

E.-K. BLOHM und P. WORZYK, Hannover

"Tiefensondierung 1973 auf dem Schildgebiet Rhodesien"

Montag, den 11.3.1974

1. Problemstellung

Im Rahmen des "Unternehmens Erdmantel" wird die elektrische Leitfähigkeit des oberen Mantels intensiv untersucht. Aus globalen und regionalen Untersuchungen der elektromagnetischen Induktion in der Erde weiß man, daß auf einen schlecht leitenden Bereich (spez. Widerstand $\rho \sim 10^3 - 10^4$ Ohm.m), der manchmal "Resistosphäre" genannt wird und in den unter Umständen besser leitende Zwischenschichten eingelagert sein können, in einer Tiefe von der Größenordnung 100 km ein Bereich relativ guter elektrischer Leitfähigkeit folgt ($\rho \leq 100$ Ohm.m, "Konduktosphäre"). Diese Erscheinung wird vor allem auf die mit der Tiefe stark ansteigenden Temperaturen zurückgeführt. Es ist das Hauptziel einer jeden Untersuchung mit einer tiefengeoelektrischen Methode, die genauere Leitfähigkeits-Tiefenverteilung in diesem Übergangsbereich zu messen.

Das Ziel, mittels GTS-Messungen die genaue Leitfähigkeits-Tiefenverteilung bis zur "Konduktosphäre" zu messen, ist noch nirgendwo auf der Erde erreicht worden. Die beiden Messungen mit den bisher weitaus größten Elektrodenentfernungen AB, nämlich 270 km im einen (Sondierung "Pofadder"), 600 km im anderen Fall (Sondierung "Dealesville"), wurden in Südafrika von van Zijl und seinen Mitarbeitern ausgeführt (van Zijl 1969; van Zijl, Hugo und de Bellocq 1970). Sie benutzten im ersten Fall Telefonleitungen für die Einspeisung der notwendigerweise schwachen Sondierungsströme, im zweiten Fall eine neue, noch nicht in Betrieb befindliche Hochspannungs-Starkstromleitung. Der gesuchte gute Leiter im oberen Erdmantel wurde mit den zuletzt genannten Messungen möglicherweise gerade erreicht (Umbiegen der ρ_a -Kurve!), jedoch ist eine genauere Aussage über

die Leitfähigkeits-Tiefenverteilung im oberen Mantel auch aus diesen Meßergebnissen noch nicht abzuleiten. Obwohl die geologischen Verhältnisse unter den oben genannten Gesichtspunkten in Südafrika im allgemeinen verhältnismäßig günstig sind, war die elektrische Abschirmwirkung der oberflächennahen Schichten wegen zu hoher Leitfähigkeit offenbar noch zu groß.

Bei Kenntnis dieser Dinge ergab sich nunmehr in Südafrika die Gelegenheit für eine ultratiefe geoelektrische Sondierung, die voraussichtlich in absehbarer Zeit eine einmalige Chance bietet, das erstrebte Ziel tatsächlich zu erreichen. Zwischen

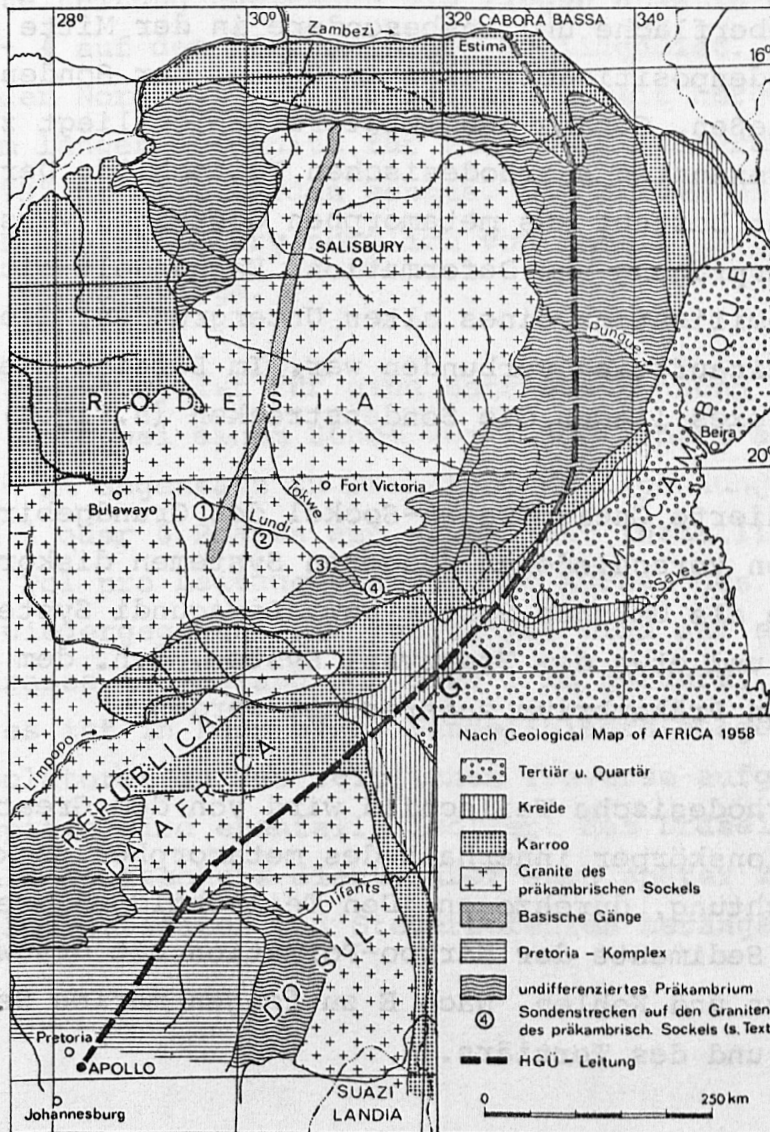


Fig.1: Verlauf der im Bau befindlichen HGÜ-Leitung CABORA BASSA - APOLLO

Estima/Cabora Bassa am Zambesi in Mozambique und Apollo bei Pretoria in der Südafrikanischen Republik ist unter wesentlicher Beteiligung deutscher Firmen (BBC - AEG - SIEMENS) eine 1350 km lange Hochspannungs-Gleichstromübertragungs-Leitung (HGÜ-Leitung) im Bau (Fig. 1), die nach Absprache mit den Firmen sowohl vor Inbetriebnahme -- ähnlich wie die im Rheingraben (BLOHM & FLATHE, 1970) benutzte Leitung -- als auch in der Erprobungsphase für Zwecke einer ultratiefen geoelektrischen Sondierung mit einer maximalen Elektrodenentfernung von 1200 km benutzt werden kann.

Auch die geologischen Verhältnisse sind insofern günstig, als sie recht hohe Werte des spezifischen Widerstandes bereits an der Erdoberfläche und insbesondere in der Mitte der geplanten Elektrodenpositionen, also im Gebiet der Sondenstrecken, erwarten ließen. Gerade das letztere Gebiet liegt zum größten Teil im sogenannten südrhodesischen Teilschild. Der Kern dieses Schildes besteht aus metamorphen Gesteinen verschiedenster Art der Überprägung und Deformation. Es handelt sich um die flächige Mobilisation eines alten Untergrundes, die mit mehrfachem Granitaufstieg verbunden war. Im Bereich dieses Gesteinskomplexes liegen die Sondenstrecken (s.Fig.1).

Der erodierte Gneis-Granit-Sockel des Grundgebirges wird randlich von verschiedenen jüngeren Systemen diskordant überlagert, die als Umkondo System bzw. Lomagundi System bezeichnet werden und etwa dem Transvaal System, d.h. dem mittleren und jüngeren Präkambrium zugerechnet werden.

Der südrhodesische Teilschild wird von dem Great Dyke, einem Intrusionskörper innerhalb des metamorphen Sockels in NNE-SSW-Richtung, durchzogen. Den Teilschild umlagern nicht-metamorphe Sedimente der Karroo-Formation mit Grauwacken, Tonschiefern und Kohlen. Nach E zu folgen marine Sedimente der Kreide und des Tertiärs.

Die HGÜ-Leitung verläuft in weiten Teilen im Bereich der Gesteine des präkambrischen Sockels und befindet sich nur am Nordende und im zentralen Teil auf Gesteinen der nichtmetamomorphen Serien.

