kann.

Abb. 4f zeigt schließlich das Ergebnis eines Versuchs, die Daten aus Abb. 4e mit Hilfe des Kriteriums "Anregungsstärke" weiter zu verbessern. Ausgewählt für das "Remote Reference"-Verfahren wurden nur die 20 Einzeleffekte, die die stärkste magnetische Anregung in RISA aufwiesen, um das Signal/Rausch-Verhältnis zu erhöhen. Eine Verbesserung der ρ_s - oder Phasenkurven konnte jedoch nicht erreicht werden.

Vorrangiges Ziel der Untersuchungen ist der Versuch, einen möglichst unverzerrten Impedanztensor für die Station KONZ an der Südostflanke des Hohen Venns zu bestimmen. Dazu wurden dieselben Auswerteschritte (vgl. Abb. 6) durchgeführt wie für GILL. Ein Vergleich von Abb. 6a ("alle Einzeleffekte verwendet") und Abb. 6e ("Remote Reference") zeigt wieder eine starke Veränderung in der Form der ρ_s -Kurve. Sie kann in diesem Fall hauptsächlich dadurch erklärt werden, daß die ρ_s -Werte in Abb. 6a einen großen "bias" aufweisen, d.h. wegen des Auftretens von Fehlern in den B-Kanälen bei dem Ansatz "minimaler Fehler in E" zu kleinen Werten hin verzerrt sind. Das zeigen die Ergebnisse der anderen Ansätze "minimaler Fehler in B_x bzw. B_y ". Demgegenüber ist das Ergebnis der "Remote Reference"-Auswertung nach Gamble et al. (1979) weitgehend biasfrei. Eine Ausnahme bilden die ρ_s -Werte aus dem Periodenbereich um 30 s, die bei allen Verfahren (Abb. 6a-f) ein sehr stabiles Ergebnis und in den Fällen, in denen die Streuung berechnet wurde, auch eine sehr geringe Streuung liefern. Die Phasen zeigen nach Anwenden des "Remote Reference"-Verfahrens keine weitere Verbesserung, sind aber erheblich besser als im Fall GILL.

Die schrittweise Verbesserung von Abb. 6c nach d noch ohne "Remote Reference" - Technik und dann weiterhin bis 6e und f mit dem "Remote Reference" - Verfahren zeigt, daß der erhöhte Aufwand aufgrund einer jeweils zeitgleich registrierenden Referenzstation sehr lohnend gewesen ist. Es bleibt zu untersuchen, ob eine "Remote"-Station in geringerer Entfernung von der betreffenden Basisstation zu einer weiteren Verbesserung der Übertragungsfunktionen, insbesondere der Phasen, führen kann.

Literatur:

Bejarano-Gerke, G., H. Jödicke: "Magnetotellurik im Münsterland und am Niederrhein", S. 93 in diesem Band.

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

Deutscher Planungsatlas, Band I: Nordrhein-Westfalen. Geologie. Hrsg.: Akademie für Raumforschung und Landesplanung in Zusammenarbeit mit dem Ministerpräsidenten des Landes Nordrhein-Westfalen - Landesplanungsbehörde, Düsseldorf. Hannover, 1976.

Gamble, T.D., W.M. Goubau, J. Clarke: "Magnetotellurics with a remote magnetic reference", Geophysics 44, S. 53-68, 1979.

Jödicke, H.: "Auswertungsverfahren Münster", V. Haak und J. Homilius (Hrsg.): Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Neustadt/Weinstraße, S. 147-154, 1978.

Lohr, U.: Ergebnisse magnetotellurischer Messungen im Gebiet des Laacher Sees. Diss. Techn. Univ. Braunschweig, 1982.

Scheelke, I.: Magnetotellurische Messungen im Rheingraben und ihre Deutung mit zweidimensionalen Modellen. Diss. Techn. Univ. Braunschweig, 1972.

Schulte, L.: "Magnetotellurik-Messungen entlang eines Profils von der Eifel bis in die Pfalz", V. Haak und J. Homilius (Hrsg.): Protokoll über das Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung" in Berlin-Lichtenrade, S. 39-46, 1980.

Walter, R., J. Wohlenberg: Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland. Zielgebiet Hohes Venn. Statusbericht, 1983.