2. Technische Durchführung der Meßarbeiten

2.1. Die Stromspeisung über die HGÜ-Leitung

Der Verlauf der gesamten HGÜ-Leitung zwischen dem Zambesi-Staudamm in Mozambique und dem südafrikanischen Verbraucher-netz ist aus Fig.1 ersichtlich; die idealen Mitten MN einer die gesamte Leitung nutzenden GTS liegen etwa in den Positionen 1 - 4 auf dem afrikanischen Schildgebiet. Im Herbst 1973 war der Nordteil der HGÜ-Leitung soweit hergestellt, daß ein 450 km langer Abschnitt für eine Nordsondierung "Ostrhodesien 1973" genutzt werden konnte. Die Mitten MN dieser GTS liegen ESE von Salisbury nördlich von Umtali (Fig.2), ebenfalls auf Grundgebirge.

Die HGÜ-Leitung ist für eine Betriebsspannung von 1.100.000 Volt bei einem Strom von 1.500 Ampere ausgelegt. Sie hat -- im Gegensatz zu Drehstrom-Hochspannungsleitungen, bei denen 3 oder 6 Phasen auf einem Mast installiert sind -- nur einen Pol pro Leitungstrasse. Der Aufbau des Mastes ist in Fig.3 wiedergegeben. Der zweite Pol wird auf einer eigenen Leitungstrasse im Abstand von etwa 1 km geführt. Der Leiter eines Poles ist in Form eines Bündelleiters ausgeführt und an 24 Glasisolatoren an der seitlichen Traverse aufgehängt. In der Mastspitze wird ebenfalls isoliert das Erdseil geführt, welches als Blitzschutz dient, aber auch später zur Übertragung von Betriebsdaten und Steuerbefehlen herangezogen wird.

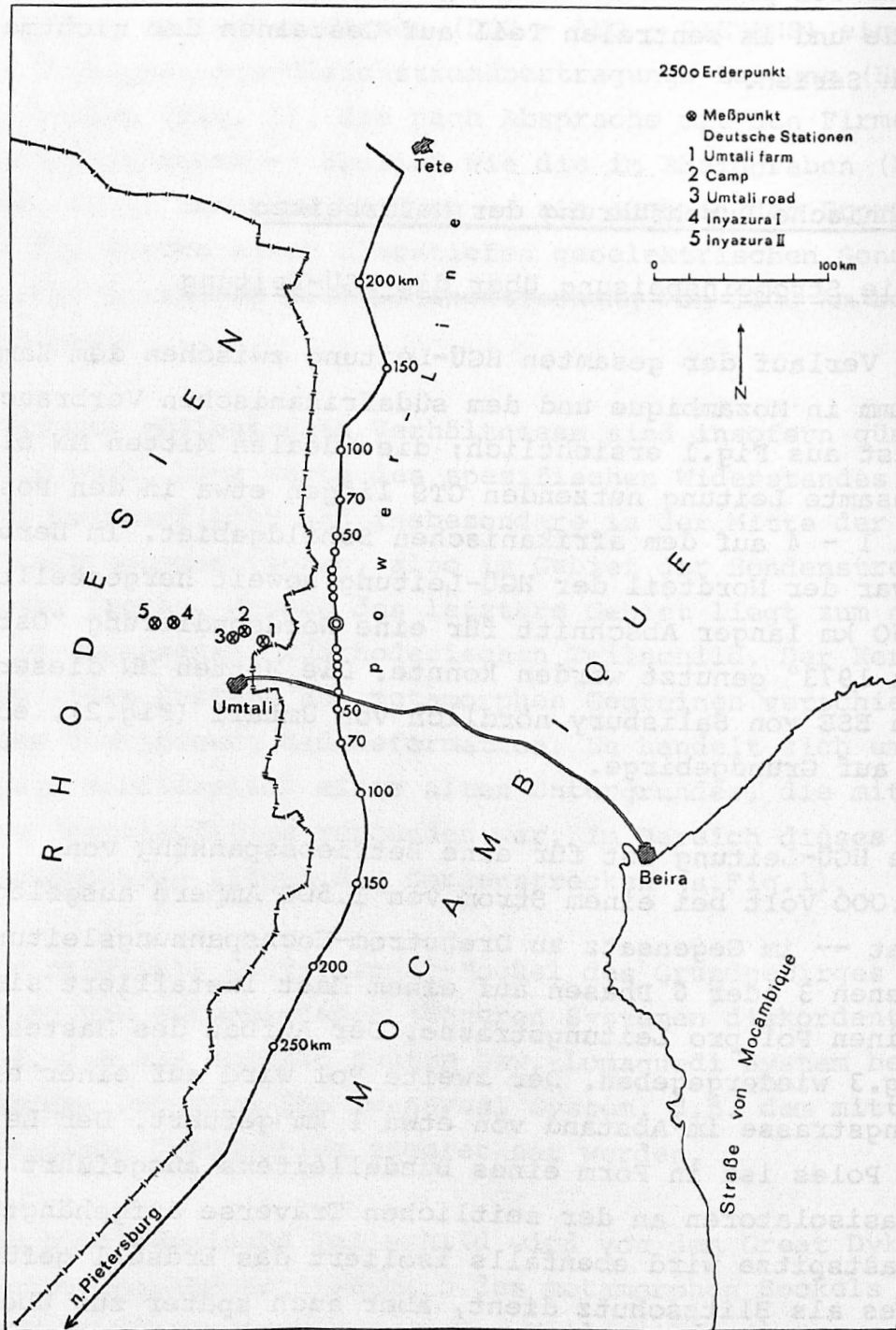


Fig.2: Nordabschnitt der HGÜ-Leitung

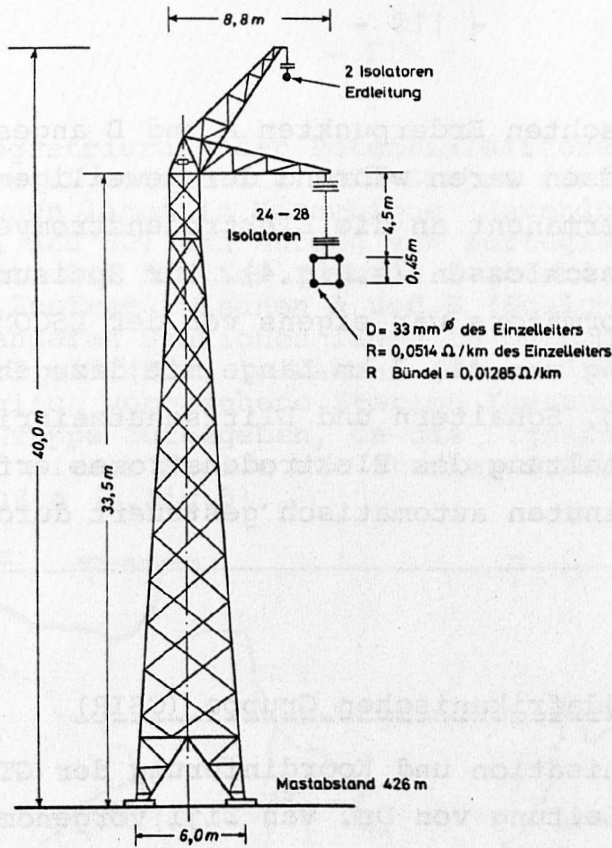


Fig.3: Aufbau eines Mastes der HGÜ-Leitung

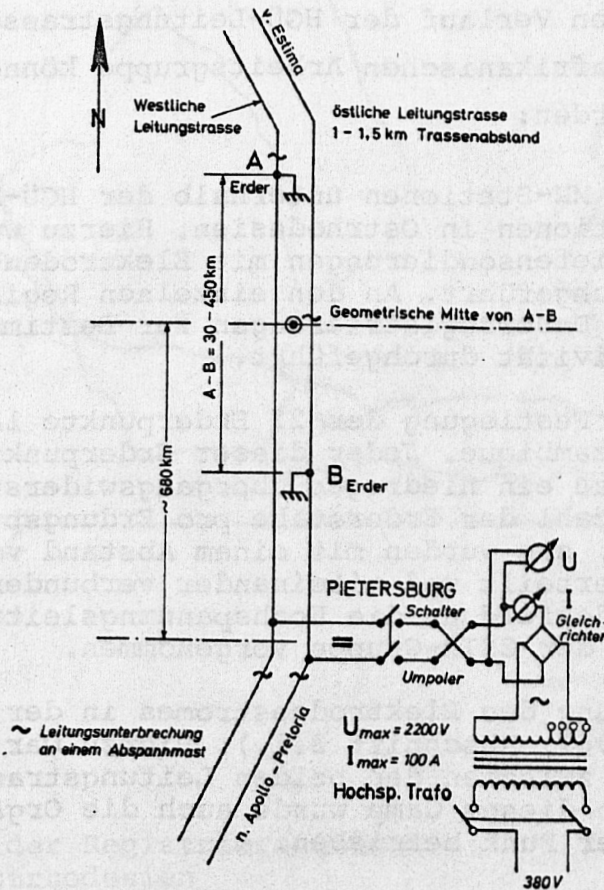


Fig.4: Schematische Skizze der Stromspeisung

Die an den gewünschten Erderpunkten A und B angeschlossenen HGÜ-Leitungstrassen waren während der jeweiligen Meßzeit des Großversuches permanent an die Elektrodenstromversorgung bei Pietersburg angeschlossen (s.Fig.4). Zur Speisung des Hochspannungstransformators war eigens von der ESCOM eine 6 kV-Drehstromleitung von ca. 2 km Länge mit dazugehörigem Niederspannungstrafo, Schaltern und Blitzschutzeinrichtungen aufgebaut. Die Umschaltung des Elektrodenstromes erfolgte im Rhythmus von zwei Minuten automatisch gesteuert durch eine Quarzuhr.

2.2. Arbeiten der südafrikanischen Gruppe (CSIR)

Die gesamte Organisation und Koordinierung der GTS wurde von der CSIR unter Leitung von Dr. van Zijl vorgenommen. Die CSIR führte die Verhandlungen mit den Behörden in Mozambique, mit der Leitungsbaufirma TLC und den einzelnen District-Commissioners für den Verlauf der HGÜ-Leitungstrasse. Die weiteren Arbeiten der südafrikanischen Arbeitsgruppe können wie folgt aufgegliedert werden:

1. Aussuchen von MN-Stationen unterhalb der HGÜ-Leitung und der Seitenstationen in Ostrhodesien. Hierzu wurden 6 geoelektrische Tiefensondierungen mit Elektrodenentfernungen bis 30 km durchgeführt. An den einzelnen Registrierpunkten wurden ferner Dauerregistrierungen zur Bestimmung der tellurischen Aktivität durchgeführt.
2. Erkundung und Festlegung der 22 Erderpunkte längs der HGÜ-Leitung in Mozambique. Jeder dieser Erderpunkte war so ausgesucht, daß ein niedriger Übergangswiderstand erreicht wurde. Die Anzahl der Erderstäbe pro Erdungspunkt lag etwa bei 120 Stück; sie wurden mit einem Abstand von ca. 4 m flächenhaft verteilt und miteinander verbunden. Der Anschluß vom Erderfeld an die Hochspannungsleitung wurde ebenfalls von der CSIR-Gruppe vorgenommen.
3. Stromeinspeisung des Elektrodenstromes in der Nähe von Pietersburg (vgl. Abschnitt 2.1.). Hierzu war bei der Farm "Little Kral" zwischen den beiden Leitungstrassen ein Camp aufgebaut. Von diesem Camp wurde auch die Organisation des Meßablaufs über Funk betrieben.

4. Zur Registrierung der Potentialdifferenzen an Sondierungs-
punkten MN setzte die CSIR-Gruppe fünf Stationen ein. Zwei
Stationen lagen in Mozambique (Mavonde I + II, im folgen-
den S1 und S2) und wurden von portugiesischen Geophysikern
bedient. Die Station Mavonde I befand sich im geometri-
schen Zentrum zwischen A und B (Schlumberger-Mitte). Die
drei anderen Stationen lagen in Ostrhodesien, und zwar bei
Summerfield (S3), in Makoni (S4) und Manyika (S5). Die ur-
sprünglich vorgesehene Station Inyazura (S6) wurde von der
CSIR-Gruppe aufgegeben, da die Signalstärke zu gering war
und an dieser Stelle mit starken Störungen gerechnet wer-
den mußte (s. Fig. 5).

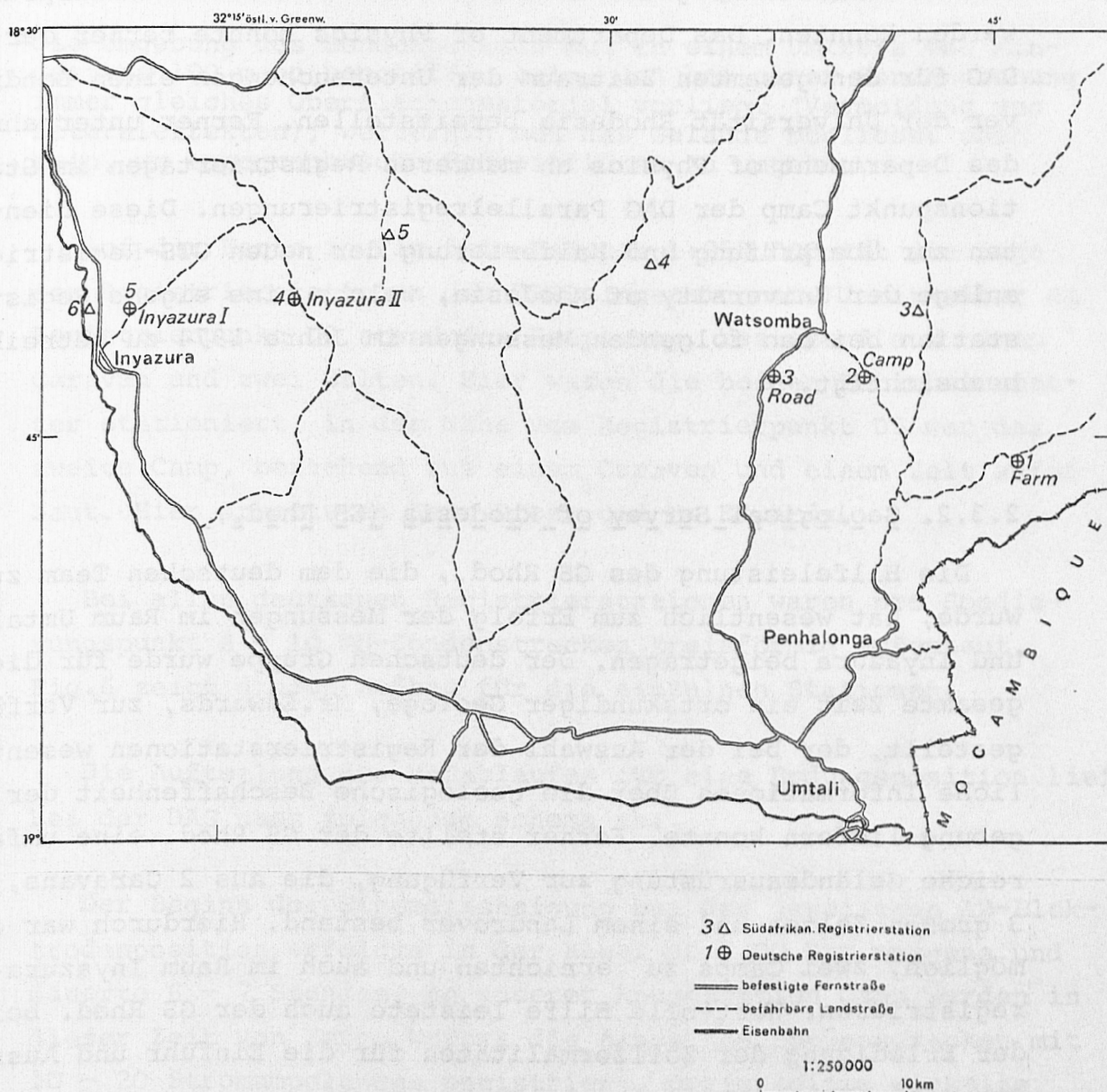


Fig. 5: Lage der Registrierstationen
in Ostrhodesien

2.3. Arbeiten der rhodesischen Partner

2.3.1. University of Rhodesia, Department of Physics (U_Rhod.)

Eine wesentliche Hilfe für die deutsche Arbeitsgruppe (DAG) bestand darin, daß das Department of Physics unter der Leitung von Prof. Stevenson und seinem Mitarbeiter Dr. Zengeni Laboreinrichtungen zum Testen der Telemetrieanlagen und Kommunikationsgeräte zur Verfügung stellte und die gesamten Registriergeräte auf Funktionstüchtigkeit im Bereich der Universität überprüft werden konnten. Das Department of Physics konnte ferner der DAG für den gesamten Zeitraum der Untersuchungen einen Landrover der Universität Rhodesia bereitstellen. Ferner unternahm das Department of Physics an mehreren Registriertagen im Stationspunkt Camp der DAG Parallelregistrierungen. Diese dienten zur Überprüfung und Kalibrierung der neuen GTS-Registrieranlage der University of Rhodesia, welche eine eigene Registrierstation bei den folgenden Messungen im Jahre 1974 zu betreiben beabsichtigt.

2.3.2. Geological Survey of Rhodesia (GS Rhod.)

Die Hilfeleistung des GS Rhod., die dem deutschen Team zuteil wurde, hat wesentlich zum Erfolg der Messungen im Raum Umtali und Inyazura beigetragen. Der deutschen Gruppe wurde für die gesamte Zeit ein ortskundiger Geologe, Mr. Edwards, zur Verfügung gestellt, der bei der Auswahl der Registrierstationen wesentliche Informationen über die geologische Beschaffenheit der Umgebung liefern konnte. Ferner stellte der GS Rhod. eine umfangreiche Geländeausrüstung zur Verfügung, die aus 2 Caravans, 3 großen Zelten und einem Landrover bestand. Hierdurch war es möglich, zwei Camps zu errichten und auch im Raum Inyazura zu registrieren. Wertvolle Hilfe leistete auch der GS Rhod. bei der Erledigung der Zollformalitäten für die Einfuhr und Ausfuhr der Meßgeräte.

2.4. Arbeiten der deutschen Arbeitsgruppe (DAG)

Zu Beginn der Arbeiten wurden an 5 Stellen in Ostrhodesien geeignete Sondierungspunkte zur Registrierung ausgesucht. Die Auswahl der Sondierungspunkte erfolgte nach diesen Gesichtspunkten:

möglichst geringe Bedeckung (Hangschutt) über dem anstehenden hochohmigen Granit (dies gewährleistet einen geringen Abschirmeffekt und damit eine hohe Sonden­spannung),

die Umgebung des Sonden­punktes muß in einem Umkreis von mindestens 100 m so beschaffen sein, daß bei einer SONDENDREHUNG immer gleiches Oberflächenmaterial vorliegt (Vermeidung von Lateraleffekten); weiterhin muß das Gelände möglichst eben sein, um topographische Störeinflüsse zu umgehen.

Auf der Karte in Fig.5 im Maßstab 1:250 000 ist die Lage der Registrierstationen der DAG eingezeichnet. Unmittelbar am Registrierpunkt D2 stand das Hauptcamp, bestehend aus einem Caravan und zwei Zelten. Hier waren die beiden Berichterstatter stationiert, in der Nähe vom Registrierpunkt D5 war das zweite Camp, bestehend aus einem Caraven und einem Zelt aufgebaut. Hier arbeiteten Herr Brost und Mr.Edwards.

Bei allen deutschen Registrierstationen waren pro Sondierungspunkt 8 - 10 MN-Sonden­strecken kreisförmig aufgebaut. Fig.6 zeigt diesen Aufbau für die einzelnen Stationen.

Die Aufteilung des Meßablaufes für eine Erdungsposition lief bei der DAG nach folgendem Schema ab:

Der Beginn der Stromeinspeisung bei der jeweiligen AB-Elektrodenposition erfolgte in der Regel ab 5.00 Uhr morgens und dauerte 6 - 7 Stunden. An unserer Hauptstation Camp wurden in dieser Zeit von Herrn Worzyk die einzelnen Sonden­strecken mit 10 - 20 Stromumpolungen registriert. Gleichzeitig wickelte Herr Worzyk den gesamten Nachrichtenfluß über Kurzwellenfunk mit den Registrierstationen der CSIR in Rhodesien und Mozambique, mit den beiden Erderstationen in Mozambique und mit der südafrikanischen Hauptstation am Stromeinspeisungspunkt der CSIR in Pietersburg ab. Hierzu war im Camp eine leistungsfähige Antennenanlage für alle Richtungen installiert.

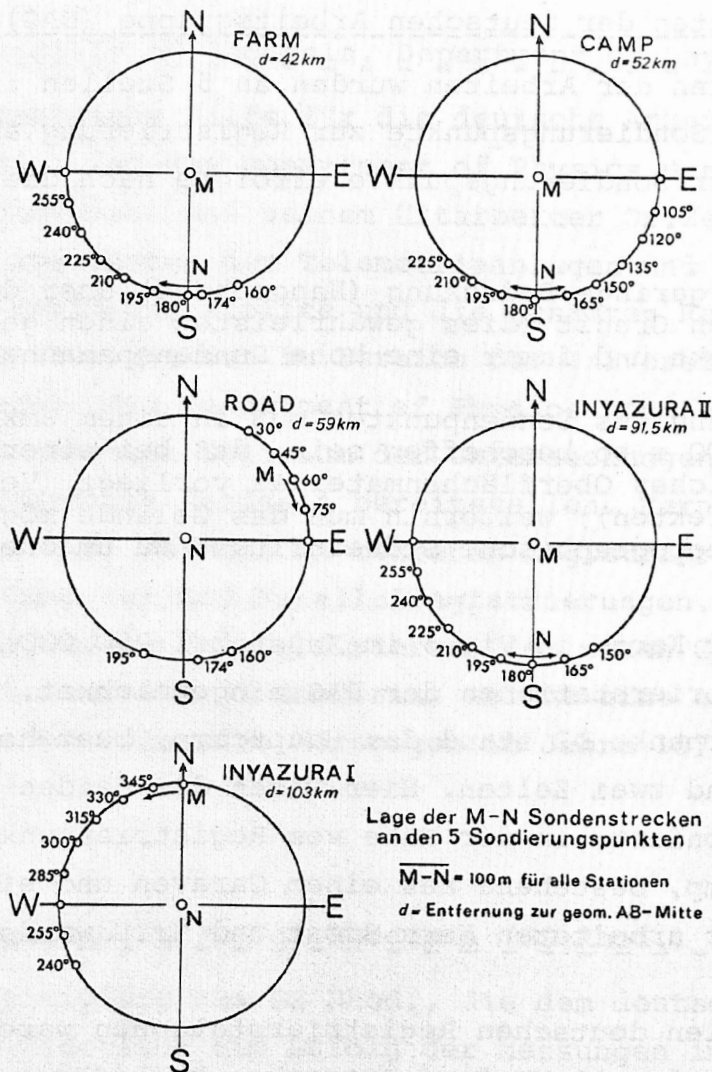


Fig. 6: MN-Sondenstrecken an den 5 Sondierungspunkten der DAG

Die beiden anderen deutschen Registrieranlagen waren als mobile Stationen in den beiden Landrovern eingebaut. Diese fahren vor Beginn der jeweiligen Messung zu den Stationen Inyazura I und Umtali ROAD. Sie konnten vom Hauptcamp ebenfalls über Kurzwelle erreicht werden. So war es möglich, daß zu Beginn der Strom einspeisung um 5.00 Uhr drei Stationen simultan registrieren konnten. Die Meßzeit für die mobilen Stationen war jedoch auf drei Stunden beschränkt, und es wurden aus diesem Grunde nur etwa 10 Umpolungen pro Sondenstreckenrichtung

registriert. In der Regel hatten so die beiden mobilen Stationen die Registrierungen für ihren ersten Meßpunkt gegen 8.00 Uhr beendet. Nach etwa einstündiger Fahrt, wobei die Mobilstation von Dr. Blöhm am Hauptcamp vorbeikam und zusätzliche Informationen einholen konnte, wurden die Stationen Inyazura II und Umtali FARM erreicht. Hier wurde dann von ca. 9.00 bis 12.00 Uhr an den dort aufgebauten Sondenstrecken registriert.

Auf diese Weise gelang es, mit drei Stationen fünf Sondierungspunkte zu vermessen, d.h. für jede AB-Position konnte die deutsche Gruppe 45 verschiedene MN-Richtungen registrieren und daher im Laufe der gesamten Meßkampagne über 11 000 Meßwerte aufnehmen.

3. Meßergebnisse der deutschen Arbeitsgruppe

Über Funkverbindung mit der Einsatzzentrale in Pietersburg wurden der DAG für jeden Meßtag die durchschnittlichen Stromwerte in der Elektrodenstrecke AB übermittelt und mit Schreiben vom 4.3.1974 die exakten zeitabhängigen Stromwerte mitgeteilt. Die Potentialwerte der fünf MN-Registrierstationen der CSIR-Gruppe konnten der DAG bisher nur unvollständig mitgeteilt werden, da diese Stationen ihre Meßwerte digital auf Lochstreifen speicherten.

Es hat sich bei einer Geländebesprechung mit Dr. van Zijl zum Schluß der Meßkampagne ergeben, daß die von der DAG ermittelten ξ_a -Werte im Trend mit denjenigen der CISR-Gruppe übereinstimmen.

3.1. Die Sondenspannungen an den einzelnen Stationen

Auf Grund langjähriger Erfahrung in der Tiefengeoelektrik wurde an den 5 Stationen der DAG das Potentialgefälle nicht nur parallel zur Elektrodenrichtung AB gemessen, sondern in verschiedenen Winkeln dazu (s.Abschnitt 2.3.). Dadurch war es möglich, diejenige Richtung anzugeben, in der die Sondenspannung ein Maximum besaß. Die Spannung dieser Richtung wird im folgenden mit U_{MN}^{max} bezeichnet. An jeder der 5 Stationen wurden etwa 10 verschiedene Winkel ausgemessen, und jede dieser Richtungen wurde mit ca. 10 Meßwerten (Umpolungen) belegt.

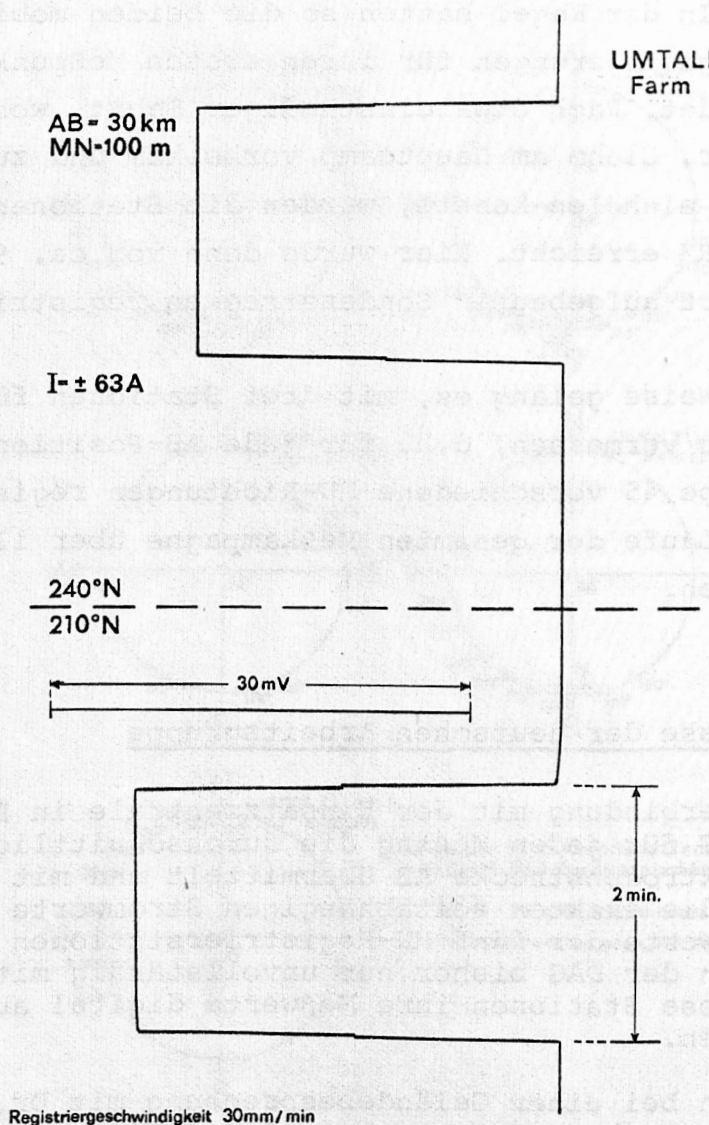


Fig. 7: MN-Registrierung bei einer Elektrodenentfernung AB = 30 km

Die Aufnahme des Potentialgefälles erfolgte -- wie in der Geoelektrik allgemein üblich -- mit unpolarisierbaren Sonden (Cu/CuSO₄). Die Sondenstrecke MN betrug für alle Messungen 100 m. Durch Festhalten einer der beiden Sonden (Mittelsonde M bzw. N) und Versetzen der anderen Sonde (Wandersonde N bzw. M) auf einem Kreis mit dem Radius r = 100 m wurden die verschiedenen Richtungen zu AB markiert und die jeweiligen Sondenspannungen gemessen (Fig. 6). (Wegen der längeren Sondenstrecke von 2000 m hatten die Kollegen der CSIR leider nicht die Möglichkeit, eine solche "Drehsondierung" vorzunehmen).

Das von den Sonden MN aufgenommene Signal wurde auf einen DC-Verstärker gegeben, an den ein SIEMENS-Schreiber angeschlossen war, der das Signal sichtbar machte. Um eine Vorstellung der aufgenommenen Signale zu vermitteln, sind zwei extreme Beispiele von Registrierungen in den Fig.7 und 8 wiedergegeben. Beide Registrierungen sind an der gleichen Station "Umtali Farm" und unter dem gleichen Winkel (240°) entstanden. Der Unterschied liegt in den AB-Distanzen von 30 km und 400 km. In Fig.7 (AB = 30 km) ist in der oberen Hälfte (240°) zu erkennen, daß bei einem Elektrodenstrom von ± 63 A eine SONDENSspannung von ± 13 mV registriert wurde. In der unteren Hälfte dieser Abbildung ist das Meßsignal für den Winkel 210° N aufgezeichnet und beträgt für die gleiche Stromstärke ± 15 mV. Damit ist gleichzeitig ein Beispiel für die Winkelabhängigkeit der SONDENSspannung gegeben. Der Papiervorschub betrug 30 mm/min und läßt die Umpolperiode von 2 min gut erkennen.

Fig.8 zeigt das Meßsignal für eine große Elektrodenentfernung (AB = 400 km). Während das eigentliche Meßsignal (Niveauunterschied zwischen dem Kurvenverlauf vor und nach dem Umpolen) sehr klein ist, treten sehr hohe Schaltspitzen -- hervorgerufen durch Induktion -- auf, die einen bis zu hundertfachen Wert des Meßsignals erreichen. Betrachtet man die Abbildung von oben nach unten, so zeigt die erste Spitze das Abschalten, die zweite das Wiedereinschalten des Elektrodenstromes an. Die Umschaltzeit beträgt 2 sec, die Abklingzeit dieser Schaltpeaks liegt in der Größenordnung von 10 sec. Da der Vorschub dieses Schriebes 600 mm/sec beträgt, also 20-fach höher liegt als beim Schrieb in Fig.7, wird hier die Umschaltphase gut demonstriert. Der mV-Bereich ist gegenüber dem Schrieb in Fig.7 um den Faktor 30 empfindlicher; damit ergibt sich für einen Elektrodenstrom von ± 80 A ein SONDENSsignal von ca. ± 0.03 mV.

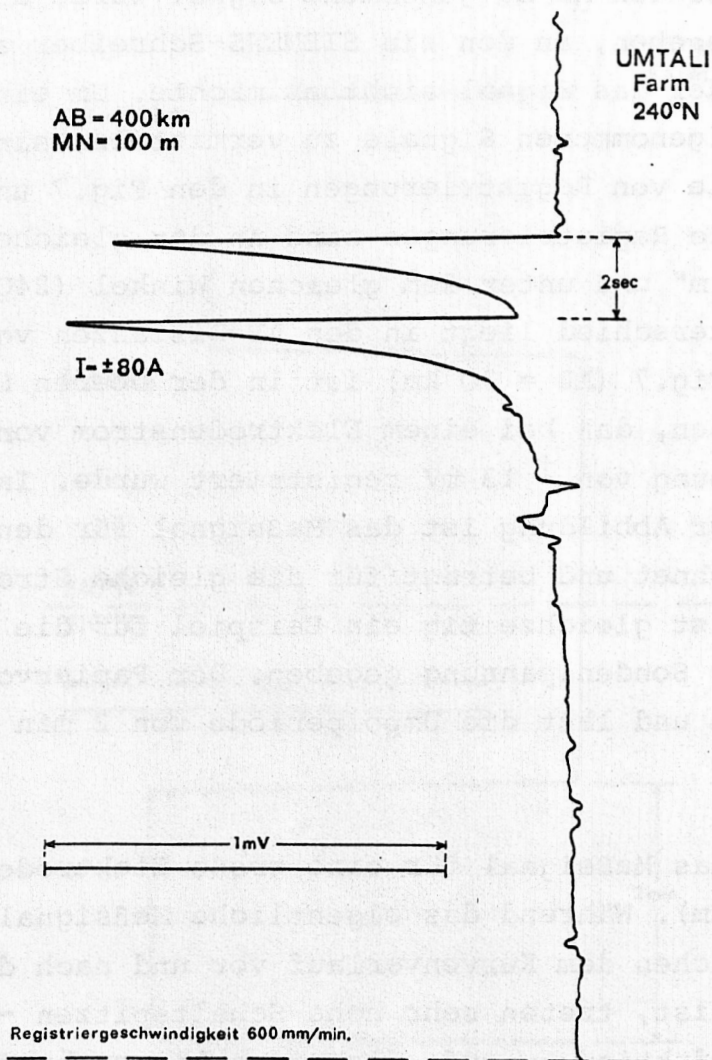
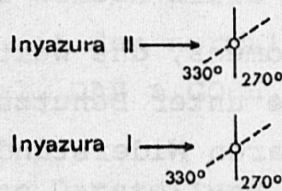
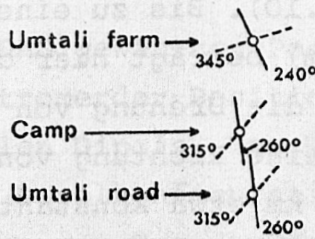
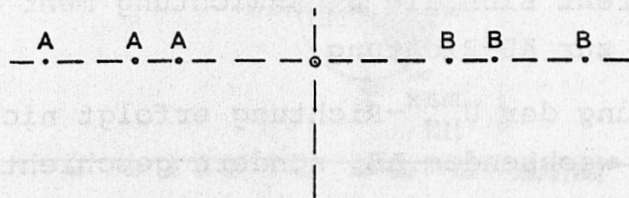


Fig.8: MN-Registrierung bei einer Elektrodenentfernung
AB = 400 km

Der Vergleich dieser beiden Registrierungen macht deutlich, daß es bei großen AB-Distanzen und damit kleinen Sondensignalen auf den MN-Strecken schwierig ist, einen repräsentativen Meßwert zu gewinnen. Eine Vergrößerung des Sondenabstandes wäre nicht zweckmäßig. Zum einen würde damit eine "Drehsondierung" wesentlich erschwert, zum andern würde das Signal-Stör-Verhältnis nicht verbessert werden, da sowohl tellurische Störungen als auch die Induktionsspitzen proportional zum Sondenabstand anwachsen.

3.2. Weitere Verarbeitung der gewonnenen Meßdaten

Wie in 3.1. bereits erwähnt wurde, sind an jeder Station für etwa 10 verschiedene Winkel die Sondenspannungen registriert worden mit dem Ziel, diejenige Richtung zu ermitteln, in der die Sondenspannung U_{MN} ein Maximum erreicht (U_{MN}^{\max}). In Fig.9



Richtungen von U_{MN}^{\max}

- für $\overline{AB} < 100$ km
- für $\overline{AB} > 300$ km

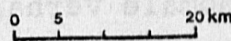


Fig.9: Richtungen der maximalen Sondenspannungen U_{MN}^{\max} für kleine (<100 km) und große (>300 km) AB-Distanzen

sind die U_{MN}^{\max} -Richtungen für kleine AB-Distanzen (100 km) und große AB-Distanzen (300 km) wiedergegeben. Dabei hat sich folgende Beobachtung ergeben:

- a) Die Richtung für U_{MN}^{\max} ist abhängig von der AB-Distanz.
- b) Die Richtung für U_{MN}^{\max} ist für kleine AB-Distanzen in etwa senkrecht zur AB-Auslage, für größere Elektrodenabstände dreht sich die U_{MN}^{\max} -Richtung mehr oder weniger parallel zur AB-Richtung.
- c) Die Drehung der U_{MN}^{\max} -Richtung erfolgt nicht kontinuierlich mit wachsendem AB, sondern geschieht für alle 5 Stationen etwa im Bereich für AB = 150 - 200 km ("Umklappen").

Dieser sog. "Umklappeffekt" ist am Beispiel der MN-Station Inyazura I gezeigt (Fig.10). Bis zu einer Elektrodenentfernung von 120 km ($AB/2 = 60$ km) beträgt hier die Richtung für U_{MN}^{\max} etwa 270° . Dann beginnt die Drehung von U_{MN}^{\max} und erreicht bei 240 km ($AB/2 = 120$ km) eine Richtung von 330° , die bis zur Endauslage von AB = 450 km etwa konstant bleibt. Diese Winkel sind als "Winkel mod. 180° " zu verstehen. Die Klärung dieser noch bestehenden Zweideutigkeit (jeweils 2 mögliche Winkel) bedarf einer ausgiebigen Sichtung des originalen Meßmaterials einschließlich der Unterlagen der südafrikanischen Partner.

Ungeachtet dieses Phänomens, das weiterer eingehender Untersuchungen bedarf, wurde unter Benutzung der U_{MN}^{\max} -Werte eine Berechnung von scheinbaren Widerständen ρ_a vorgenommen.

Dabei sei hervorgehoben, daß diese Berechnung und die daraus resultierende Kurve des scheinbaren Widerstandes ρ_a ($AB/2$) höchstens als erste Näherung betrachtet werden darf, da das anomale Verhalten der U_{MN}^{\max} -Richtungen zunächst noch grundsätzlich geklärt werden muß.

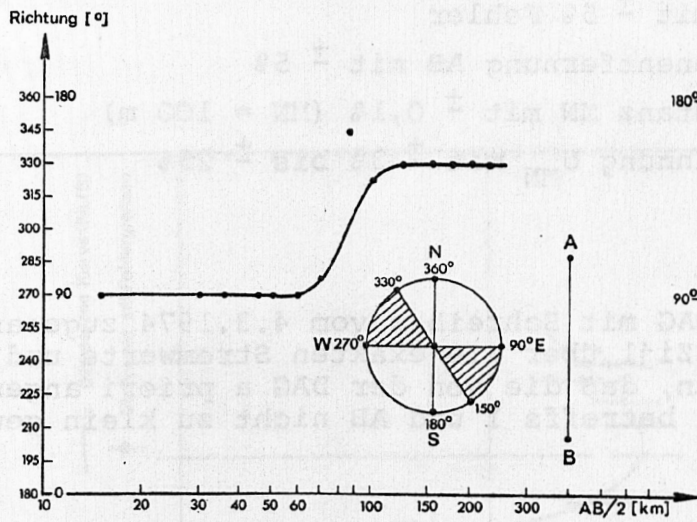


Fig.10: Richtung der maximalen Sondenspannung an der MN-Station Inyazura I

Die von der DAG gewählten Positionen der MN-Stationen in bezug auf die Stromerder-Positionen A und B entsprachen der eines äquatorialen Dipols. Der Vorteil dieser Meßanordnung gegenüber anderen Dipolkonfigurationen besteht darin, daß die Sondierungskurven vom Typ der Schlumbergerkurven sind (AL'PIN et al. 1966). Bei festgehaltener MN-Station und variierenden AB-Distanzen ergibt sich für den Fall eines horizontal geschichteten, wenn auch unbekanntes Untergrundes, ein Geometriefaktor $K(r)$, mit dessen Hilfe man eine Sondierungskurve ableitet, die direkt mit den normalen Schlumberger-Modellkurven auszuwerten ist (vgl. DAS & GOSH, 1972; FRÖHLICH, 1967).

Die graphische Darstellung der Sondierungskurven erster Näherung sind in den Figuren 11 - 15 für die einzelnen Stationen dargestellt. Die ρ_a -Werte sind mit Fehlern (Fehlerbalken) angegeben. In die Berechnung von ρ_a gehen folgende mit Fehlern behaftete Größen ein:

- 1) Strom I mit $\pm 5\%$ Fehler
- 2) Elektrodenentfernung AB mit $\pm 5\%$
- 3) Sondendistanz MN mit $\pm 0,1\%$ (MN = 100 m)
- 4) Sondenspannung U_{MN} mit $\pm 3\%$ bis $\pm 25\%$

Zu 1) und 2)

Die der DAG mit Schreiben vom 4.3.1974 zugesandten Angaben von Dr. van Zijl über die exakten Stromwerte und die AB-Positionen zeigen, daß die von der DAG a priori angenommenen relativen Fehler betreffs I und AB nicht zu klein gewählt wurden.

Zu 4)

Wie in 3.1. gezeigt wurde, ist das Sondensignal von sehr unterschiedlicher Stärke. Wegen des großen Signal-Stör-Verhältnisses bei großen Sondenspannungen (= kleinen AB-Distanzen) ist hier der relative Fehler nur etwa $\pm 3\%$, während bei ungünstigen Signal-Stör-Verhältnissen (= großen AB-Distanzen) der relative Fehler bis auf $\pm 25\%$ ansteigt. Aus diesen Betrachtungen ergibt sich eine Fehlerbreite des scheinbaren Widerstandes zwischen $\pm 8\%$ für kleine AB-Distanzen und $\pm 26\%$ bei großen Elektrodenentfernungen.

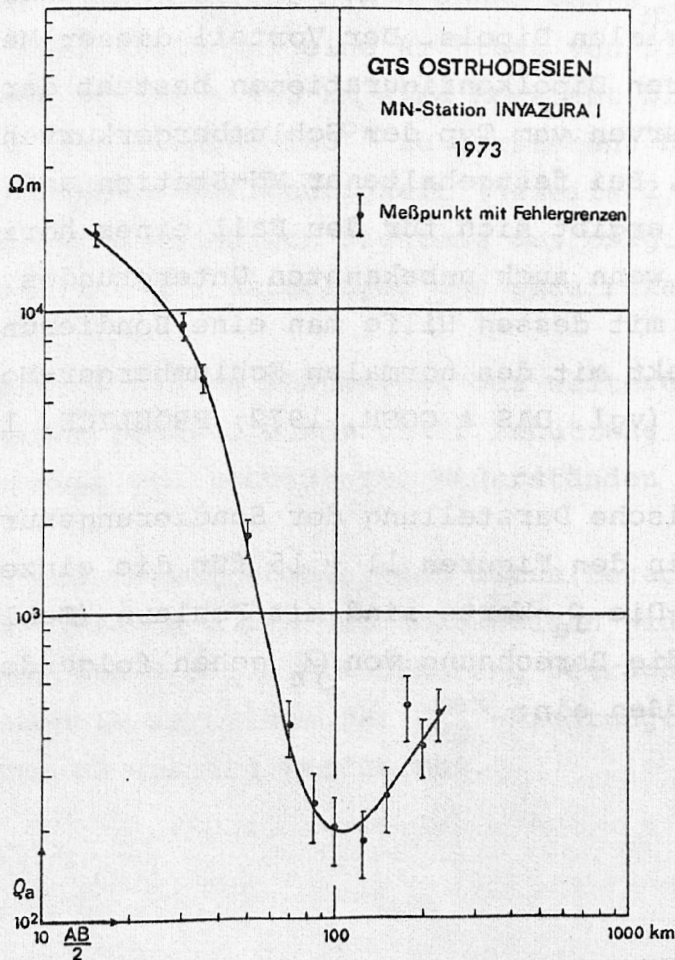


Fig.11: Sondierungskurve der Station INYAZURA I

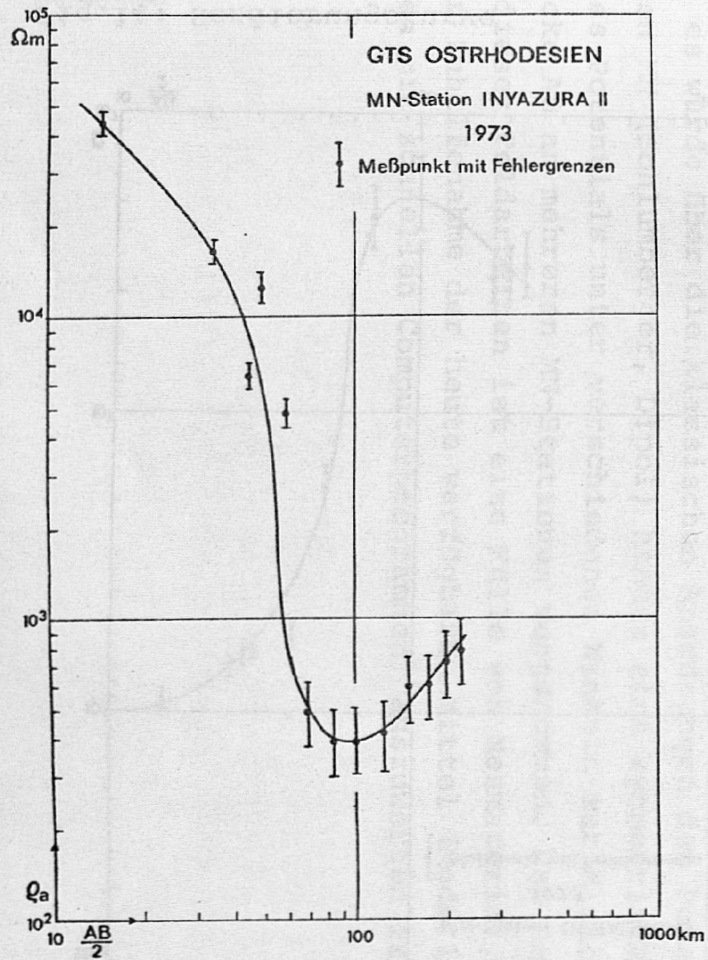


Fig.12: Sondierungskurve
der Station INYAZURA II

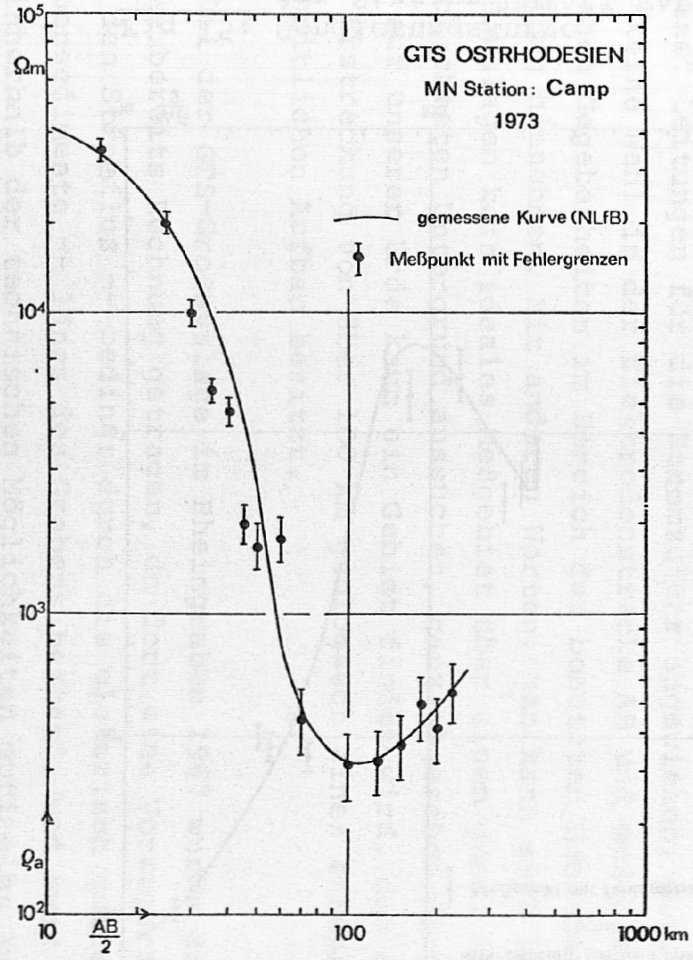


Fig.13: Sondierungskurve
der Station CAMP

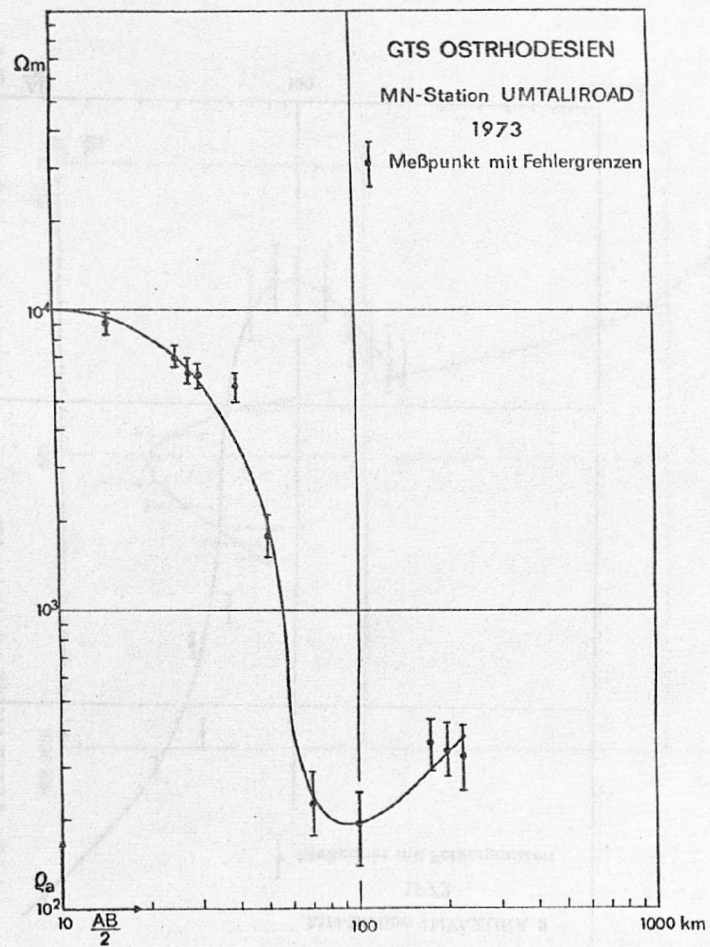


Fig.14: Sondierungskurve
der Station UMTALI ROAD

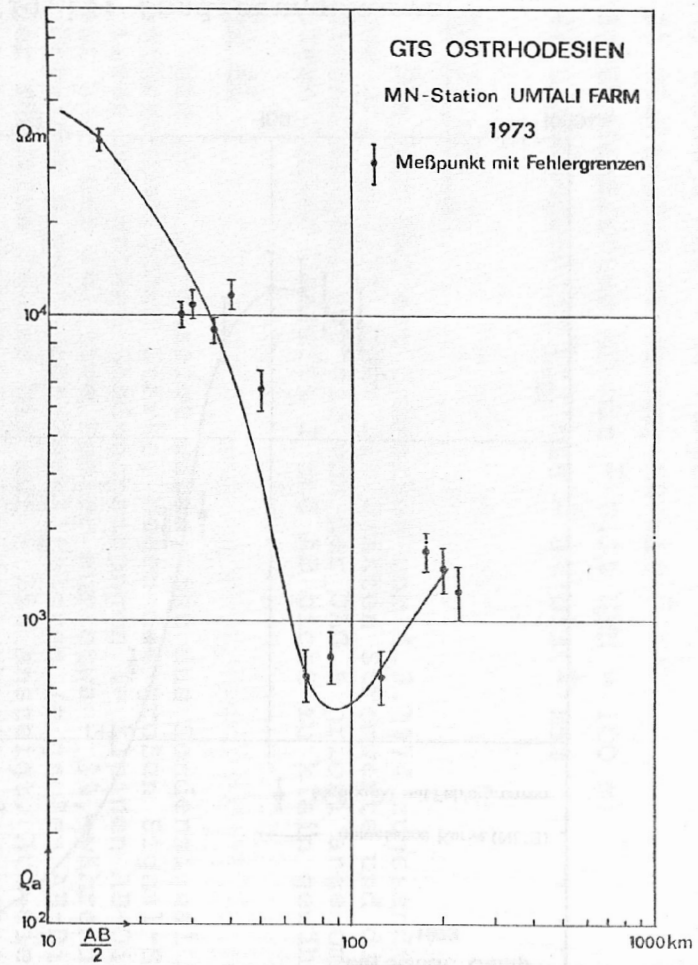


Fig.15: Sondierungskurve
der Station UMTALI FARM

Zusammenfassung der Diskussionsbeiträge (H.FLATHE)

Bei GTS-Großauslagen von $AB_{\max} \geq 50$ km ist man auf "vorgegebene" Leitungen für die Stromzufuhr angewiesen, d.h. man hat keine Wahl in der Elektrodenstrecke AB und muß die geologischen Gegebenheiten im Bereich der benutzten Hochspannungslleitung hinnehmen. Mit anderen Worten: Man kann sich bei GTS-Großauslagen kein ideales Meßgebiet über einem quasi horizontal geschichteten Untergrund aussuchen, ganz abgesehen davon, daß man auf unserer Erde kaum ein Gebiet finden wird, das auf einer Erstreckung von über 100 km geologisch einen entsprechend einheitlichen Aufbau besitzt.

Bei der GTS-Großauslage im Rheingraben 1967 wurde dieser Tatsache bereits Rechnung getragen, da dort eine Vorzugsrichtung für den Stromfluß -- bedingt durch die elektrisch gutleitenden Grabensedimente -- längs des Grabens bestand, und zwar durch eine innerhalb der technischen Möglichkeiten optimalen Aufnahme von Meßdaten für das Potential an gezielt angesetzten Stationen MN. Allein dadurch gelang eine Interpretation, die den wirklichen Verhältnissen nahekommen dürfte (HOMILIUS & BLOHM, 1973).

Auf Grund dieser Erfahrung wurde in Südafrika (Rhodesien) von vornherein ein Stationsnetz aufgebaut, das den dortigen Gegebenheiten -- soweit sie bekannt waren -- Rechnung trug, d.h. es wurde über die klassischen Anordnungen der Potentialsonden MN (Schlumberger, Dipol) hinaus eine symmetrische Aufnahme des Potentials unter verschiedenen Winkeln zur Elektrodenstrecke AB an mehreren MN-Stationen vorgenommen. Das Resultat dieser Feldarbeiten ist eine Fülle von Meßmaterial, das nun unter Zuhilfenahme der heute verfügbaren Mittel (Modellrechnungen mit schnellen Computerprogrammen) auszuwerten ist.

Zu den vorliegenden Meßergebnissen ist zu sagen:

Die Sondierungskurven ρ_a (AB/2) sind nicht übersteil (wie es vielfach bei Lateral-Effekten der Fall ist) und legen es daher nahe, eine Auswertung als Horizontalschichtfall zu versuchen. Das Ergebnis ist dann eine Schichtfolge, in der unter Material mit $\sim 100\ 000$ Ohm.m (!) in geringer Tiefe (< 10 km) eine elektrisch gutleitende Zwischenschicht mit $50 - 100$ Ohm.m folgt, die wiederum von einer Schichtfolge mit sehr hohen Widerständen unterlagert ist.

Dieses Ergebnis dürfte sich sowohl geologisch als auch geophysikalisch (Widerstände größer als $100\ 000$ Ohm.m sind bisher nicht bekannt) kaum erklären lassen. Es ist aber auch deshalb nicht haltbar, weil bei der benutzten Dipolanordnung die maximale Sondenspannung an MN keineswegs parallel zu AB registriert wurde, wie es die Theorie des äquatorialen Dipols bei einem horizontal geschichteten Untergrund verlangt, sondern unter einem Winkel von zum Teil größer als 70° . Diese Winkelabhängigkeit zeigt den gleichen Trend für alle MN-Stationen und ist so gravierend, daß sich ganz neue Aspekte für die Interpretation ergeben.

Da für technische Fehler nach sorgfältiger Überprüfung keinerlei Anhaltspunkte vorliegen, muß geklärt werden, welche Strukturen im Untergrund eine derartige "Drehung" der maximalen Sondenspannung gegenüber der AB-Richtung bewirken können. Eine der Hauptfragen ist: Warum tritt eine größere Stromdichte unter den Sonden MN auf, wenn diese -- wie z.B. bei geringen Elektrodenabständen AB -- beinahe senkrecht zu dem durch das über AB aufgeprägten Feld stehen? Dies ist ein ausgesprochenes Novum bei einer geoelektrischen Tiefensondierung.

Für eine wesentlich weitergehende Interpretation, die auch mehr als bisher die geologischen Gegebenheiten berücksichtigt, reicht das bisherige Meßmaterial jedoch nicht aus. Erst die

volle Nutzung der gesamten Hochspannungsleitung mit einem $AB_{\max} = 1200$ km böte die Möglichkeit, den geologischen Rahmen dieses Gebietes in Südafrika ganz zu erfassen.

Literatur

- AL'PIN, L.M., BERDICHEVSKII, M.N., VEDRINTSEV, G.A. & ZAGARMISTR, A.M.: Dipole methods for measuring earth conductivity. - 302 S., (Selected and translated from the Russian by KELLER, G.V.) New York (Consultants Bureau) 1966.
- BLOHM, E.-K. & FLATHE, H.: Geoelectrical deep sounding in the Rhinegraben. - Graben Problems, Intern. Upper Mantle Project, Scient. Rep. 27, 239-242, 1970.
- DAS, U.C. & GOSH, D.P.: A study on the direct interpretation of dipole sounding resistivity measurements over layered earth. - Geophys. Prosp., 20, 379-400, 1972.
- FRÖHLICH, R.K.: The depth penetration of dipole arrays compared with the Schlumberger arrangement. - Geoexploration, 5, 195-203, 1967.
- HOMILIUS, J. & BLOHM, E.-K.: Modell zur Interpretation der geoelektrischen Tiefensondierung im Rheingraben 1967. - Z. f. Geophys., 39, 441-459, 1973.
- VAN ZIJL, J.S.V.: A deep Schlumberger sounding to investigate the electrical structure of the crust and upper mantle in South Africa. - Geophysics, 34, 450-462, 1969.
- VAN ZIJL, J.S.V., HUGO, P.L.V. & DE BELLOCQ, J.H.: Ultra deep Schlumberger Sounding and crustal conductivity structure in South Africa. - Geophys. Prosp., 18, 615-634, 1970.
- VAN ZIJL, J.S.V.: Geoelektrische Tiefensondierungen bis $AB = 30$ km in Ostrhodesien. - (Mündl. Mitt.) Pretoria 1973.